



7

Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria

Gregorio Salcedo Díaz



GOBIERNO
de
CANTABRIA

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

documentos técnicos
DE MEDIO AMBIENTE

7

Minimización
y aprovechamiento
del purín en origen
de las explotaciones
lecheras de Cantabria
Gregorio Salcedo Díaz

Autor: **Gregorio Salcedo Díaz.**

Edita: © **CIMA Centro de Investigación del Medio Ambiente**

Consejería de Medio Ambiente

Gobierno de Cantabria

Depósito Legal: **SA-258-2011**

Diseño: **VALORE Consultores**

Maquetación: **VALORE Consultores**

A mi esposa Teresa,
por su espera y paciencia

Índice

●	Presentación	
●	Prólogo	
●	Prefacio	
●	Colaboradores	
●	Sección 1: Manejo de la explotación	
	1. Alimentación y producción de leche	11
	<i>G. Salcedo</i>	
	2. Excreción de estiércol, nitrógeno y fósforo	48
	<i>G. Salcedo</i>	
	3. Producción de estiércol, nitrógeno y fósforo	72
	<i>G. Salcedo, J. I. Tejero y J. L. Rico</i>	
	4. Balance de materia seca, energía neta leche, nitrógeno y fósforo	100
	<i>G. Salcedo</i>	
	5. Estimación y modelización de los gases de efecto invernadero, índice potencial de eutrofización y acidificación	131
	<i>G. Salcedo</i>	
	6. Composición química y caracterización del purín	204
	<i>G. Salcedo y L. Martínez</i>	
	7. Balance de nitrógeno y fósforo	248
	<i>G. Salcedo</i>	
	8. Modelizado del surplus y eficiencia del nitrógeno y fósforo	291
	<i>G. Salcedo</i>	
	Bibliografía	378
●	Sección 2: Balances nutricionales en vacas lecheras	
	9. Balance nutricional de nitrógeno; fósforo; fibra neutro Detergente y almidón. Modelizado de la eficiencia del N y P	406
	<i>G. Salcedo</i>	
	Bibliografía	500
●	Sección 3: Utilización y producción de forrajeras con purín	
	10. Movimiento de nitrógeno y fósforo en el suelo	512
	<i>G. Salcedo</i>	
	11. Eficiencia de utilización del nitrógeno y fósforo en la rotación de forrajes de invierno y verano abonados con purín. Nitrógeno crítico	532
	<i>G. Salcedo</i>	
	12. Composición químico-bromatológica de los ensilados de forrajes de invierno y verano	586
	<i>G. Salcedo</i>	
	Bibliografía	602
●	Sección 4: Utilización del purín en praderas	
	13. Movimiento de nitrógeno y fósforo en el suelo	607
	<i>G. Salcedo</i>	
	14. Eficiencias de utilización del nitrógeno y fósforo	631
	<i>G. Salcedo</i>	
	Bibliografía	672
●	Conclusiones finales	679
●	Actuaciones futuras	681

PRESENTACIÓN

La conciencia medioambiental está presente en el conjunto de la sociedad cántabra de forma creciente, también en el mundo ganadero, donde el manejo de los residuos es una preocupación constante que la Consejería de Medio Ambiente, en su labor diaria de apoyo a iniciativas respetuosas con el entorno, hace suya, analizando las características de los residuos ganaderos, proponiendo soluciones de mitigación y, cuando sea posible, erradicación, así como, cerrando el círculo lógico de actuación administrativa, facilitando la aplicación de las medidas identificadas como óptimas desde un punto de vista sostenible, es decir, viable tanto económica como ambientalmente, porque, como sabemos, el progreso no está reñido con el medio ambiente, antes bien, progreso y respeto medioambiental necesitan el uno del otro para existir.

El presente trabajo, debido al esfuerzo de un amplio equipo dirigido por el profesor Gregorio Salcedo Díaz, constituye una herramienta de primer orden en la necesaria reducción del peligro por contaminación ambiental asociada al aporte excesivo de nutrientes. Es necesario conocer para actuar; la mejor decisión es la informada, es decir, aquella que conoce las claves explicativas del problema a corregir. Este libro, tan amplio como detallado, profundo y sistemático, cubre ambos flancos: conocer y actuar, o mejor dicho, conocer para actuar.

Francisco L. Martín Gallego
Consejero de Medio Ambiente
Gobierno de Cantabria

Prólogo

Los problemas medioambientales derivados de la intensificación de las explotaciones de vacuno de leche, así como el impulso desde la Política Agraria Común de un modelo productivo ambientalmente sostenible, hacen cada vez más necesaria la consideración de los aspectos ambientales derivados de la producción lechera tanto a nivel de explotación como a nivel de territorio. Además, en la actual coyuntura del sector vacuno lechero, donde los márgenes económicos se han visto reducidos, la integración de los aspectos ambientales en la renta económica de las explotaciones puede incidir de manera determinante en la necesidad de cumplimiento de los requisitos ambientales.

Tras la primera publicación del libro “Uso Sostenible del Nitrógeno en la Alimentación de Vacas Lecheras” publicado por D. Gregorio Salcedo en 2006, este segundo trabajo aborda de una manera integral la problemática ambiental derivada de la producción de leche en la Comunidad Autónoma de Cantabria. El estudio de dos nutrientes, como son el N y el P, en el sistema suelo-planta-animal de las explotaciones de vacuno lechero resulta una importante contribución al conocimiento, tanto desde el punto de vista científico como desde el punto de vista de gestión y asesoramiento ganadero. El lector dispondrá de información que incluye la caracterización de las materias primas empleadas en la nutrición, las pérdidas de N y P en los sistemas de estabulación, el uso de nutrientes en la leche y en los principales forrajes producidos, la calidad bromatológica de los forrajes o el conocimiento del estado del N y el P en los suelos de las explotaciones de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Además, la inclusión de modelos para la estimación del uso de N y P por parte del ganado lechero o la acumulación de N y P a nivel de explotación dota a este trabajo de una herramienta esencial para la mejora del estado ambiental en las explotaciones de vacuno lechero.

Haritz Arriaga y Pilar Merino

Dpto. de Ecotecnologías

NEIKER-TECNALIA. Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario

Derio (Vizcaya), Noviembre 2009

Prefacio

Este trabajo es el resultado del proyecto de investigación “*Minimización y aprovechamiento en origen del purín en las explotaciones lecheras de Cantabria*” financiado por la Consejería de Medioambiente del Gobierno de Cantabria, en colaboración con la Universidad de Cantabria, desarrollado en el I.E.S. “La Granja” y tiene como objetivo, el estudio de la situación actual y las posibles mejoras de manejo, orientadas a minimizar y aprovechar el purín generado en las explotaciones lecheras desde los aspectos productivos y medioambientales.

Los pilares fundamentales de esta investigación son: i) alimentación del ganado y producción de leche; ii) balances de nitrógeno, fósforo, estimación de los gases de efecto invernadero, potencial de eutrofización y acidificación; iii) balances nutricionales con vacas lecheras y iv) efectos de la utilización del purín como fertilizante en la producción de forrajes.

Para el primero, la eficiencia de los nutrientes administrados en las raciones es la base para el desarrollo sostenible de los sistemas productores de leche. En las condiciones de Cantabria, la compra de nitrógeno y fósforo representan el 75.1% y 70.3% del total ingerido, mientras el 24.9% y 29.7% son producidos en la explotación, principalmente hierba y maíz. De aquellos depende en gran medida, el potencial contaminante del purín. Entre otros, la minimización en origen de los gases de efecto invernadero (CH_4 , N_2O y NO del purín), proceden de la fermentación entérica; excreción de estiércol en el establo, los generados en el estercolero y los emitidos a través del manejo del purín, incluyendo tipo de fosa, volumen, tiempo de retención y sistema de aplicación. Dichos gases, son expresados en kilogramos de CO_2 -eq por unidad de ganado mayor (UGM), hectárea o por tonelada de cuota láctea. También, de ellos depende el potencial acidificante o eutrofizante, expresados en kilogramos de óxido de azufre (SO_2) y fosfato (PO_4^{3-}) por hectárea, UGM y tonelada de leche que afectan al suelo y a las aguas superficiales.

El segundo, basado en las *entradas* de nutrientes a la explotación mediante la compra de alimentos y fertilizantes, las *salidas* como la venta de leche o animales principalmente. La diferencia entre ellas, determina el grado de eficiencia de utilización del nitrógeno y fósforo, expresados en kilogramos por 1000 kilogramos de leche producidos. Dicho balance permite corregir aspectos del sistema de producción lechera, como modificar el aporte y la concentración nutritiva de las dietas, fertilizantes, porcentaje de vacas, UGM totales, superficie forrajera, etc. Esta herramienta habilita decisiones técnicas, económicas y medioambientales.

La producción de forraje es otro de los puntales esenciales para maximizar la eficiencia de la explotación, medida ésta desde los aspectos productivos, nutritivos y de sostenibilidad. La producción de forrajes de calidad; rotación de cultivos; momento óptimo de aprovechamiento entre otros, permite reducir la compra de alimentos por hectárea, mejorando el balance y la eficiencia global de nutrientes en la explotación. El tipo de purín; sistema de aplicación; dosis; reparto proporcional en el tiempo, contribuye a mitigar las pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco o por arrastres. Por añadidura, se incrementa la utilización del nitrógeno por las plantas, reduciéndose los aportes de fertilizante inorgánico comprado, aumentando el valor económico.

El autor desea agradecer a la Consejería de Medio Ambiente la financiación de este proyecto de investigación titulado “*Minimización y aprovechamiento de purín del vacuno lechero en Cantabria*”; a la Consejería de Educación del Gobierno de Cantabria por permitir dedicarme al mismo; a los trece ganaderos participantes, que amablemente nos dejaron acceder a sus explotaciones, tendiéndonos la mano para desarrollar este ambicioso trabajo de carácter medioambiental y productivo; al Laboratorio Agroalimentario de Santander; al Centro de Investigación y Formación Agraria de Muriedas (Cantabria); al Laboratorio Interprofesional Lechero (Cantabria); a la Asociación Frisona de Cantabria; al Departamento de Agroecosistemas y Recursos Naturales (NEIKER) del País Vasco; al Departamento de Agraria y en general, a todos los compañeros del I.E.S. “La Granja”.

Por último, sirva este trabajo como herramienta de manejo y toma de decisiones en los sistemas de producción lechera, orientada a mejorar la salud de nuestros ecosistemas terrestres y acuáticos.

El autor
Gregorio Salcedo Díaz

Colaboradores

Luis Martínez Suller, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.

Juan Ignacio Tejero Monzón, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente.

José Luis Rico Gutiérrez, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Dpto. de Ingeniería Química y Química Inorgánica.



1

Manejo de la explotación





Manejo de la explotación

Alimentación y producción de leche

G. Salcedo



COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS, ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

3. Resultados y discusión

3.1. Composición química de los alimentos

3.2. Ingestión de nutrientes

3.2.1. *Materia seca*

3.2.2. *Proteína bruta*

3.2.3. *Energía metabolizable*

3.2.4. *Fósforo*

4. Producción y composición química de la leche

4.1. Producción de leche

4.2. Composición química de la leche

5. Conclusiones parciales

Resumen

Este capítulo se analiza la composición química de los alimentos, ingestión de nutrientes, producción y calidad de la leche de 13 explotaciones lecheras de Cantabria representativas de la diversidad regional, clasificadas como “Intensivas” (aquellas que usan carro mezclador) y “Semiintensivas” (no lo usan), durante los meses de diciembre (2006) a diciembre (2008). Los forrajes mayoritariamente usados son el ensilado de hierba (100%); ensilado de maíz (92.3%) y alfalfa deshidratada (76.9%). Los alimentos que componen el concentrado de mayor a menor son el maíz (36.4%), la cebada (19.9%), la harina de soja (17%), la pulpa de remolacha (13.6%), los granos de destilería (12.8%) y la harina de colza (11.4%) principalmente. Los ensilados de hierba contienen un aceptable porcentaje de materia seca ($27.7 \pm 9.2\%$); baja proteína ($12.8 \pm 2.4\%$) y elevada fibra neutro detergente ($60.3 \pm 7.2\%$). El 31.3% de los mismos son clasificados de 3ª calidad según su valor relativo forrajero; mientras que el 51.7% de los ensilados de maíz, corresponden a los de 1ª calidad. En éstos los porcentajes de materia orgánica digestible; materia seca y proteína bruta son $68.9 \pm 3.5\%$; $30.4 \pm 4.4\%$ y $9.4 \pm 1.52\%$ respectivamente. La materia seca, proteína, fibra neutro detergente, energía metabolizable y fósforo de las mezclas para las vacas de ordeño presentan concentraciones de $49.6 \pm 8.5\%$; $16.4 \pm 2.1\%$; $39.4 \pm 6.8\%$; $11.08 \pm 0.78\%$; $0.44 \pm 0.09\%$ respectivamente. La concentración proteica de los concentrados de las vacas lecheras es del $20.5 \pm 3.5\%$ y $0.55 \pm 0.21\%$ el fósforo.

La ingestión de materia seca, forraje y concentrado vaca y día es diferente entre sistemas de producción ($P < 0.001$), con medias de 21.6-10.2 y 11.2 kg en los intensivos y 20.6-11.6 y 8.9 kg los semiintensivos. En el conjunto de explotaciones, la ingestión de materia seca total está positivamente relacionada con el aporte de concentrado ($r = 0.37$, $P < 0.01$) y la producción de leche ($r = 0.33$, $P < 0.01$) y negativamente con las concentraciones de fibra ácido detergente (FAD) ($r = -0.25$, $P < 0.01$) y fibra neutro detergente (FND) ($r = -0.26$, $P < 0.01$) de la dieta.

El consumo de proteína bruta es mayor en los intensivos (3.65 vs. 3.0 kg vaca y día los semiintensivos), con porcentajes medios de 16.8% y 14.5% sobre materia seca de la dieta; de los cuales, el 70.4% y 76% es proteína degradable en rumen. El consumo de proteína está negativamente relacionado con la concentración de FAD de la dieta en ambos sistemas ($r = -0.44$, $P < 0.01$) los intensivos y $r = -0.25$, $P < 0.01$ los semiintensivos. La proteína metabolizable estimada respecto al CNCPS (5.0) son superiores en 3.3% los intensivos y 11.9% los semiintensivos. El consumo de proteína no degradable en rumen

está positivamente relacionada con la producción de leche ($r=0.73$, $P<0.01$) y $r=0.64$, $P<0.05$ la proteína en leche.

Los consumos de FAD no difieren entre sistemas de producción, con ingestiones medias diarias de 5.11 y 5.12 kg d⁻¹ y sí, ($P<0.001$) la FND 8.5 y 9.1 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente, equivalentes a concentraciones medias de 23.6% y 25.2% para la FAD y 39.8% y 44% la FND sobre materia seca en los primeros y segundos.

La energía metabolizable ingerida (EM) es mayor en los intensivos ($P<0.001$), con consumos medios de 240 MJ y 222 MJ d⁻¹ en los semiintensivos, imputable al superior aporte de concentrado en aquéllos ($r=0.36$, $P<0.01$). De igual forma, el fósforo (P) es mayor en los intensivos ($P<0.001$), con ingestas medias diarias de 92.3 y 74.6 g d⁻¹ los semiintensivos, equivalentes a concentraciones de 0.42% en los primeros y 0.37% los segundos.

La producción de leche es superior en los intensivos ($P<0.001$) con rendimientos medios diarios de 32.4 kg vaca y día los intensivos y 25.4 kg los semiintensivos, al igual que el porcentaje de proteína (3.21%) en los primeros y 3.09% los segundos; sin diferencias en grasa (3.71%) en ambos sistemas. La diferencia de leche en los intensivos es atribuida al superior consumo de proteína bruta ($r=0.51$, $P<0.01$); carbohidratos no fibrosos ($r=0.62$, $P<0.01$); energía metabolizable ($r=0.41$, $P<0.01$) y concentrado ($r=0.32$, $P<0.01$). Del mismo modo, la eficiencia bruta (kg leche / kg materia seca ingerida) es superior en aquéllos ($P<0.001$), con eficiencias medias de 1.43 y 1.18 kg kg⁻¹ en los intensivos y semiintensivos respectivamente.

Palabras clave: alimentos, Cantabria, ingestión de nutrientes, sistema de producción.

Abstract

We analyzed the chemical composition of food, nutrient intake, production and quality of milk of 13 dairy farms in Cantabria, classified as "intensive" (used truck mixer) and "semiintensive" (not used) during the months of December (2006) to December (2008). Used is mainly fodder grass silage (100%) corn silage (92.3%) and dehydrated alfalfa (76.9%). Foods that make the concentrate from highest to lowest are maize (36.4%), barley (19.9%), soybean meal (17%), beet pulp (13.6%), distiller's grains (12.8%) and rapeseed meal (11.4%) mainly. Grass silage containing an acceptable percentage dry matter ($27.7 \pm 9.2\%$), low protein ($12.8 \pm 2.4\%$) and high neutral detergent fiber ($60.3 \pm 7.2\%$). The 31.3% of them are ranked 3rd by value on quality forage, while the 51.7% corn correspond to the 1st quality. In these the percentages of digestible organic matter, dry matter and crude protein were $68.9 \pm 3.5\%$, $30.4 \pm 4.4\%$ and $9.4 \pm 1.52\%$ respectively. The dry matter, protein, neutral detergent fiber, and phosphorus metabolizable energy mixes milking cows have concentrations of $49.6 \pm 8.5\%$, $16.4 \pm 2.1\%$, $39.4 \pm 6.8\%$, $11.08 \pm 0.78\%$, $0.44 \pm 0.09\%$ respectively. The protein concentration of concentrates for dairy cows is of 20.5 ± 3.5 and $0.55 \pm 0.21\%$ phosphorus.

The dry matter intake, forage to concentrate cow per day is different between production systems ($P < 0.001$), with means of 21.6-10.2 and 11.2 kg in the intensive 20.6-11.6 and 8.9 kg of semiintensive. In all farms, the total dry matter intake is positively related to concentrate intake ($r = 0.37$, $P < 0.01$) and milk production ($r = 0.33$, $P < 0.01$) and negatively with concentrations of fiber acid detergent (ADF) ($r = -0.25$, $P < 0.01$) and neutral detergent fiber (NDF) ($r = -0.26$, $P < 0.01$) in the diet.

The crude protein consumption is highest in the intensive (3.65 vs. 3.0 kg semiintensive cow and day), with average rates of 16.8% and 14.5% of dietary dry matter, of which, 70.4% and 76% is protein rumen degradable and negatively related to the concentration of ADF diet ($r = -0.44$, $P < 0.01$) in the first $r = -0.25$, $P < 0.01$ seconds. Regarding the CNCPS (5.0), estimated metabolizable protein are higher by 3.3% and 11.9% of the intensive semiintensivos. Consumption in rumen undegradable protein is positively related to milk production ($r = 0.73$, $P < 0.01$) and $r = 0.64$, $P < 0.05$ for protein in milk.

The consumption of ADF did not differ between production systems, with average daily intakes of 5.11 and 5.12 kg d^{-1} and yes, ($P < 0.001$) the NDF 8.5 and 9.1 kg in the intensive and semiintensive respectively, equivalent to mean concentrations of 23.6 % and 25.2% for ADF and 39.8% and 44% NDF on DM in the first and second.

The metabolizable energy (ME) is greater in the intensive ($P < 0.001$), with average consumption of 240 MJ and 222 MJ d^{-1} in the semiintensive, attributable to the higher intake of concentrate on those ($r = 0.36$, $P < 0.01$). Likewise, phosphorus (P) is greater in the intensive ($P < 0.001$), with average daily intakes of 92.3 and 74.6 g d^{-1} semiintensive, equivalent to concentrations of 0.42% in the first and the latter 0.37%.

Milk production is higher in the intensive ($P < 0.001$) with daily average yield of 32.4 kg cow day intensives and 25.4 kg of semiintensive, like the protein content (3.21%) in the former and 3.09% of seconds, with no differences in fat (3.71%) in both systems. The difference in the intensive milk is attributed to the higher crude protein

intake ($r=0.51$, $P<0.01$) non-fiber carbohydrate ($r = 0.62$, $P<0.01$); metabolizable energy ($r=0.41$, $P<0.01$) and focused ($r=0.32$, $P<0.01$). Similarly, gross efficiency (kg milk / kg dry matter intake) is higher in those ($P <0.001$), with average efficiencies of 1.43 and 1.18 kg kg⁻¹ in the intensive and semiintensive respectively.

Keywords: food, Cantabria, nutrient intake, production system.

1. Introducción

El uso eficiente de los nutrientes es uno de los pilares básicos para el desarrollo sostenible de los sistemas productores de leche. Una ineficiencia de los mismos, supone riesgos ambientales y económicos (Oenema *et al.*, 2002; Salcedo, 2006). En áreas de producción intensiva de la UE, la reducción en la pérdida de nutrientes se ha convertido en una de las mayores preocupaciones medioambientales (Kuipers *et al.*, 1999). En este sentido, especial atención merecen los ciclos de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las explotaciones de vacuno lechero.

Pese a los avances en materia de nutrición, el N y el P son habitualmente utilizados en exceso respecto a las necesidades de las vacas lecheras (Wu *et al.* 2000; Borsting *et al.*, 2003; Salcedo, 2006), lo que, unido a la limitación fisiológica en el uso de ambos nutrientes por el ganado (25% para el N y 58% del P en vacas adultas) (Tamminga, 1992), supone un impacto cuantitativo sobre el medio ambiente.

Desde un punto de vista animal, la optimización de la eficiencia del N (NUE) y fósforo (PUE) son estrategias en la minimización de excreción. Factores como tamaño del rebaño, disponibilidad de superficie agrícola y el régimen de alimentación, pueden limitar la capacidad de optimización de NUE y PUE en dicha estrategia de minimización, incrementando o disminuyendo las pérdidas de nutrientes en la explotación.

La concentración de nutrientes en las explotaciones ganaderas procede principalmente de la compra de alimentos y fertilizantes. Los resultados de esta investigación muestran un Surplus de N y P equivalente a 435 y 68 kg ha⁻¹, o 71.4% y 46.2% de las entradas totales, valores semejantes a los señalados por Hutson *et al.*, (1998). El 10% del exceso de N está predispuesto a ser lixiviado y el resto volatilizado en compuestos como N₂, N₂O, NH₃ o NO_x.

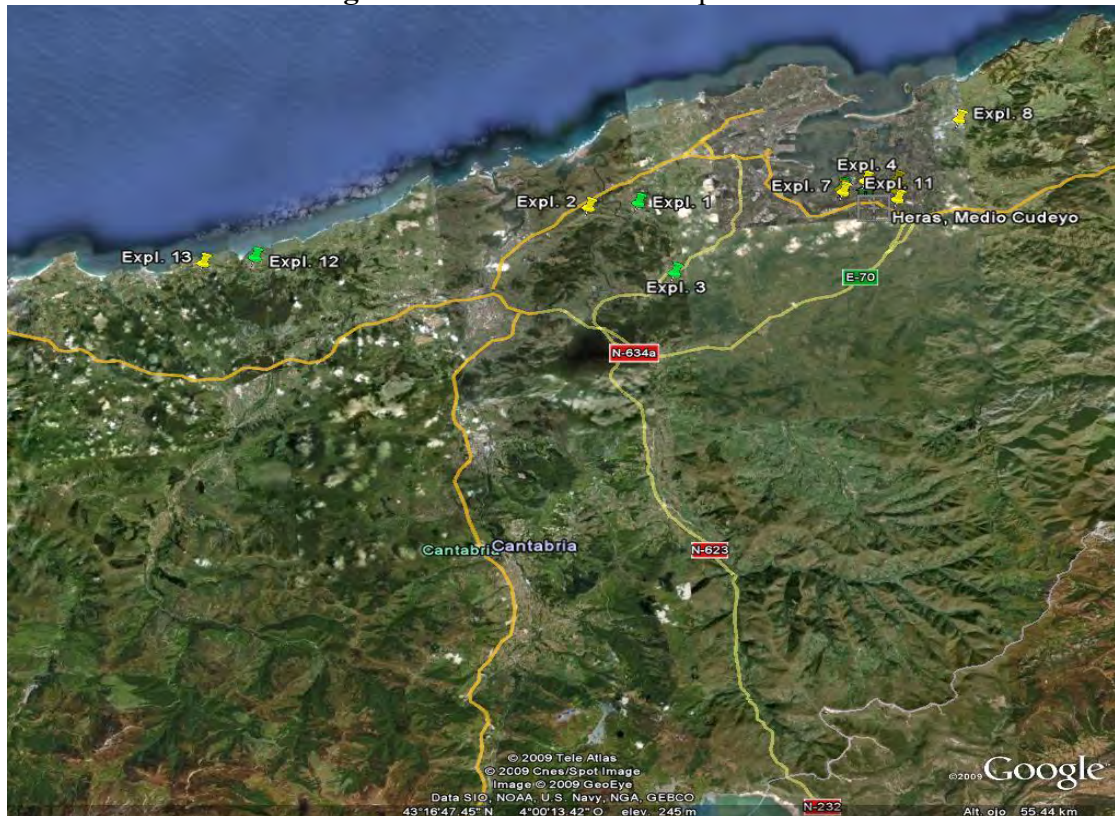
Los objetivos de este capítulo se centran en analizar el valor nutritivo de los alimentos que componen la dieta de las vacas lecheras, así como sus relaciones con la nutrición y producción de leche.

2. Material y métodos

2.1. Características de las explotaciones

El número de explotaciones lecheras seleccionadas fue de trece, con un total de 1653 UGM, 1040 vacas en ordeño (1% de la Comunidad Autónoma de Cantabria) y situadas en la zona Costera (Figura 1).

■ **Figura 1.-** Situación de las explotaciones



Las caracter3sticas principales de las explotaciones como superficie total, cuota, ganado y carga ganadera son:

Explo.	Superficie				Cuota		Ganado		Carga ganadera	
	ST	SP	SM	SO	l3ctea	UGM _t	VL	VL ₁ ha ⁻¹	UGM ha ⁻¹	Ha UGM ⁻¹
1	26	21.6	4.4	0	493	110	64	2.46	4.23	0.236
2	38	18.3	18.6	1.1	695	83	46	1.21	2.18	0.458
3	20	13.1	6.9	0	566	99	77	3.85	4.95	0.202
4	28	28	0	0	435	103	61	2.18	3.68	0.272
5	13	13	0	0	210	55	34	2.62	4.23	0.236
6	20	13	7	0	680	111	73	3.65	5.55	0.18
7	38.5	29	9.5	0	2050	268	161	4.18	6.96	0.144
8	70	2.4	56.3	11.3	1300	212	123	1.76	3.03	0.33
9	15	9.3	5.7	0	365	78	44	2.93	5.2	0.192
10	40	32.5	7.5	0	733	165	99	2.48	4.13	0.242
11	25	25	0	0	1100	134	110	4.40	5.36	0.187
12	24	18.5	5.5	0	313	59	37	1.54	2.46	0.407
13	45	25.2	19.8	0	1146	174	105	2.33	3.87	0.259
Std	14.8	9.0	14.9	4.1	489	61	37	1.0	1.34	0.09

Explo: explotaci3n n3mero; **ST:** superficie total, ha⁻¹; **SP:** superficie pradera, ha⁻¹; **SM:** superficie ma3z, ha⁻¹; **SO:** superficie otros cultivos forrajeros, ha⁻¹; **UGM_t:** Unidades Ganado Mayor totales; **VL:** vacas leche; **Std:** desviaci3n est3andar

2.2. Muestreo de los alimentos y pur3n

Al principio de cada mes se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg de los diferentes alimentos que componen la dieta (mezclas, concentrados, ensilados, forrajes deshidratados, etc.) de vacas en orde1o, vacas secas, cr3a y recria, almacen3ndose en bolsas de pl3stico para determinar su composici3n qu3mica en el laboratorio de Nutrici3n Animal del I.E.S. "La Granja". En el mismo, son clasificadas de acuerdo al n3mero de explotaci3n asignado (1...13) y sistema de producci3n (intensivo y semiintensivo). Posteriormente, 100 g de la misma son utilizados para determinar el contenido de materia seca en estufa a 60 3C durante 48 horas, y el sobrante, de igual forma secada, para su posterior an3lisis qu3mico-bromatol3gico, previamente molida en un molino de cuchillas provisto de una maya de 2 mm.

2.3. Análisis de los alimentos

Las cenizas fueron analizadas, por incineración de la muestra a 550 °C; proteína bruta como N-Kjeldahl x 6,25 con el Kjeltec™ 2300; fibra ácido y neutro detergente para el heno de alfalfa según Goering y Van Soest (1970) y Van Soest *et al.* (1991) para la fibra neutro detergente el ensilado de maíz y mezclas. La digestibilidad enzimática de la materia orgánica *in vitro* (D_e), por el método FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987), con predicción de la digestibilidad *in vivo* (D_v) para el ensilado de maíz como $D_v = -0.17 \text{ FND} + 0.44 \text{ De} + 52.67$ y $D_v = -0.85 \text{ FND} - 0.39 \text{ De} + 125.17$ para la alfalfa deshidratada (Riveros y Argamentería, (1987); ensilados de hierba $D_v = -0.29 \text{ FND} + 0.37 \text{ De} + 60.65$; hierba verde de pradera $D_v = 0.40 \text{ De} + 0.42 \text{ PB} + 38.43$. La energía metabolizable (EM) en MJ Kg^{-1} de MS, estimada como: $K \times \text{MOD}$, donde $\text{MOD} = \text{MO} \times D_v / 100$ y $K = 0.15$ para el ensilado de maíz y 0.16 para la alfalfa (MAFF, 1984). La digestibilidad de las mezclas se estimó a partir de Total de Nutrientes Digestibles (TDN) como $1.03 * \text{FAD} + 93,53$, con estimación de la Energía Neta Leche $\text{TDN} * 0.0245 - 0.12$ (NRC, 1989). Los carbohidratos no fibrosos (CNF) como $100 - (\text{Grasa bruta} + \text{Proteína bruta} + \text{Cenizas} + \text{Fibra neutro detergente})$. El fósforo sobre cenizas por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con el analizador FIAstar 5000.

2.4. Análisis del purín

El purín de las diferentes fosas fue almacenado en contenedores de plástico hermético, tomándose un total de 3 kilogramos, depositándose en nevera portátil hasta su posterior análisis. En el laboratorio, las muestras fueron homogeneizadas con un agitador de aspas. Inmediatamente después, se repartió la muestra en tres contenedores: uno para almacenar 500 g en un congelador industrial a -18 °C, otro de 300 g secado en estufa a 60 °C y un tercero, de 200 g para realizar los análisis sobre el purín fresco (Tabla 1).

Para cada parámetro determinado y en todas las muestras se realizaron dos repeticiones para dar fiabilidad al ensayo. Cuando la desviación estándar de las dos repeticiones fue superior al 5% se realizaron nuevas repeticiones.

Sobre muestra fresca se determinó la materia seca en estufa a 60 °C durante 48 horas; N total y amoniacal con el Kjeltec™ 2300; pH con el potenciómetro Crison BasiC20 y conductividad eléctrica con el conductímetro Crison GLP31. Sobre muestra seca previamente molida con un molino de cuchillas a 2 mm, se determinó su contenido en cenizas a 550 °C, con predicción de la materia orgánica y el fósforo por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con analizador FIAstar 5000.

2.5. Producci3n y composici3n qu3mica de la leche

La producci3n de leche por vaca de cada explotaci3n fue proporcionada por AFCA (Asociaci3n Frisona de Cantabria) a trav3s de los controles lecheros oficiales, tom3ndose como valores la media ponderada de cada mes, corrigi3ndose la producci3n de leche al 4% graso mediante la ecuaci3n propuesta por Tyrrell y Reid, (1965). Los an3lisis de grasa, prote3na, s3lidos no grasos, lactosa y recuento celular som3tico proceden del mismo control lechero. Los porcentajes de grasa y prote3na fueron ponderados con la producci3n de leche diaria. El contenido de P en la leche (g d^{-1}) se asume el valor de $2.17 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ } 1000^{-1} \text{ kg}$ de leche indicado por el INRA.

2.6. Eficiencias

La *eficiencia bruta* de la dieta fue estimada como la relaci3n $\text{kg MS}_{\text{ingerida}}/\text{kg}_{\text{leche}}$ producido; la del N (NUE) y P (PUE) recuperado en leche respecto al ingerido, y la *energ3a metabolizable* ingerida sobre la energ3a bruta excretada en leche estimada seg3n la ecuaci3n propuesta por Tyrrel y Reid, (1965) fue calculada mediante las expresiones:

$$\text{Eficiencia, \% N (NUE) o P}_2\text{O}_5 \text{ (PUE)} = \frac{100 \times \text{N o P}_2\text{O}_5 \text{ leche (g d3a)}}{\text{N o P}_2\text{O}_5 \text{ ingerido (g d3a)}}$$

$$\text{EUEM, \%} = \frac{100 \times \text{Energ3a bruta leche (MJ d3a)}}{\text{Energ3a metabolizable ingerida (MJ d3a)}}$$

2.7. Ingesti3n de nutrientes

El consumo de alimento por explotaci3n y dentro de cada mes (kg animal y d3a), fue multiplicado por su composici3n qu3mico-bromatol3gica para estimar el consumo de nutrientes [Prote3na (kg d^{-1}), Energ3a Neta Leche (Mcal d^{-1}), Energ3a Metabolizable (MJ d^{-1}); Fibra 3cido y neutro detergente (kg d^{-1}), Total de Nutrientes Digestibles (kg d^{-1}), F3sforo (g d^{-1}), Materia Org3nica (kg d^{-1})].

El volumen de excretas y la concentraci3n de N y P en heces y orina fue estimado a partir de las ecuaciones propuestas por Salcedo (2006) y (2007) desarrolladas en trabajos previos con vacas lactantes en nave metab3lica:

2.8. Estimaci3n de las excretas en N (Salcedo, 2006)

$$N \text{ heces } (g \text{ d}^{-1}) = -3.29 + 0.317 N_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 37.1 \text{ r}^2=0.49; n=1534$$

$$N \text{ orina } (g \text{ d}^{-1}) = -18.22 + 0.364 N_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 33 \text{ r}^2=0.61; n=1534$$

$$\text{Heces, (kg MS d}^{-1}) = -2.04 + 0.41 MS_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 0.50 \text{ r}^2=0.74; n=1534$$

$$\text{Volumen de orina, (l d}^{-1}) = 1.74 + 6.81 PB_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 4.25 \text{ r}^2=0.57; n=1534$$

N_i : Nitr3geno ingerido

MS_i : Materia seca ingerida

PB_i : Prote3na bruta ingerida

2.9. Estimaci3n del f3sforo escretado en heces (Salcedo, 2007)

$$P \text{ heces } (g \text{ d}^{-1}) = -14.9 + 0.7 P_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 1.68 \text{ r}^2=0.90; n=55$$

$$P \text{ heces + orina } (g \text{ d}^{-1}) = -13.9 + 0.71 P_i (g \text{ d}^{-1}); \pm 1.67 \text{ r}^2=0.90; n=55$$

P_i : F3sforo ingerido

2.10. Estimaci3n de gases efecto invernadero

Las emisiones de NH_3 , N_2O y NO del esti3rcol en el establo y estercolero se estimaron a partir de los factores de emisi3n se3alados por Payraudeau *et al.* (2005) citado por el Proyecto Green Dairy (Environment friendly and sustainable dairy systems in the Atlantic Area) seg3n las ecuaciones:

2.10.1. P3rdidas de NH_3 en el establo y estercolero

$$NH_3\text{-N en establo} = 0.12 \text{ kg } NH_3\text{-N} \cdot \text{kg N excretado establo (EMEP-CORINAIR, 2001)}$$

$$NH_3\text{-N en estercolero} = 0.06 \text{ kg } NH_3\text{-N} \cdot \text{kg N remanente (EMEP-CORINAIR, 2001)}$$

$$N \text{ remanente} = N \text{ excretado en establo} - NH_3\text{-N perdido en establo} - NO\text{-N perdido en establo}$$

$$NO\text{-N perdido en establo} = 0.003 \text{ kg } NO\text{-N} \cdot \text{kg de } NH_3\text{-N excretado en establo}$$

2.10.2. P3rdidas de NO en el establo y estercolero

$$NO\text{-N} = 0.003 \text{ kg } NO\text{-N} \cdot \text{kg de } NH_3\text{-N excretado en establo}$$

2.10.3. P3rdidas de N_2O en el establo y estercolero

$$N_2O\text{-N} = 0.02 \text{ kg } N_2O\text{-N} \cdot \text{kg de N remanente del esti3rcol}$$

$$N \text{ remanente} = N \text{ excretado} - NH_3\text{-N perdido en establo} - NO\text{-N perdido en establo} -$$

$$NH_3\text{-N perdido en estercolero}$$

2.10.4. Las emisiones de metano (CH_4) del pur3n almacenado son estimadas a partir del IPCC (1997) como:

$$SV * Bo * 0.67 \text{ kg m}^3 * MCF$$

Los s3lidos vol3tiles (SV) son calculados con un contenido en materia seca 87%. Bo es el metano potencial: $0.241 \text{ L } CH_4 \text{ kg}^{-1} SV$ para vacas y $0.171 \text{ L } CH_4 \text{ kg}^{-1} SV$ en novillas de reemplazo. MCF es el factor de conversi3n del metano, 10%.

2.10.5. Las p3rdidas de CH_4 procedentes de la fermentaci3n ent3rica de las

novillas de reemplazo se asume 50 kg CH₄ a ao^{-1} (NV, 2000). En las vacas lecheras se adopt3 la ecuaci3n de Ellis *et al.* (2007), como:

$$CH_4 \text{ kg vaca y a}\text{a}\text{o} = 4.08 + 0.0678 EM \text{ (MJ a}\text{a}\text{o}^{-1})$$

EM : Energ3a metabolizable

2.10.6. Las emisiones de CO₂ y N₂O procedente de los fertilizantes qu3micos son estimadas a partir de los coeficientes sealados por Davis y Haglund (1999) como:

	Por kg de N	Por kg P
Uso energ3a, MJ kg ⁻¹	41.8	30.6
Emisi3n:		
CO ₂ , g kg ⁻¹	2950	3080
N ₂ O g kg ⁻¹	14.6	0.287

2.10.7. Las emisiones de N₂O procedentes del suelo (IPCC, 1997) como:

Input N	Kg N ₂ O kg ⁻¹ N
Fertilizantes de s3ntesis	0.0125
Esti3rcol	0.0125
N fijado por los cultivos	0.0125

2.10.8. El consumo medio de gas-oil por UGM fue estimado a partir de cuatro encuestas durante dos a ao s (invierno, primavera, verano y oto ao) por explotaci3n, obten3ndose un valor medio de 80 L UGM⁻¹ a ao . Las emisiones procedentes del gas-oil empleado en los tractores son estimadas a partir de los factores de emisi3n sealado por Lindgren *et al.* (2002) como:

Emisi3n	MJ ⁻¹ gas-oil (40.9 MJ g ⁻¹)
CO ₂	75
NO _x	0.9102
SO ₂	0.019

2.10.9. El 3ndice de *potencial de calentamiento global* (PCG) es usado para determinar la contribuci3n del efecto gas invernadero. El 3ndice es definido como el efecto que fuerza la acumulaci3n de radioactivad entre el momento presente y un tiempo seleccionado en el futuro causado por una unidad de masa de gas emitido en el presente. Las emisiones son estimadas en t3rminos del gas de referencia CO₂ (IPCC, 1996). El PCG de 1 kg de CO₂ (con un tiempo de 100 a ao s) es 1; 1 kg de CH₄ es 21 kg y 1 kg de N₂O es 310 (Audsley *et al.* 1997). El total de emisiones de gases efecto invernadero (TGEI) son determinadas como:

$$TGEI = \sum(PCG_i \times m_i)$$

donde m_i es la masa en (kg) del gas emitido. El resultado es expresado en t3rminos de equivalentes de CO₂ (**kg CO₂-eq**) (Heijungs *et al.*, 1992). El impacto total es expresado

como TGEI/FCM (kg CO₂ kg leche FCM año); TGEI/UGM y TGEI/Ha (kg CO₂ ha⁻¹ año).

2.10.10. El **potencial de acidificación** de los diferentes gases expresados en equivalentes de SO₂-eq y los factores para SO₂-eq = 1; NO_x = 0.7 y para NH₃ = 1.89 (Reinhardt, 1997) y el **potencial de eutrofización** los equivalentes de PO₄⁻ son para NO_x = 0.13; N = 0.42 y P = 3.06 (Heijungs *et al.*, 1992 p. 87), expresados en kilogramos de PO₄⁻. El N y P corresponden al Surplus en kg ha⁻¹, definidos en el Capítulo 7 **“Balance y modelización del N y P de las explotaciones de Cantabria”**

2.11. Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados como un diseño de bloques al azar con diferente número de repetición (9 explotaciones intensivas y 4 semiintensivas). El análisis de varianza mediante el test de Tukey-Kramer realizado post-hot, a un nivel de significación del 0.05 con el programa estadístico SPSS (15.0). Previo al análisis de regresión, se realizó un test de correlación entre las variables más influyentes que actúan sobre la variable dependiente a analizar. Modelos de regresión simple y múltiple (stepwise) fueron desarrollados para evaluar la relación entre las diferentes variables estudiadas, clasificándose en tres grupos: conjunto explotaciones, explotaciones intensivas y semiintensivas.

3. Resultados y discusión

3.1. Composición química de los alimentos

Los alimentos mayoritariamente usados en la alimentación del ganado son el ensilado de hierba (100%); ensilado de maíz (92.3%); alfalfa deshidratada (76.92%); hierba verde (30.7%) [solo semiintensivos]; heno de hierba (30.7%) y paja (12%). Otros forrajes como festuca y veza-avena deshidratada son empleados en menor proporción y en dos explotaciones. La Tabla 1 señala la ingestión de los forrajes de mayor uso en las explotaciones.

Tabla 1.- Ingestión media de los forrajes más usados (kg vaca y día)

	Ensilado hierba	Ensilado maíz	Alfalfa	Heno hierba
Media	16 ¹	16.8	2.95	2.15
Máximo	32	34	7	4.6
Mínimo	3.0	8.0	2.0	1.1
<i>std</i>	7.3	7.3	1.8	1.4

¹: en los sistemas semiintensivos sustituyen el ensilado de hierba por hierba de prado durante la primavera-verano y al principio del otoño, **std.:** desviación estándar.

En la Tabla 2 se indican los porcentajes medios, mínimos, máximos y desviación estándar de los alimentos usados en la mezcla del concentrado para el conjunto de las

explotaciones y el porcentaje de uso.

Tabla 2.- Alimentos usados en los concentrados y porcentaje de ganaderos que lo usan

Alimento	Media	M3nimo	M3ximo	Std	%
Bicarbonato s3dico	1.46	0.92	2.50	0.55	69.2
Carbonato c3lcico	1.07	0.50	1.52	0.43	38.4
Salvado trigo	4.45	3.90	5.00	0.78	15.3
Cascarilla soja	4.81	3.10	6.00	1.22	30.7
Cebada	19.9	10.0	57.6	14.1	84.6
Corrector Vitam3nico-Mineral	2.40	1.41	3.50	0.84	69.2
Colza	11.4	7.80	15.1	5.14	15.3
Grano de destiler3a	12.8	12.8	12.8	-	7.69
Fosfato bic3lcico	0.50	0.07	1.10	0.36	46.1
Gluten feed	10.0	5.03	15.1	7.10	15.3
Grasa bypass	2.06	0.23	4.50	1.94	46.1
Levaduras	0.70	0.70	0.70	-	7.69
Ma3z	36.4	8.00	54.9	10.9	92.3
Ma3z copos	4.00	4.00	4.00	-	7.69
Melazas	2.16	0.30	4.02	1.28	53.8
3xido magnesio	0.20	0.20	0.20	-	7.69
Palma torta	6.50	6.50	6.50	-	7.69
Pulpa naranja	8.50	8.50	8.50	-	7.69
Pulpa remolacha	13.6	5.53	35.3	8.32	76.9
Sal	0.60	0.40	1.00	0.24	38.4
Semilla entera algod3n	13.3	7.50	22.0	4.07	92.3
Soja harina	17.0	1.60	32.2	8.65	92.3

Std: desviaci3n est3ndar

La base energ3tica de los concentrados por orden y porcentaje de uso son el ma3z (92.3%-36.4%); cebada (84.6%-19.9%); melazas de ca3a o remolacha (53.8%-2.16%) y grasas protegidas (46.1%-2.06%). Los alimentos proteicos son harina de soja, semilla entera de algod3n, colza, corn gluten feed y torta de palmiste (92.3%-17.05%; 92.3%-13.3%; 15.38%-11.4%; 15.38%-10.05% y 7,61%-6.5%) respectivamente. Los subproductos mayoritarios son la pulpa de remolacha (76.9%-13.5%); cascarilla de soja (30.77%-4.8%); salvado de trigo (15.3%-4.4%) y, en menor medida, la pulpa de naranja (7.69%-8.5%) empleada en una sola explotaci3n. El grupo de minerales lo forman el bicarbonato s3dico, corrector vitam3nico-mineral, fosfato bic3lcico, carbonato c3lcico y sal, con porcentajes medios de 69.2%-1.4%; 69.2%-2.4%; 46.1%-0.5%; 38.4%-1.07% y 38.4%-0.60% respectivamente.

La calidad de los ensilados de hierba, ensilados de ma3z, alfalfa, hierba verde y paja se clasifican en funci3n del valor relativo forrajero (VRF). Este 3ndice supone una


valoraci3n objetiva de calidad y refleja el potencial de ingest3n de materia seca $IMS = (120 \div \% FND)$ y su digestibilidad $DMS = 88.9 - (0.779 \times FAD)$, donde $VRF = (IMS \times DMS \div 1.29)$. Dicho 3ndice permite clasificar los forrajes en Excelente (>151), Primera (125-151), Segunda (103-124); Tercera (87-102), Cuarta (75-86) y Quinta (>75). Entre alimentos y de mayor a menor calidad (VRF) el ensilado de ma3z (134.1); alfalfa (131.7); hierba de prado (118.6); ensilado de hierba (96) y 57.1 la paja (Tabla 3).

El 72.4% de los ensilados de hierba se sit3an en calidades de 2^a y 3^a y el 23.5% entre 4^a y 5^a y s3lo el 3.9% de primera. El ensilado de ma3z es considerado bueno, donde el 94.7% se encuentran entre las calidades excelentes, 1^a y 2^a. El 36.4% de la hierba verde corresponden a 3^a y 4^a calidad. Posiblemente, un mejor manejo en el aprovechamiento mejore su calidad.

Tabla 3.- Porcentaje de forraje clasificados su valor relativo forrajero (VRF)

Forraje	Excelente	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Ensilado hierba	0	3.9	31.3	41.1	9.8	13.7
Ensilado ma3z	12.06	51.7	31.03	5.17	-	-
Alfalfa	19.0	42.8	38.1	-	-	-
Hierba verde	7.69	25.6	30.7	30.7	5.31	-
Paja cereales	-	-	-	-	-	100

El contenido de prote3na bruta de los *ensilados de hierba* presenta un valor medio de 12.8%, ligeramente superior a 11.4% se3alado por Sarmiento *et al.* (1996) sobre una muestra de 153 ensilados de hierba analizados en Cantabria durante el per3odo 1991-1994. Por el contrario, los porcentajes de FND, EM y P (Tabla 4), son similares a 60.3%, 8.74 MJ y 0.28% a los se3alados por Sarmiento *et al.* (1996). Durante este per3odo (2007-2008), los porcentajes de materia son superiores a 21.9% indicados por aquellos autores, lo que cabe pensar en tiempos de presecado superiores y similares al 26.5% en Galicia (Flores, 2004). Las concentraciones de prote3na bruta y cenizas son tambi3n similares a los ensilados de hierba en Galicia de 13.4% y 10.5%, (Flores, 2004); e inferior porcentaje de materia org3nica digestible. Los porcentajes de materia seca aqu3 obtenidos pueden ser mejorados hasta el 30%, mediante t3cnicas de presecado. Seg3n Sutter (1957), existe una estrecha relaci3n entre el contenido de materia seca del ensilado y el volumen de efluentes del tipo: $L t^{-1} = 669.4 - 22.4 \times \% MS$).

 **Tabla 4.- Composición química de los forrajes**

	MS	Cenizas ¹	PB ¹	FAD ¹	FND	De _{vitro} ²	EM	MOD ¹	P ¹	VRF
Ensilado de hierba										
Media	27.7	11.4	12.8	36.3	59.6	54.3	8.97	56.3	0.31	96
Mín.	14.4	6.5	8.3	25.4	46.5	35.2	7.51	46.9	0.12	64
Máx.	53.1	22.7	17.2	48.2	76.3	67.8	9.94	66.5	0.58	131
N	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Std	9.2	3.0	2.4	4.8	7.2	7.0	0.66	4.3	0.08	15.0
P	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Ensilado de maíz										
Media	30.4	4.5	9.4	28.2	48.0	66.5	10.79	68.9	0.22	132
Mín.	19.2	1.9	7.2	19.1	30.7	58.7	8.99	56.2	0.06	93.1
Máx.	41.6	8.4	14.4	42.2	66.6	76.1	11.76	74.6	0.56	224
N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Std	4.43	1.1	1.52	4.7	5.5	4.3	0.53	3.5	0.08	20.7
P	NS	NS	NS	***	***	NS	***	***	NS	***
Alfalfa deshidratada										
Media	86.5	11.7	21.7	33.2	44.2	66.3	9.2	57.6	0.33	134
Mín.	68.6	8.82	15.6	24.6	36.5	58.2	8.1	50.6	0.21	106
Máx.	92	15.4	29.4	42.5	52.9	74.1	10.6	66.5	0.53	174
N	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Std	4.6	1.9	3.8	4.7	5.0	3.7	0.73	4.8	0.08	20.7
P	***	*	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	NS
Hierba verde										
Media	20.1	11.5	15.6	31.0	52	61.8	9.4	59.0	0.34	119
Mín.	11.4	7.6	9.1	19.3	37.9	44.7	7.3	45.7	0.14	86.3
Máx.	29.7	17	35.9	45.8	66.4	78.9	11.7	72.8	0.74	177
N	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Std	4.43	2.37	5.08	5.76	7.3	8.7	0.69	4.3	0.12	22.6
P	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
Paja de cereales										
Media	87.1	6.6	6.77	50.2	81.2	37.6	-	-	0.11	57
Mín.	73.7	3.83	3.08	42.9	76.7	29.7	-	-	0.06	47
Máx.	96.6	9.5	11.4	55	90.9	42.6	-	-	0.23	67
N	9	9	9	9	9	9	-	-	9	9
Std	6.0	1.7	2.6	4.2	4.7	5.4	-	-	0.05	6.62
P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	NS

MS: materia seca, %; **PB:** proteína bruta, %; **FAD:** fibra ácido detergente, %; **FND:** fibra neutro detergente, %; **De_{vitro}:** digestibilidad enzimática FND-celulosa, %; **EM:** energía metabolizable, MJ kg⁻¹ MS; **MOD:** materia orgánica digestible, %; **P:** fósforo, %; **P:** nivel de significación, *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; **NS:** no significativo; ¹: valores expresados sobre materia seca; ²: en tanto por ciento sobre materia orgánica

El volumen de efluentes de los ensilados estimados a partir de la ecuación propuesta por Sutter (1957) son de 47±205 L tonelada de forraje verde. Por su parte, Spillane y O'Shea (1973), señalan al efluente del ensilado de hierba como un agente contaminante de primer orden (Demanda Biológica de Oxígeno: 30000 a 80000 mg O₂ L⁻¹); en este caso, el tiempo de presecado debería ser superior al actual.

Miller y Clifton (1965) estiman las pérdidas de materia seca en tanto por ciento a partir de la ecuación: 17.614 – (0.583 x MS %). Así, las pérdidas de materia seca para el conjunto de ensilados de hierba (n=51), son de 1.42%, similar a 1.63% señalado por Salcedo *et al.* (2008), para porcentajes medios de materia seca del ensilado a su apertura

de 27.5%.

A nivel de conjunto, solamente la materia seca fue diferente entre explotaciones ($P < 0.001$), con mínimos de 14.4 y máximos de 53.1% (Tabla 4).

Los *ensilados de maíz* (Tabla 4) presentan contenidos de materia seca, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y materia orgánica digestible similares a los obtenidos por Flores *et al.* (2003) en Galicia de 30.3%; 25.3%; 44% y 66% respectivamente; pero superior contenido en proteína bruta en los ensilados cántabros (9.4 vs. 6.7%). Entre explotaciones, solo se observan diferencias en la fibra ácido detergente, neutro detergente, energía metabolizable, materia orgánica digestible y valor relativo forrajero ($P < 0.001$).

La composición química de la *hierba verde* difiere a la señalada por Salcedo (2006) para la materia seca (20.1 vs. 16.3%), imputable a un avanzado estado de madurez en el momento de su aprovechamiento; menor contenido en proteína bruta, materia orgánica digestible y energía metabolizable (15.6 vs. 19.5%; 59 vs. 64.6% y 9.4 vs. 10.3 MJ kg⁻¹ MS) respectivamente. Por el contrario, mayores concentraciones de fibra ácido detergente y fósforo (27.7 vs. 31% y 0.30 vs. 0.34%) y similar porcentaje de fibra neutro detergente (52 vs. 53.5%).

La Tabla 5 resume la composición química de los *concentrados* y *la ración total mezclada* para las vacas lactantes y no lactantes. Para los primeros, en las vacas lecheras, sólo las cenizas difieren entre explotaciones ($P < 0.05$). Como se desprende de la Tabla 5, los porcentajes de cenizas, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente son superiores en los concentrados de vacas no lactantes y novillas; e inferior la proteína bruta, energía metabolizable y fósforo.

La composición químico-bromatológica de las *raciones totales mezcladas* para las vacas de ordeño difiere entre explotaciones en todos los parámetros analizados ($P < 0.001$), registrándose valores medios de proteína bruta del 16.4%. Los porcentajes máximos y mínimos son diferentes a los indicados por de la Roza *et al.* (2005) en Asturias y similares a los señalados por Arriaga *et al.* (2008) de 16.5% en el País Vasco. La concentración de energía neta leche, proteína bruta, fibra ácido detergente, neutro detergente y fósforo difieren a los del NRC (2001) en vacas mediando 90 días en lactación y 30 kilogramos de leche. Así, las concentraciones señaladas por el NRC (2001) son de 1.42 Mcal de ENL kg MS; 15% proteína bruta; mínimos de 17-21% para la FAD; mínimos de 25-33% para la FND y 0.33% el fósforo. El valor nutritivo medio de las dietas en las explotaciones cántabras es de 1.58 Mcal de ENL kg MS; 16.4% de

proteína; 23.1% de fibra ácido detergente; 39.4% de fibra neutro detergente y 0.44% de fósforo; similares para este último a 0.40% en el País Vasco (Arriaga *et al.*, 2008). Para la fibra ácido y neutro detergente los porcentajes aquí obtenidos se sitúan dentro del rango señalado por el NRC (2001) y superiores la proteína y el fósforo.

Tabla 5.- Composición químico-bromatológica de los concentrados y mezclas

	MS	Cenizas ¹	PB ¹	FAD ¹	FND ¹	De _{vitro} ²	EM ³	TDN ¹	P ¹
Concentrado vacas ordeño									
Media	88.2	7.5	20.5	16.2	28.3	84	12.4	80.5	0.55
Mín.	81.4	4.4	14.5	5.9	7.1	74.5	11.4	69.1	0.23
Máx.	96.5	14.7	29.1	26	42.1	94.3	13.9	87.3	1.33
N	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Std	2.6	2.1	3.5	4.5	6.9	3.8	0.52	4.55	0.21
P	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Concentrado vacas secas									
Media	87.6	9.1	12.2	32.5	53.8	58.2	9.45	59.9	0.34
Mín.	85.2	2.4	7.7	5.9	22.3	39.6	7.6	47.8	0.15
Máx.	89.3	19.7	21	44.3	74	88.6	14.3	87.3	0.53
N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Std	0.8	2.6	2.5	6.1	11.5	10.1	1.1	6.4	0.08
P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mezcla ordeño									
Media	49.6	9.07	16.4	23.1	39.4	72.6	11.08	69.6	0.44
Mín.	29.1	4.7	8.2	13.1	16.9	43.1	8.4	55.6	0.18
Máx.	87.9	17.2	23.3	36.1	58.2	89.9	13.0	84.1	0.88
N	245	245	245	245	245	245	245	245	245
Std	8.5	1.9	2.1	4.1	6.8	6.6	0.78	4.36	0.09
P	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Mezcla secas									
Media	50.7	9.1	12.2	32.5	53.8	58.2	9.4	59.9	0.33
Mín.	22.6	2.5	7.7	5.9	22.3	39.6	7.6	47.8	0.15
Máx.	87.2	19.7	21.0	44.3	74.1	86.6	14.3	87.3	0.53
N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Std	10.8	2.6	2.5	6.1	11.5	10.1	1.17	6.4	0.08
P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

MS: materia seca, %; PB: proteína bruta, %; FAD: fibra ácido detergente, %; FND: fibra neutro detergente, %; De_{vitro}: digestibilidad enzimática FND-celulasa, %; EM: energía metabolizable; TDN: total nutrientes digestibles, %; P: fósforo, %; ¹: % sobre materia seca; ²: % sobre materia orgánica; ³: MJ kg MS; P: nivel de significación, *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; NS: no significativo

3.2. Ingestión de nutrientes

3.2.1. Materia seca

Para el conjunto de explotaciones la ingestión media de materia seca es de 21.3 ± 1.6 kg vaca y día, con mínimos de 16.6 y máximos de 26.1 kg (Tabla 6) y diferentes entre sistemas de producción ($P < 0.001$), mayor en los intensivos (21.6 ± 1.6 kg) que los semiintensivos (20.6 ± 1.4 kg). En ambos casos, similar a los indicados por Arriaga *et al.* (2008) en raciones totales mezcladas del País Vasco y producciones de leche ligeramente inferiores a las de Cantabria (29.1 vs. 32.3 kg día).

En el presente trabajo, el consumo de materia seca total está positivamente relacionado con el aporte de concentrado ($r = 0.37$, $P < 0.01$), con ingestiones medias de 11.2 kg en los intensivos y 9.9 kg MS vaca y día ($r = 0.29$, $P < 0.01$) los semiintensivos. La ingestión de forraje es otra variable moderada y positivamente correlacionada con la ingestión de materia seca total en ambos sistemas de producción ($r = 0.48$, $P < 0.01$ los intensivos y $r = 0.35$, $P < 0.01$ los semiintensivos), situándose la relación forraje : concentrado en 49.6 : 50.4 para el conjunto de explotaciones; 46.9 : 53.1 los intensivos y 55.9 : 44.1 los semiintensivos.

Otras variables nutricionales relacionadas con la ingestión de materia seca son la concentración fibra ácido y neutro detergente (FAD-FND) de la dieta, observándose relaciones negativas ($r = -0.21$, $P < 0.05$) para la FAD y, ($r = -0.26$, $P < 0.05$) la FND, sin diferencias para ésta última en los semiintensivos y, de forma negativa ($r = -0.22$, $P < 0.01$) en los intensivos.

La concentración proteica de la dieta (% sobre materia seca) y la energía neta leche (Mcal kg^{-1} MS), presentan correlaciones bajas con la ingestión de materia seca ($r = 0.16$, $P < 0.01$ y $r = 0.13$, $P < 0.05$ respectivamente) para el conjunto de dietas. Por el contrario, en los semiintensivos la proteína bruta se relaciona negativamente ($r = -0.36$, $P < 0.01$), imputable a la menor concentración (Tabla 6).

La producción de leche está positivamente relacionada con el consumo de materia seca ($r = 0.32$ $P < 0.01$) en los sistemas intensivos, pero no en los semiintensivos. En ambos sistemas, la ingestión diaria fue inferior a la teórica señalada por el NRC (2001) en -2.0 y -0.48 kg MS día (Figura 2), y +0.68 kg MS respecto al CNCPS (Fox *et al.*, 2004) (Figura 3) para los intensivos y semiintensivos, respectivamente. Así, para cada kilogramo de materia seca ingerida observada, el NRC (2001) estima 1.18 kg y 0.99 kg el CNCPS (Fox *et al.*, 2004).

Figura 2.- Consumo de MS observada vs. estimada (NRC, 2001)

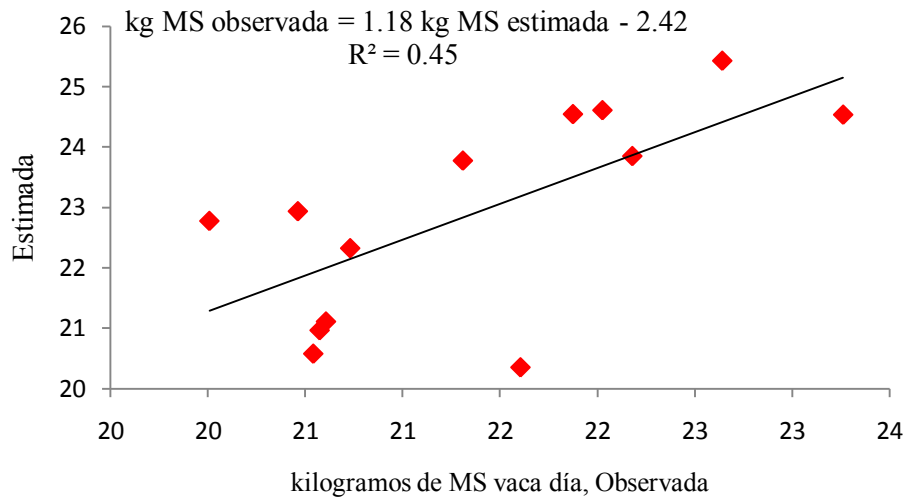
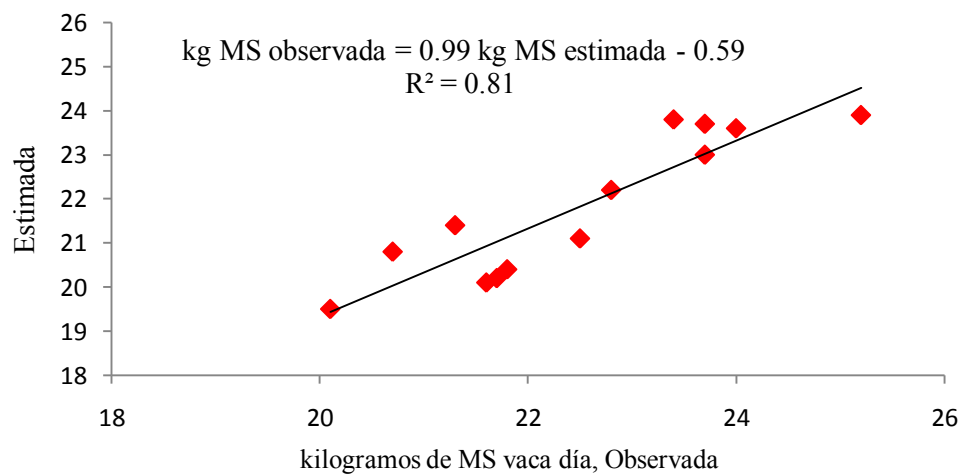


Figura 3.- Consumo de MS observada vs. Estimada (CNCPS, Fox *et al.*, 2004)



 **Tabla 6.- Ingesti3n de nutrientes**

	Conjunto					Intensivos					Semiintensivos					P
	Md.	M3n.	M3x.	N	Std	Md.	M3n.	M3x.	N	Std	Md.	M3n.	M3x.	N	Std	
MS, kg d ⁻¹	21.3	16.6	26.1	299	1.67	21.6	17.9	26.1	207	1.6	20.6	16.6	23.9	92	1.49	***
MO, kg d ⁻¹	19.3	14.8	24.2	299	1.65	19.5	15.9	24.2	207	1.6	18.7	14.8	21.9	92	1.4	***
Forraje, kg	10.6	5.2	16.6	299	1.80	10.2	5.2	13.9	207	1.6	11.6	8.8	16.6	92	1.8	***
Forraje, %	49.6	17.1	74.5	299	8.5	46.9	17.1	63.7	207	7.2	55.9	42.2	74.5	92	8.0	***
Concentrado, kg	10.5	6.3	14.8	299	2.05	11.2	6.6	14.8	207	1.7	8.9	6.3	11.5	92	1.7	***
Concentado, %	50.3	25.4	82.9	299	8.5	53.1	36.2	82.9	207	7.2	44.0	25.5	57.8	92	8.0	***
PB, kg d ⁻¹	3.45	2.25	5.71	299	0.63	3.65	2.48	5.71	207	0.62	3.00	2.25	4.06	92	0.37	NS
PB, %	16.1	10.6	23.3	299	2.46	16.8	12.3	23.3	207	2.3	14.5	10.6	19.1	92	1.8	***
g PB kg leche	116.3	76.4	225	299	22.0	114	76.4	194	207	19.7	122.8	80.5	225	92	25.7	***
FAD, kg d ⁻¹	5.13	2.76	8.4	299	0.91	5.11	2.76	8.4	207	0.94	5.2	3.4	7.4	92	0.83	NS
FAD, %	24.1	13.2	36.1	299	4.2	23.6	13.2	36.1	207	4.3	25.2	16.9	35.6	92	3.9	***
FND, kg d ⁻¹	8.75	3.35	13.2	299	1.4	8.5	3.3	12.8	207	1.4	9.09	5.51	13.2	92	1.5	***
FND, %	41.1	16.3	58.2	299	7.0	39.8	16.3	58.2	207	6.7	44.0	27.0	58.1	92	6.8	***
CNF, kg d ⁻¹	6.43	2.67	11.4	299	1.63	6.65	2.67	11.4	207	1.6	5.92	3.43	9.08	92	1.3	***
CNF, %	29.9	11.7	51.8	299	6.75	30.6	11.7	51.8	207	6.9	28.6	14.9	44.5	92	6.0	**
ENI, Mcal d ⁻¹	33.7	24.7	43.5	299	3.8	34.3	24.7	43.5	207	4.0	32.4	26.8	38.1	92	2.9	NS
ENL, Mcal kg MS	1.57	1.22	2	299	0.11	1.58	1.22	2.0	207	0.12	1.56	1.32	1.73	92	0.08	NS
EM, MJ d ⁻¹	234	172	306	299	26.8	240	172	306	207	28.1	222	183	267	92	18.8	***
EM, MJ kg MS	10.9	8.6	13.2	299	0.78	11.0	8.62	13.2	207	0.85	10.7	9.12	12.2	92	0.55	***
MJ kg leche	7.9	5.4	13.2	299	1.5	7.48	5.41	10.6	207	0.96	9.07	5.4	13.2	92	1.89	***
TDN, kg d ⁻¹	14.8	11	19.0	299	1.57	15.0	11.0	19.0	207	1.6	14.2	11.6	17.1	92	1.3	***
TDN, %	69.2	56.2	80.5	299	4.3	69.3	58.3	80.5	207	4.63	68.9	60.1	79.1	92	3.5	NS
F3sforo, g d ⁻¹	87.3	36.8	181	299	21.1	92.3	36.8	181.7	207	19.9	76.0	47.0	135	92	19.5	***
F3sforo, %	0.41	0.18	0.77	299	0.09	0.42	0.18	0.77	207	0.08	0.37	0.22	0.60	92	0.09	***

Md: medias; M3n: m3nimo; M3x: m3ximo; MS: materia seca; MO: materia org3nica; PB: prote3na bruta; FAD: fibra 3cido detergente; FND: fibra neutro detergente; ENI: energ3a neta leche; EM: energ3a metabolizable; TDN: total nutrientes digestibles; P: nivel de significaci3n, *** P<0.001; ** P<0.01; NS: no significativo; N: n3mero de casos; Std: desviaci3n est3andar

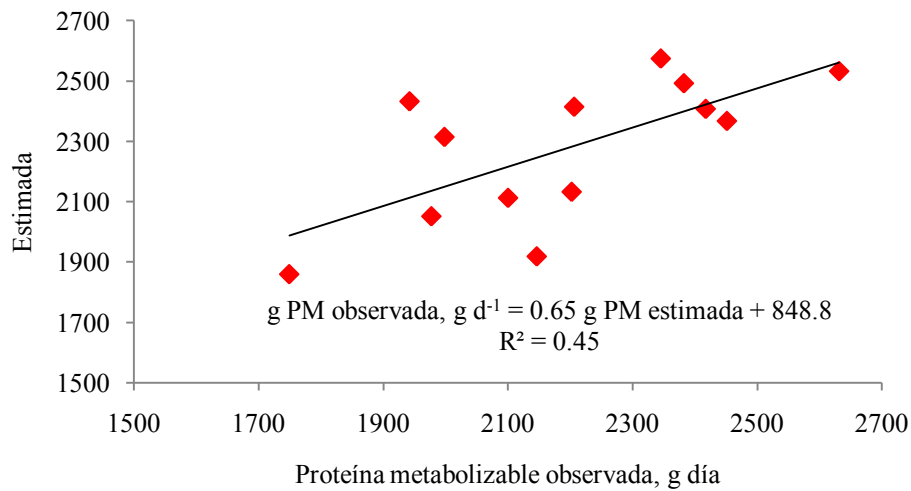
3.2.2. Proteína bruta

La ingestión de proteína bruta para el conjunto de explotaciones es de 3.45 kg vaca día, con mínimos de 2.25 y máximos de 5.71 kg (Tabla 6), sin diferencias significativas entre sistemas de producción, ligeramente inferiores a los intensivos señalados por Arriaga *et al.* (2008) en raciones totales mezcladas del País Vasco. La concentración media de proteína en la materia seca de la dieta es 16.8% los intensivos y 14.5% en los semiintensivos. Investigaciones recientes (Broderick, 2003; Ipharraguerre y Clark, 2005; Colmenero y Broderick, 2006) demuestran que es posible producir más de 30 kg de leche con dietas del 16.5% de proteína.

Tamminga (1992), señala como relaciones óptimas las inferiores a 30 g N kg⁻¹ de materia seca para minimizar las pérdidas de nitrógeno. En el presente trabajo, las relaciones medias son 25.8±3.9; 26.9±3.8 y 23.3±3.01 g para el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente.

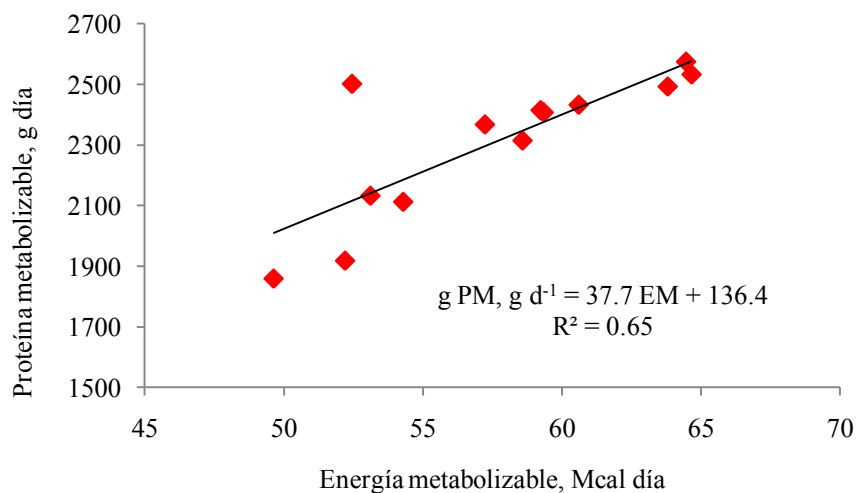
La ingestión de proteína metabolizable [la suma de proteína verdadera absorbida en el intestino proporcionada por la Proteína Microbiana (PMo) y la Proteína No Degradable en Rumen (PNDR)], estimada por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) y la observada (Figura 4) es de 2303±195 g vaca día en los intensivos y 2178±335 g vaca día los semiintensivos. Estos consumos representan ingestiones de proteína metabolizable superiores a 3.3% y 11.9% comparados con el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) en los mismos sistemas, similares a 4.3% señalado por Arriaga *et al.* (2008) en los intensivos. El rango osciló desde -3.7% a +15.8% en los intensivos y -10.5% a +26.5% los semiintensivos. Posiblemente, el similar exceso de proteína metabolizable observado respecto al señalado por Arriaga *et al.* (2008) tenga su origen en el similar consumo de N (553 vs. 562 g vaca día); al porcentaje de proteína bruta en la dieta (16.1 vs. 16.4%) y 25.8 vs. 26.3 g N kg⁻¹ MS ingerida vaca y día. En cualquier caso y para el conjunto de explotaciones, el consumo de proteína metabolizable es superior en 117 g al estimado por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004).

Figura 4.- Relación proteína metabolizable (PM: g vaca día) observada vs. estimada (CNCPS, Fox *et al.*, 2004)



La proteína metabolizable estimada por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) se relacionó negativamente con el consumo de ensilado de hierba ($r = -0.89$, $P < 0.01$) en los intensivos, pero no en los semiintensivos, con mayor consumo de ensilado de hierba (22.0 vs. 13.3 kg vaca día en fresco). Para el consumo de ensilado de maíz, concentrado y alfalfa en ambos sistemas no se observaron correlaciones con la proteína metabolizable, pese al mayor aporte y superior contenido de proteína bypass en esta última (Salcedo y Sarmiento, 1997). Por el contrario, la proteína metabolizable se relacionó positivamente con la ingestión de energía metabolizable (Figura 5).

Figura 5.- Relación entre el consumo de energía metabolizable (Mcal vaca día) y la proteína metabolizable (g vaca día)



El consumo medio de proteína degradable en rumen (PDR) es de 2.48 ± 0.27 y la no degradable (PNDR) de 1.07 ± 0.13 kg vaca y día para el conjunto de explotaciones, sin diferencias entre sistemas de producción para la PDR y $P < 0.05$ la PNDR, observándose valores medios de $2.57-1.12$ y $2.29-0.95$ kg vaca día en los intensivos y semiintensivos respectivamente, coincidente con Arriaga *et al.* (2008). Estas ingestiones representan concentraciones medias de $11.4 \pm 0.82\%$ y $11.3 \pm 1.5\%$ de PDR sobre materia seca y $4.9 \pm 0.25\%$ en los intensivos y $4.7 \pm 0.52\%$ la PNDR los semiintensivos. El exceso de PDR y el desequilibrio en la liberación de NH_3 procedente de la degradación proteica en rumen y la disponibilidad de energía a nivel ruminal, puede reducir significativamente la síntesis de proteína microbiana en rumen.

La síntesis de proteína microbiana estimada por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) fue 1.3 kg vaca y día para el conjunto de las 13 explotaciones, 1.44 kg en los intensivos y 1.27 kg los semiintensivos. La mayor síntesis de proteína microbiana se registró en una explotación intensiva (1598 g vaca y día) en dietas formadas por 3 kg de ensilado de hierba; 34 kg de ensilado de maíz; 2.5 kg de alfalfa, 12 kg de concentrado; equivalente a un consumo de 7.85 kg de almidón (32.8% en la ración) y 2.5 kg de PDR (67.2% sobre la PB de la ración). El aumento en el uso de ensilado de hierba se relacionó negativamente con la proteína microbiana a un ritmo de 15.4 g por kilogramo de ensilado (Figura 6) y positivamente con ensilado de maíz (Figura 7), reduciéndose significativamente ($P < 0.001$) el coste de urea (Mcal día) al incrementar el consumo de ensilado de maíz (Figura 8).

Figura 6.- Relación entre el consumo de ensilado de hierba y la producción de proteína microbiana

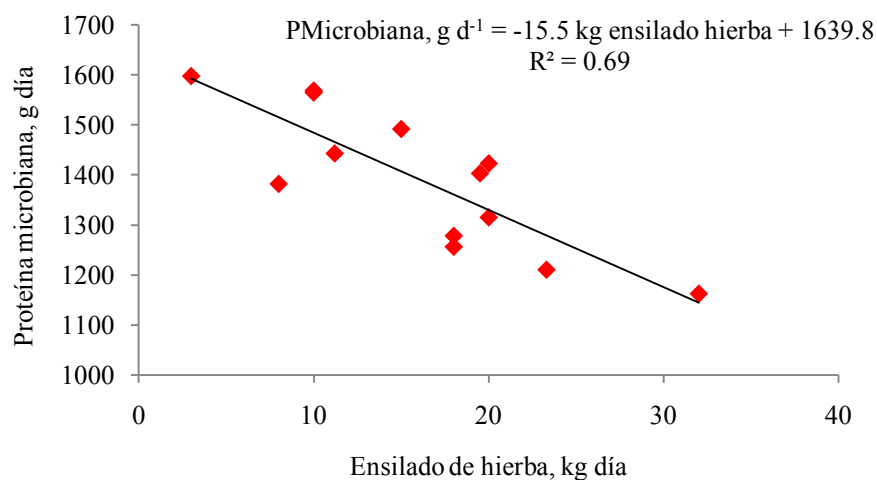


Figura 7.- Relaci3n entre el consumo de ensilado de ma3z y la producci3n de prote3na microbiana

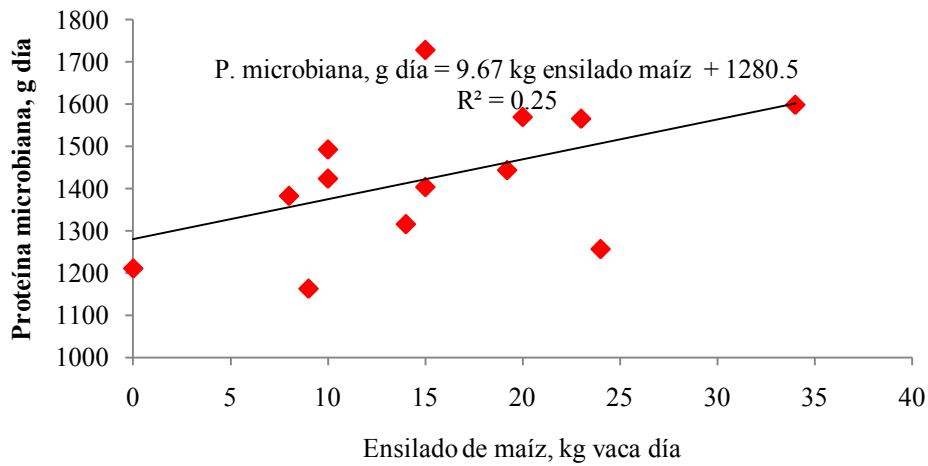
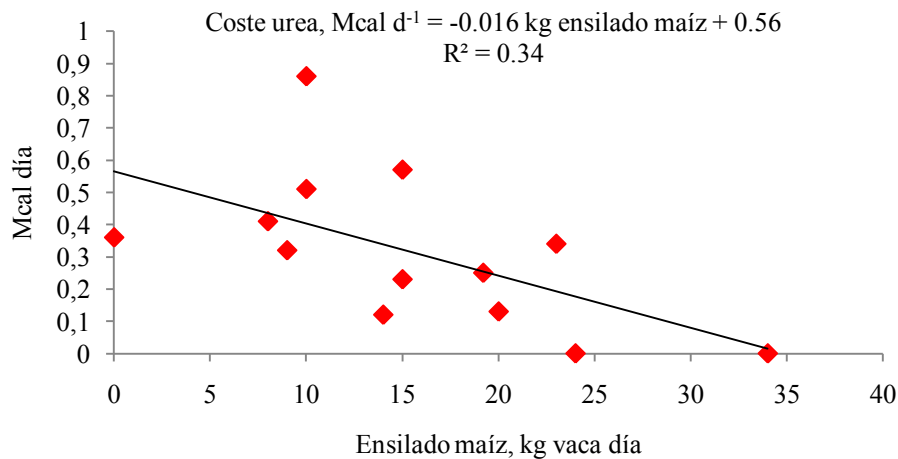
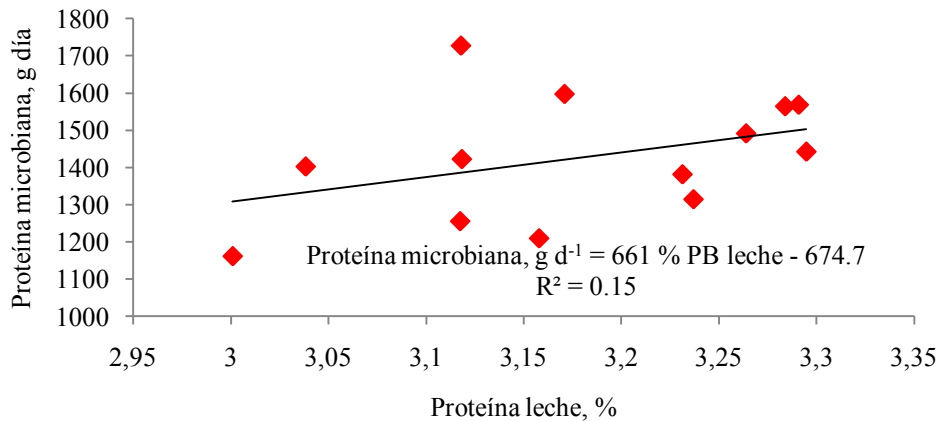


Figura 8.- Relaci3n entre el consumo de ensilado de ma3z y el coste en urea (Mcal d⁻¹)



Diversos estudios muestran que el perfil aminoac3dico de la prote3na bruta microbiana es similar al de la prote3na l3ctea. As3, la prote3na microbiana estimada por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) se relacion3 significativamente ($r^2=0.15$, $P<0.001$) con el porcentaje de prote3na en leche (Figura 9).

Figura 9.- Relaci3n entre el porcentaje de prote3na en leche y la s3ntesis de prote3na microbiana (g d^{-1})



El consumo de prote3na no degradable en rumen (PNDR) se relacion3 positivamente con la producci3n de leche (Figura 10). El aumento de la degradabilidad a nivel ruminal se ha relacionado con acumulaciones de amon3aco en el rumen, aumentos de N ureico en sangre y leche (Salcedo, 2006). En este sentido, el aumento de la ingesti3n de PDR (kg vaca d3a) mostr3 una relaci3n significativa y positiva con el contenido de N ureico en leche ($P < 0.001$) (Figura 11), sin relaciones con la prote3na no degradable en rumen. Por su parte Van Soest (1994), se3ala que el N remanente absorbido en forma de amon3aco a trav3s de la pared ruminal, es convertido en urea por el h3gado, conversi3n que requiere 12 kcal g^{-1} de N. Entre alimentos, el ensilado de ma3z por su alto contenido en energ3a f3cilmente fermentable y baja prote3na bruta, contribuye a reducir el gasto energ3tico en transformar el h3gado los excesos de amon3aco a urea (Figura 12).

Figura 10.- Relaci3n entre el consumo de prote3na no degradable en rumen (PNDR) y la producci3n de leche

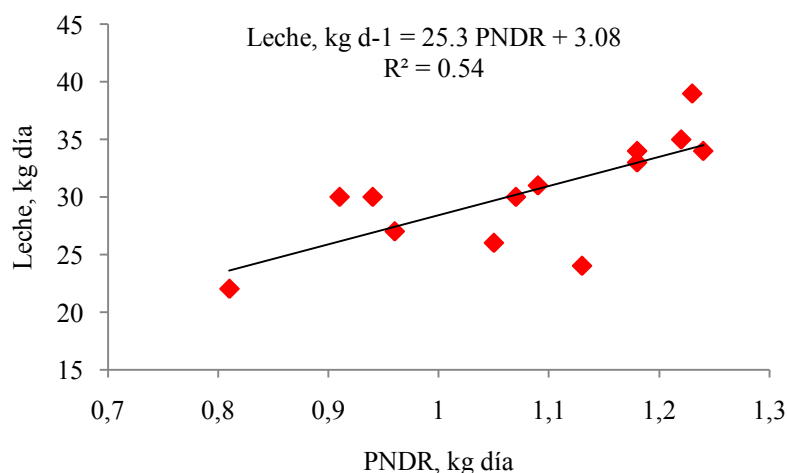
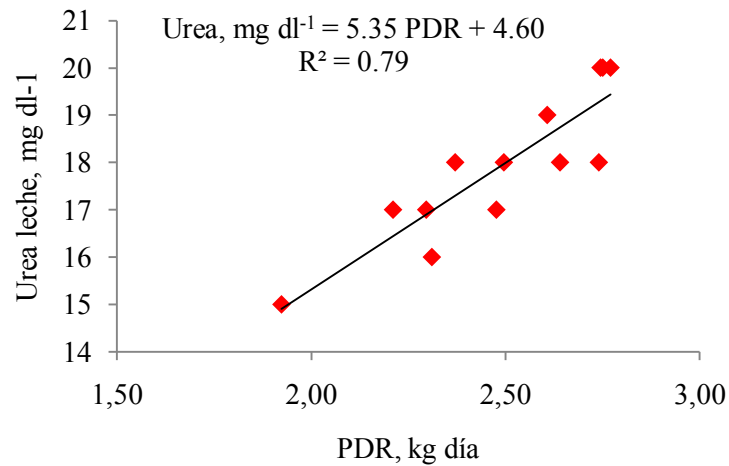
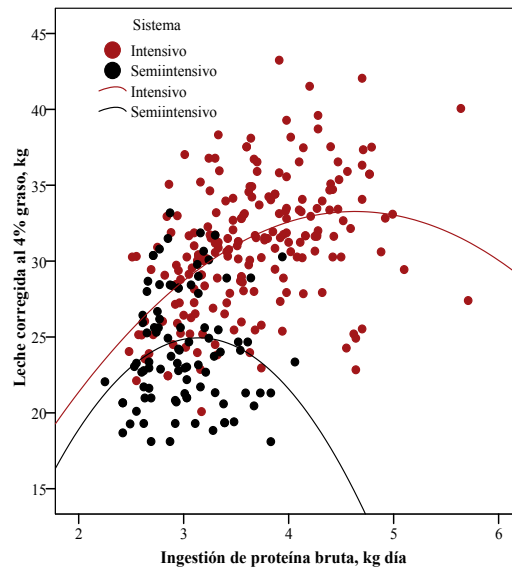


Figura 11.- Relaci3n entre el consumo de prote3na degradable en rumen y la concentraci3n de urea en leche (mg dl⁻¹)



En el presente trabajo, el consumo de prote3na bruta (kg d⁻¹) se relacion3 positivamente con la producci3n de leche corregida al 4% graso en los sistemas intensivos ($r=0.42$, $P<0.01$), pero no en los semiintensivos, imputable a la menor producci3n de leche y rango de prote3na ingerida (Figura 12). En cualquier caso, el incremento es lineal hasta 4 kilogramos de prote3na bruta en los intensivos y 3.25 los semiintensivos.

Figura 12.- Relaci3n entre el consumo de prote3na bruta y la producci3n de leche corregida al 4% graso



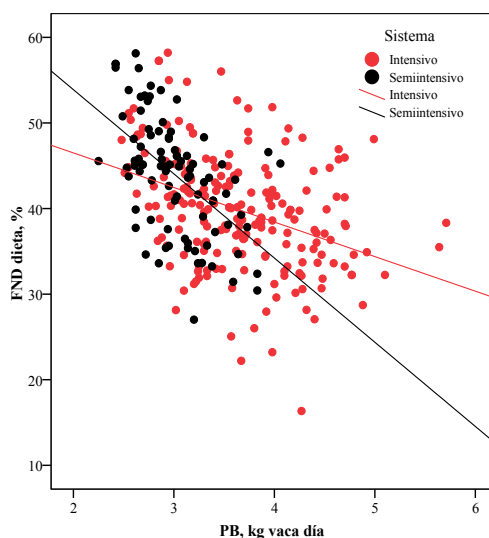
$$\text{Intensivos (Leche al 4\% graso, kg d}^1) = -3.59 (7.4) + 15.9 (3.9) (\text{kg PB d}^1) - 1.7 (0.51) (\text{kg PB d}^1)^2; \\ \pm 3.8 \text{ r}^2=0.22$$

$$\text{Semiintensivos} = \text{NS}$$

La concentraci3n de fibra 3cido detergente se relacion3 negativamente con la ingesti3n de prote3na ($r=-0.33$, $P<0.01$ y $r=-0.47$, $P<0.01$), con ingestas medias de 3.65 y 3.0 kg prote3na vaca d3a en los intensivos y semiintensivos respectivamente. Para la fibra neutro detergente, la relaci3n es menor en los intensivos ($r=-0.37$, $P<0.01$) que los semiintensivos ($r=-0.54$, $P<0.01$) (Figura 13), atribuido al mayor consumo de alfalfa, (2.42 kg MS vaca d3a en los intensivos y 0.86 los semiintensivos).

Tomando como referencia el porcentaje de prote3na medio de la alfalfa (Tabla 4), 3sta contribuye al total de la prote3na bruta ingerida con el 14.3% en los intensivos y 6.3% los semiintensivos; sin diferencias significativas para los ensilados de hierba en ambos sistemas, con valores medios de 12.7% y 12.8% respectivamente. La concentraci3n de prote3na bruta de los concentrados no difiere entre sistemas de producci3n, aunque num3ricamente mayor en los intensivos (21.2%) y 20.0% los semiintensivos. El an3lisis de correlaci3n Pearson mostr3 relaciones positivas entre el consumo de prote3na y el aporte de forraje ($r=0.34$, $P<0.01$) en los sistemas intensivos y negativa en los semiintensivos ($r=-0.26$, $P<0.05$), posiblemente debido al mayor uso de alfalfa en aqu3llos.

Figura 13.- Relaci3n entre el consumo de prote3na (kg vaca d3a) y la concentraci3n de FND (%) de la dieta



3.2.3. Energ3a metabolizable

La concentraci3n media de energ3a metabolizable (EM) por kilogramo de materia seca ingerida es de 10.9 ± 0.78 MJ para el conjunto de explotaciones, 11 ± 0.85 MJ los intensivos y 10.7 ± 0.55 MJ los semiintensivos. La ingesti3n de energ3a metabolizable en MJ vaca d3a difiere entre sistemas de producci3n ($P<0.001$), 240 MJ los intensivos y 222 MJ los semiintensivos (Tabla 6), atribuido al mayor aporte de concentrado ($r=0.36$, $P<0.01$) y

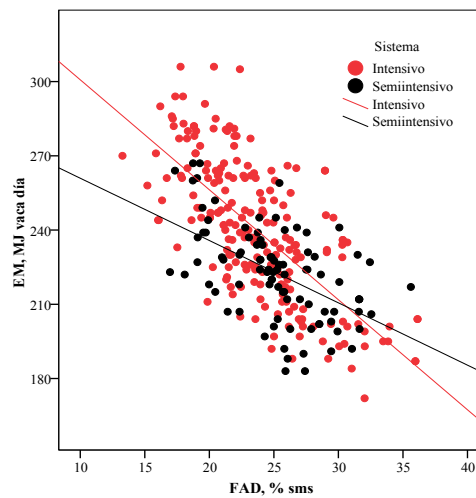
negativa ($r=-0.31$, $P<0.01$) respecto al número de parto (intensivos: 2.24 y 2.84 los semiintensivos). Sin embargo, no creemos que la diferencia de +2.3 kg MS de concentrado en los intensivos y +18 MJ vaca día sea la causa de la mayor producción de leche (+7 kg vaca y día).

El elevado contenido de proteína degradable en rumen de los ensilados de hierba y la hierba de prado (Salcedo, 1998 y 2000), favorece mayores concentraciones de amoníaco en rumen en los semiintensivos. Por el contrario, el ensilado de maíz reduce la concentración de amoníaco estimado a partir del coste energético (Mcal día) que representa transformarlo en urea (Figura 8), sin diferencias significativas para el concentrado. La relación nitrógeno degradable en rumen por MJ de energía metabolizable (NDR MJ^{-1} EM) es otra variable bien relacionada con el exceso de amoníaco a nivel ruminal ($r=0.96$, $P<0.01$), lo que corrobora la necesidad de incluir más ensilado de maíz en las dietas del vacuno lechero de mayor contenido en energía fácilmente fermentable.

El consumo de energía metabolizable observado respecto al estimado por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) presenta elevada correlación ($r=0.90$, $P<0.01$).

Las diferencias en la concentración de FAD y FND en las dietas de los sistemas intensivos (FAD=23.6% y FND=39.8%) y semiintensivos (FAD=25.2% y FND=44%) (Tabla 6), reflejan relaciones negativas respecto al consumo de energía metabolizable (FAD, $r=-0.66$, $P<0.05$) y (FND, $r=-0.49$, $P<0.01$) para el conjunto de explotaciones. Entre sistemas, mayores en los intensivos para la FAD ($r=-0.68$, $P<0.01$) y FND ($r=-0.51$, $P<0.01$) que en los semiintensivos (FAD; $r=-0.53$, $P<0.01$ y (FND; $r=-0.30$, $P<0.01$) (Figura 14a y 14b).

Figura 14a.- Relaci3n entre la concentraci3n de FAD en la dieta y el consumo de energ3a metabolizable

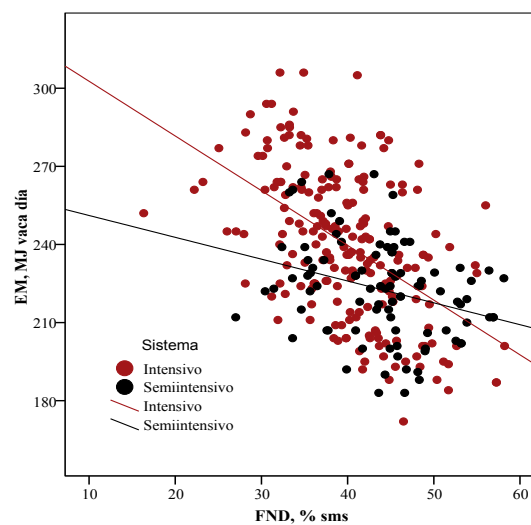


$$\text{Conjunto, (MJ d}^{-1}\text{)} = 334.2 (6.6) - 4.12 (0.27) (\text{FAD } \%) ; \pm 20.1 \text{ } r^2=0.43$$

$$\text{Intensivos} = 345.1 (7.9) - 4.44 (0.32) (\text{FAD } \%) ; \pm 20.1 \text{ } r^2=0.47$$

$$\text{Semiintensivos} = 286.1 (10.7) - 2.51 (0.42) (\text{FAD } \%) ; \pm 16 \text{ } r^2=0.28$$

Figura 14b.- Relaci3n entre la concentraci3n de FND en la dieta y el consumo de energ3a metabolizable



$$\text{Conjunto, (MJ d}^{-1}\text{)} = 312.6 (7.9) - 1.89 (0.19) (\text{FND } \%) ; \pm 23.2 \text{ } r^2=0.25$$

$$\text{Intensivos} = 323.6 (10) - 2.1 (0.24) (\text{FND } \%) ; \pm 24.2 \text{ } r^2=0.26$$

$$\text{Semiintensivos} = 259.5 (12.3) - 0.83 (0.27) (\text{FND } \%) ; \pm 18 \text{ } r^2=0.092$$

3.2.4. Fósforo

Concentraciones de fósforo en las dietas de vacuno lechero de 0.32 a 0.42% son suficientes para optimizar la ingestión, producción y composición de la leche, sin que se hayan observado beneficios durante la fase de lactación con niveles superiores a 0.42% (Wu *et al.*, 2000). La deficiencia de P a nivel ruminal es considerada improbable, puesto que el aporte de P salival resulta suficiente para mantener un óptimo funcionamiento ruminal. Los trabajos de Call *et al.* (1987) y Valk y Ebek, (1999) señalan descensos de producción lechera en concentraciones inferiores a 0.24%. Sin embargo, está bien relacionada con el porcentaje proteico de la leche ($r^2=0.37$), atribuido a que la mitad del P de la leche contiene caseína y, la otra mitad, se encuentra difusa en forma de iones (Jennes, 1985). Las vacas de mayor producción y elevados porcentajes de proteína requieren más fósforo que las de menor concentración. En el presente trabajo, la proteína de la leche se relaciona positivamente con la ingestión de P ($r=0.24$, $P<0.01$), ligeramente inferior al señalado por Jennes (1985); $r=0.23$, $P<0.05$ los semiintensivos, sin diferencias en los intensivos.

La ingestión media diaria de P es de 87.3 ± 21.1 g d^{-1} , con máximos de 92.3 g d^{-1} en los sistemas intensivos y 74.6 g d^{-1} los semiintensivos. Estos consumos representan concentraciones de P en las dietas de 0.41% para el conjunto de explotaciones, 0.42% las explotaciones intensivas y 0.37% las semiintensivas, similares a 0.39% observado por Arriaga (2008) en raciones totales mezcladas. En cualquier caso, la ingestión de P es superior a la señalada por el NRC (2001) en 6.2 g vaca y día en los semiintensivos y 14.2 g d^{-1} los intensivos.

4. Producción y composición química de la leche

4.1. Producción de leche

Para el conjunto de explotaciones, el número de lactaciones por vaca es de 2.42, mayor ($P<0.001$) en los semiintensivos (Tabla 7). Por el contrario, el número de días en leche no difiere entre sistemas, con valores medios de 176 días (Tabla 7). La producción media diaria en leche es de 30.2 kg para el conjunto de explotaciones y entre sistemas, +7 kg d^{-1} en los intensivos ($P<0.001$) respecto a los semiintensivos (Tabla 7). Estos resultados son similares a los señalados por Salcedo (2007) en trabajos previos de 34 y 25.7 kg de leche para los sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente, también en Cantabria.

Tabla 7.- Producci3n y composici3n qu3mica de la leche

	Conjunto	Intensivo	Semiintensivo	Std	P
Nº lactaci3n	2.42	2.24	2.84	0.39	***
D3as en leche	176	177	173	22	NS
Leche, kg d ⁻¹	30.2	32.4	25.4	5.4	***
FCM, kg d ⁻¹	28.9	30.9	24.2	5.1	***
Grasa, %	3.71	3.71	3.71	0.40	NS
Grasa, kg d ⁻¹	1.11	1.20	0.93	0.21	***
Prote3na, %	3.17	3.21	3.09	0.15	**
Prote3na, kg d ⁻¹	0.96	1.04	0.78	0.19	***
Lactosa, %	4.82	4.87	4.71	0.13	***
Lactosa, kg d ⁻¹	1.49	1.59	1.22	0.27	***
RCS, 1000 x dl	261	262	261	141	NS
EB, MJ d ⁻¹	90.0	96.1	76.2	16.6	***
Eficiencia EM, %	38.5	40.3	34.6	6.72	***
Eficiencia N, %	28.2	29.1	26.4	5.1	***
Eficiencia P, %	34.3	34.6	33.5	8.4	NS
Kg leche FCM kg ⁻¹ MS _{ing}	1.35	1.43	1.18	0.23	***

FCM: leche corregida al 4% grasa; **RCS:** recuento celular somático; **EB:** energ3a bruta; **P:** nivel de significaci3n, ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significati3n; **Std:** desviaci3n estandar.

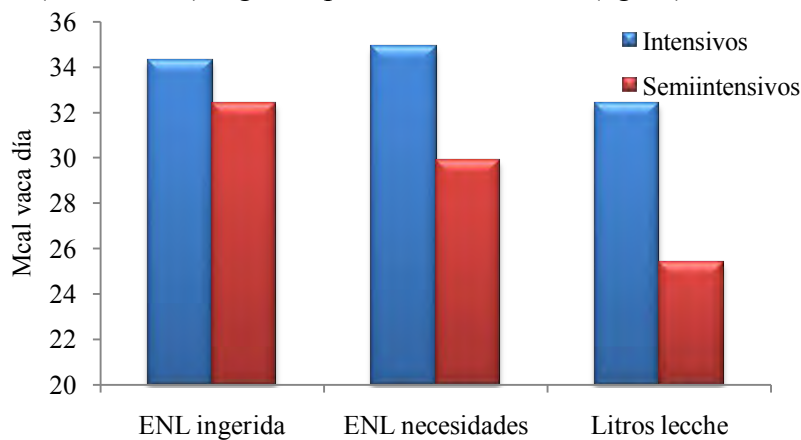
La mayor producci3n de leche observada en los sistemas intensivos es atribuida al superior consumo de prote3na bruta ($r=0.51$, $P<0.01$); carbohidratos no fibrosos ($r=0.62$, $P<0.05$) y energ3a metabolizable ($r=0.41$, $P<0.01$) y, en menor medida, al consumo de concentrado ($r=0.32$, $P<0.01$) (Tabla 8). Por el contrario, negativamente relacionada con el consumo de fibra ácido detergente (FAD) ($r=-0.16$ $P<0.01$) y fibra neutro detergente (FND) ($r=-0.22$ $P<0.01$) (Tabla 8). Sin embargo, al relacionar la producci3n de leche con la concentraci3n de FAD, FND, PB y TDN de la dieta, los coeficientes de correlaci3n Pearson son menos robustos ($r=-0.28$, $P<0.01$; $r=-0.38$, $P<0.01$; $r=0.46$, $P<0.01$ y $r=0.23$, $P<0.01$) respectivamente. Las relaciones aqu3 obtenidas son similares a las seÑaladas por (Salcedo, 2007) en trabajos previos para el consumo de forraje y prote3na bruta (kg d⁻¹) de $r=-0.27$ $P<0.01$ y $r=0.53$ $P<0.01$ respectivamente y, superior coeficiente de correlaci3n para el consumo de concentrado ($r=0.50$, $P<0.01$) que en el presente estudio de ($r=0.32$, $P<0.01$).

Los kilogramos de leche por kilogramo de materia seca ingerida (Eficiencia bruta) es mayor en los sistemas intensivos ($P<0.001$), con valores medios de 1.43 y 1.18 kg kg⁻¹ los semiintensivos. Los resultados aqu3 obtenidos para 177 d3as en lactaci3n son similares 1.46 en explotaciones intensivas de Cantabria (Salcedo, 2007). La variable mejor relacionada con la eficiencia bruta es la producci3n de leche ($r=0.82$, $P<0.01$), coincidente con Britt *et al.* (2003) quienes obtienen eficiencias medias de 1.36 kg kg⁻¹ en vacas alimentadas con raciones totales mezcladas (46.9% de forraje y 53.1% de concentrados) y 196 d3as en lactaci3n. Otras

variables, como el consumo de prote3na bruta ($r=0.51$, $P<0.01$); energ3a metabolizable ($r=0.41$, $P<0.01$) y consumo de concentrado ($r=0.32$, $P<0.01$), presentan coeficientes de correlaci3n menores (Tabla 8).

La eficiencia energ3tica estimada como el porcentaje de energ3a recuperada en leche (Tyrrel y Reid, 1965) en MJ respecto a la ingerida (MJ d^{-1}), es superior en los sistemas intensivos (40.3%) y 34.6% los semiintensivos, atribuible a la mayor producci3n de leche ($r=0.67$, $P<0.01$) y negativamente, con el consumo de energ3a metabolizable ($r=-0.24$, $P<0.01$). Estos porcentajes presentan ingestiones de 7.97 ± 1.5 MJ kg^{-1} leche para el conjunto de explotaciones; 7.48 ± 0.96 los intensivos y 9.07 ± 1.89 los semiintensivos o 1.14 ± 0.23 ; 1.07 ± 0.14 y 1.32 ± 0.28 Mcal de ENL kg^{-1} leche producido respectivamente. Estos valores indican mayor gasto energ3tico por litro de leche en los semiintensivos; lo que puede representar desequilibrios entre los aportes de energ3a y las necesidades te3ricas se3aladas por el NRC (1989) (Figura 15); por el contrario, la ganancia diaria de peso vivo es ligeramente inferior en los sistemas intensivos (0.13 kg d^{-1}) y 0.15 kg en los semiintensivos.

Figura 15.- Ingesti3n de energ3a neta leche (ENL, Mcal d^{-1}) y necesidades te3ricas (NRC, 1989) seg3n la producci3n de leche (kg d^{-1}) entre sistemas



4.2. Composici3n qu3mica de la leche

Los porcentajes medios de grasa y prote3na son 3.71% y 3.17% para el conjunto de explotaciones, sin diferencias entre sistemas para la grasa y, mayor porcentaje de prote3na en los intensivos ($P<0.001$) (Tabla 7). La variable nutricional mejor relacionada con la prote3na l3ctea es el consumo de carbohidratos no fibrosos (CNF) y la prote3na bruta (Tabla 8).

Tabla 8.- Relaciones entre el consumo de nutrientes con la producción y composición química de la leche

	Concentrado, kg d ⁻¹	Forraje, kg d ⁻¹	EM, MJ d ⁻¹	PB, kg d ⁻¹	MS, kg d ⁻¹	FAD, kg d ⁻¹	FND, kg d ⁻¹	MO, kg d ⁻¹	CNF kg d ⁻¹	Almidón kg d ⁻¹
GB, %	0.15**	0.19**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PB, %	0.26**	NS	0.28**	0.30**	0.19**	-0.14**	-0.18**	0.19**	0.56*	NS
FCM, kg d ⁻¹	0.37**	-0.21**	0.41**	0.52**	0.29**	-0.16**	-0.20**	0.30**	0.61*	NS
Leche, kg d ⁻¹	0.32**	-0.14*	0.41**	0.51**	0.29**	-0.16**	-0.22**	0.31**	0.62*	NS
Efic. bruta ¹	0.32**	-0.14*	0.41**	0.51**	0.29**	-0.15**	-0.22**	0.30**	NS	NS
Efic. N, %	NS	-0.23**	-0.12*	-0.37**	-0.22**	NS	NS	-0.19**	NS	NS
EB, MJ d ⁻¹	0.35**	-0.19**	0.39**	0.49**	0.28**	-0.15*	-0.19**	0.29**	0.62*	NS
Efic. EM, %	0.12*	-0.28**	-0.24**	0.12**	-0.22**	NS	NS	-0.18**	NS	NS

¹**Efic. bruta:** kg de leche por kg de MS ingerida; **Efic. N:** eficiencia N; **Efic. EM:** eficiencia energía metabolizable; * P<0.05; ** P<0.01; NS: no significativo

5. Conclusiones parciales

5.1. Alimentos

Los ensilados de hierba son recolectados en estado avanzado de madurez, como se desprende de su elevado contenido en fibra neutro detergente y baja proteína bruta. Las mezclas de las vacas de ordeño contienen elevados porcentajes de proteína bruta, fósforo y aceptable proporción de fibra neutro detergente, al igual que los concentrados.

5.2. Alimentación

El consumo medio de materia seca en los “*Intensivos*” y “*Semiintensivos*” para las producciones obtenidas de 32.4 y 25.4 kg de leche respectivamente, es similar al estándar señalado por el NRC (2001). En los intensivos, la ingestión de energía neta de leche observada es similar a la indicada por el NRC (2001) (34.3 vs. 33 Mcal vaca y día). Por el contrario, la proteína degradable en rumen es superior en 0.37 kg vaca y día; similar la proteína no degradable en rumen (1.12 vs. 1.19 kg) y proteína metabolizable (2.30 vs. 2.26 kg vaca día). Los porcentajes de fibra neutro (39.8 vs. 33%) y ácido detergente (25.2 vs. 21%) sobre materia seca son mayores a los indicados por el NRC (2001). El nutriente administrado en exceso es el fósforo, con porcentajes medios de 0.43% frente al 0.34% señalado por el NRC (2001). Sin embargo, las concentraciones de carbohidratos no fibrosos sobre materia seca es baja (30.6%) respecto NRC (2001) del 40% para producciones de 32.4 kg de leche.

En los semiintensivos, el consumo de materia seca y el porcentaje de proteína bruta observado (20.6 vs. 20.3 kg y 14.5% vs. 14.1% respectivamente) son coincidentes con el NRC (2001). Por el contrario, la ingestión de proteína degradable en rumen y la proteína metabolizable son superiores (2.29 vs. 1.93 kg vaca día) y similar, la no degradable en rumen (0.95 vs. 0.93 kg vaca día). La energía neta de leche ingerida es mayor en los semiintensivos respecto a las recomendaciones del NRC (2001) en 4.5 Mcal vaca día (32.4 vs. 27.9 Mcal), equivalente a 2.44 kg de maíz grano y similar en los intensivos. Las concentraciones de fibra neutro detergente son superiores a las recomendadas por el NRC (2001) (44% vs. 33%) en los semiintensivos y similares para la fibra ácido detergente en ambos sistemas de producción. El porcentaje de carbohidratos no fibrosos sobre materia seca es bajo: 28.6% los semiintensivos y 29.9% los intensivos para 25.4 y 32.4 kilogramos de leche respectivamente, en relación con el 40% recomendado por el NRC (2001).

Para el conjunto de dietas, la síntesis de proteína microbiana estimada disminuye con ensilado de hierba e incrementa con el ensilado de maíz. La mayor eficiencia en la utilización

del N (% de N recobrado en leche respecto al ingerido) se registra en los intensivos, atribuido a la mayor producción de leche, al igual que la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (% de energía excretada en leche respecto a la ingerida); sin diferencias para la eficiencia de utilización del fósforo.

Manejo de la explotación

Excreción de estiércol, nitrógeno y fósforo

G. Salcedo



EXCRECION DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Resultados y discusión

2.1. Excreción y eficiencias de N y P

2.1.1. Volumen de estiércol en las vacas lecheras

2.1.2. Excretas de N

2.1.3. Eficiencia de utilización del N (NUE)

2.1.4. Excretas de P

2.1.5. Eficiencia de utilización del P (PUE)

2.1.6. Relación entre NUE y PUE

3. Conclusiones parciales

Resumen

La producción de estiércol vaca y día estimada difiere entre sistemas de producción ($P < 0.001$), con excretas medias de 66.9 kg los intensivos y 64.8 los semiintensivos, de los cuales 26.6 y 22.2 kg corresponden a la orina. Las variables nutricionales mejor relacionadas con la excreción de estiércol son el consumo de proteína bruta ingerida ($r = 0.89$, $P < 0.01$); la materia seca ingerida ($r = 0.81$, $P < 0.01$); el consumo de concentrado ($r = 0.37$, $P < 0.01$) y la ingesta de forraje ($r = 0.21$, $P < 0.01$). De esta forma, cada kilogramo de proteína ingerida, materia seca, concentrado y forraje consumido generan 19, 3.02, 6.37 y 6.26 kg de estiércol respectivamente. La producción de leche está moderadamente relacionada con la excreción de estiércol ($r = 0.46$, $P < 0.01$), obteniéndose relaciones medias de 2.19 kg kg^{-1} leche.

Las pérdidas de nitrógeno y fósforo en estiércol y leche son 376-167 (N) y 51.6-30.7 (P) g vaca y día en los intensivos y 306-125 (N) y 40.1-24.1 (P) g los semiintensivos, siendo porcentualmente similares respecto al ingerido, con porcentajes del 64.3-29.1% y 55.9-34.6% y 63.7-26.4% y 52.7-33.9% respectivamente.

La excreción de N en heces por kilogramo de leche disminuye al aumentar la producción de leche en los intensivos ($r^2 = 0.10$) y $r^2 = 0.50$ los semiintensivos. Aumentos de 5 kg de leche reducirían la excreción de N en 1 g kg^{-1} leche. Para incrementos de cuota desde 363 a 2050 t^{-1} , la reducción equivale a 0.5 g N kg^{-1} leche. Cada aumento en 1 g de N en heces y orina dentro del rango 7.68 y 23.3 g N, la eficiencia de utilización del N (NUE) disminuye -0.40 y -0.47 unidades porcentuales en los intensivos y semiintensivos respectivamente, sin relaciones significativas en los primeros y, $r^2 = 0.17$ los semiintensivos para el fósforo.

La NUE también está relacionada con la diferencia entre el N ingerido y las necesidades teóricas de N ($r^2 = 0.78$ los intensivos y $r^2 = 0.71$ los semiintensivos); disminuyendo -0.0049 unidades porcentuales por gramo de N ingerido superior a los requerimientos. Para ingestiones de N entre 360 a 913 g vaca día, la NUE disminuye -0.030 los intensivos y -0.037 los semiintensivos. Consumos superiores a 600 g d^{-1} no se optimiza. El porcentaje de proteína bruta en la dieta afecta más a la NUE en los intensivos ($r^2 = 0.36$) que los semiintensivos, sin relaciones significativas.

La variable nutricional más relacionada con la eficiencia de utilización del P (PUE) para el conjunto de explotaciones es el consumo de P ($r^2 = 0.47$). Cada gramo de P ingerido dentro del rango (36.8 a 182 g d^{-1}), PUE disminuye 0.31 unidades porcentuales ($r^2 = 0.58$) en los intensivos y 0.36 en los semiintensivos ($r^2 = 0.57$). El porcentaje de P en la dieta está

negativamente relacionado con la PUE ($r^2=0.57$ en los intensivos) y $r^2=0.50$ los semiintensivos. La concentración de P en la dieta (% sobre materia seca) no se relaciona con la producción de leche. Las relaciones ente PUE y NUE son bajas en los intensivos ($r^2=0.19$) y moderadas en los semiintensivos ($r^2=0.43$).

Palabras clave: eficiencia de utilización, estiércol, fósforo, nitrógeno, vaca lechera.

Abstract

The production of cow manure per day estimated production differs between systems ($P < 0.001$), with averages of 66.9 kg excreta of the semi intensive, 64.8, of which 26.6 and 22.2 kg is urine. The best nutritional variables associated with excretion of manure are the consumption of crude protein intake ($r=0.89$, $P<0.01$) dry matter intake ($r= 0.81$, $P<0.01$), the concentrate intake ($r=0.37$, $P<0.01$) and feed intake ($r=0.21$, $P<0.01$). In this way each kilogram of protein intake, dry matter, concentrate and forage consumed generate 19, 3.02, 6.37 and 6.26 kg of manure respectively. Milk production is moderately related to the excretion of manure ($r=0.46$, $P<0.01$), with mean values of 2.19 kg kg⁻¹ milk.

Losses of nitrogen and phosphorus in manure and milk are 376-167 (N) and 51.6-30.7 (P) g cow per day in the intensive and 306-125 (N) and 40.1-24.1 (P) g the semiintensive, and percentage compared to ingested are similar, 64.3-29.1% and 55.9-34.6% and 63.7-26.4% and 52.7-33.9%%, respectively.

The fecal N excretion per kilogram of milk decreases with increasing milk production intensives $r^2=0.10$ and $r^2=0.50$ the semiintensive. Increases of 5 kg of milk would reduce the excretion of N in 1 g kg⁻¹ milk. Quota increases from 363 to 2050 t⁻¹, the reduction is equivalent to 0.5 g N kg⁻¹ milk. Each increase in 1 g of N excretion in feces and urine in the range 7.68 and 23.3 g N, the N utilization efficiency (NUE) decreases -0.40 and -0.47 percentage units in the intensive and semi respectively, no significant relationships the first and the semi $r^2=0.17$ for phosphorus.

The NUE is also related to the difference between N consumed and the theoretical needs of N ($r^2=0.78$ the intensive and the semi $r^2=0.71$) -0.0049 decreasing percentage units per gram of ingested N than the requirements. For intakes of N between 360 to 913 g cow day, down NUE -0030 and -0037 of the semiintensive. Consumption exceeding 600 g d⁻¹ is not optimized. The percentage of crude protein in the diet affects the NUE in the intensive ($r^2=0.36$) than the semiintensive no significant relationships.

The variable most related nutritional utilization efficiency of P (PUE) for all farms is the use of P ($r^2=0.47$). Each gram of P intake within the range (36.8 to 182 g d⁻¹), PUE decreases 0.31 percentage units ($r^2=0.58$) in the intensive and 0.36 in the semi ($r^2=0.57$). The percentage of P in the diet is negatively related to the PUE ($r^2=0.57$ in intensivo) and the semiintensive $r^2=0.50$. The concentration of P in diet (% dry matter) is not related to milk production. The relations between NUE and PUE are low in the intensive ($r^2=0.19$) and moderate in the semiintensive ($r^2=0.43$).

Keywords: efficiency of utilization, manure, phosphorus, nitrogen, dairy cow.

1. Introducción

El avance en el conocimiento de los procesos digestivos y de las rutas metabólicas que conducen a la síntesis de los productos animales (carne y leche) principalmente, permiten ajustar los aportes de nitrógeno y fósforo al ganado para reducir la excreción.

Las proteínas son compuestos nitrogenados fundamentales de los tejidos animales. Representan del 10 al 20% del peso vivo del animal, formando parte de la estructura de tejidos y órganos, sin existir un tejido específico para almacenar el excedente. Una pequeña fracción de la proteína corporal tiene un papel funcional en el organismo en forma de enzimas, hormonas, etc. Las proteínas están constituidas por moléculas más sencillas denominadas aminoácidos, cuyo número y distribución de cada proteína está codificado genéticamente. El número de aminoácidos es de veinte, de los cuales diez son esenciales, debido a una biosíntesis insuficiente (arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, triptófano y valina) o imposible (lisina y treonina), por tanto, la demanda debe cubrirse con aportes externos. Los diez aminoácidos restantes (glicina, alanina, serina, tirosina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutámico, glutamina, prolina y cistina) son no esenciales, y deben sintetizarse a través de compuestos intermediarios del metabolismo hidrocarbonado o desde otros aminoácidos.

Las pérdidas más importantes de N son las debidas a las heces, orina y leche. Para vacas lecheras en pastoreo y mínimo aporte de concentrado, el reparto del N excretado es del 25% en heces, 39% en orina y el 21% en leche; para las dietas con ensilados el 35%, 31% y el 19% respectivamente (Salcedo, 2006); en ambos casos, el 15% restante se considera como N retenido. El N de las heces procede principalmente de la fracción indigestible del alimento y, en menor medida, del N microbiano de origen fecal. Este último es mayor en dietas de elevado contenido energético, donde la reposición de células microbianas es más elevada. Cuando la síntesis microbiana se aproxima al óptimo relativo a la energía disponible, la contribución de N microbiano fecal permanece constante; de este modo, el incremento de N en heces procede principalmente del N indigestible ingerido.

Cuando el consumo de N es mayor a la energía, la síntesis de proteína microbiana se ve limitada, excretándose una elevada proporción a través de las heces. Asimismo, incrementos de N sin aumentos de energía, genera acúmulos de amoníaco no utilizado por los microorganismos ruminales que son excretados por la orina en forma de urea. El N de la orina también incluye secreciones de mantenimiento y en la utilización de aminoácidos absorbidos.

Tamminga (1992) señala que las pérdidas de N en orina proceden principalmente del rumen, reemplazo de pérdidas metabólicas y las causadas por la ineficiente conversión de aminoácidos absorbidos en leche y proteínas tisulares.

Una de las principales diferencias entre rumiantes y monogástricos es la digestión, particularmente, la relación simbiótica entre el rumiante y la flora microbiana del rumen e intestino grueso. Más del 60% de la energía y del 50% de la proteína utilizada por el rumiante tiene su origen en la digestión microbiana de los alimentos en el rumen. La digestión que ocurre en intestino delgado es enzimática y similar a los monogástricos. En el intestino grueso se produce otra fermentación microbiana del alimento no digerido en los compartimentos anteriores del tracto digestivo, que representa un aporte de energía importante (próximo al 15%), la proteína aquí sintetizada no puede ser absorbida y se pierde a través de las heces.

La complejidad de los procesos digestivos en el rumiante es determinante a la hora de valorar las necesidades y aportes de proteína realmente utilizable por el organismo. Los compuestos nitrogenados presentes en los alimentos (proteína verdadera y compuestos nitrogenados no proteicos), son utilizados por los microorganismos ruminales para la síntesis de compuestos nitrogenados microbianos, principalmente proteína. Las células microbianas (mayoritariamente bacterias y protozoos) son arrastradas junto a partículas alimenticias no fermentadas y células epiteliales descamadas hacia tramos posteriores del aparato digestivo, produciéndose una digestión enzimática y absorción de nutrientes. El conjunto de aminoácidos disponibles para dicha absorción en el intestino constituyen la proteína "*metabolizable*" o "*absorbible*" que puede ser realmente utilizada por el organismo. La utilización de la proteína metabolizable es diferente para cada proceso productivo en función de su composición aminoacídica. La conversión de la proteína metabolizable en tejidos o proteína láctea conlleva pérdidas asociadas de nitrógeno en heces y orina, debidas a los gastos inevitables de síntesis y a desequilibrios entre los aminoácidos disponibles. Considerando esto, las necesidades de proteína neta corresponden a la proteína retenida realmente por el organismo para el mantenimiento, el crecimiento, la lactación o la gestación, y la proteína metabolizable es la suma de dichas necesidades proteicas y las pérdidas asociadas a su síntesis.

El fósforo es el segundo mineral más abundante del cuerpo después del calcio y tiene más funciones conocidas en el organismo que cualquier otro elemento. Además de su función

vital en el desarrollo y mantenimiento del esqueleto, tiene especial importancia en el crecimiento celular y tiene un papel clave en muchas otras funciones metabólicas.

Todos los procesos fisiológicos que implican ganancia o pérdida de energía se realizan mediante la formación o la destrucción de “enlaces fosfato” que acumulan energía. Sumado a ello, cumple con el mantenimiento de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico, la formación de fosfolípidos y en consecuencia, en el transporte de ácidos grasos y en la formación de aminoácidos y proteínas. El fósforo también está implicado en el control del apetito y la eficiencia de la utilización de los alimentos. Interviene en numerosos sistemas enzimáticos microbianos (coenzimas), en la fermentación de glúcidos y en la composición de materia celular (ácido ribonucleico), etc. El fósforo disponible para los microorganismos ruminales tiene dos orígenes: alimentario y salival.

En condiciones normales de alimentación, la saliva es rica en fosfatos (600-800 mg de fósforo por litro). Su presencia permite la neutralización de los componentes acidificantes del rumen, indispensable para asegurar la función celulolítica y la producción de biomasa bacteriana.

Según NRC 1989, las necesidades de P para mantenimiento en una vaca lechera de 600 kilogramos de peso vivo son de 17 g día. En la leche se encuentra en concentraciones de 0.1%, de los cuales, las dos terceras partes están asociadas a la caseína. Por consiguiente, los niveles en la leche variarán con la producción de proteína. Según NRC 1989, las necesidades de P por litro de leche al 3.5% graso son de 1.85 gramos.

Los animales poseen mecanismos capaces de optimizar el suministro temporal de minerales esenciales en el caso de insuficiencia para conseguir las necesidades de minerales en los tejidos y órganos. Aquéllos incluyen la capacidad de incrementar la absorción del aparato digestivo, adaptando la actividad enzimática del intestino, necesaria para la transferencia de minerales y disparando las hormonas que activan las proteínas implicadas en el transporte de minerales a través de la pared intestinal.

La pérdida endógena de P fecal y urinario puede ser reducida en casos de insuficiencia alimenticia por la acción de una hormona segregada por la glándula paratiroides, la cual, aumenta la recirculación salival y la retención de P en los riñones. En casos de deficiencias severas de P en la dieta, el animal puede movilizar las reservas óseas bajo influencia hormonal.

Las necesidades diarias de P para una vaca de 600 kilogramos al principio de la lactación, produciendo 25 L de leche por día e incluyendo mantenimiento, son 63 de gramos.

Suponiendo que la digestibilidad del P suministrado en la dieta sea del 55%, 35 g serán absorbidos del aparato digestivo y 28 g excretados en las heces. Esta absorción de P alimenticio será mayor en función de la fuente de fósforo y de su biodisponibilidad.

La recirculación de P por medio de la saliva agrega al aparato digestivo 60 g día, de los cuales, 40 g se absorben en el tracto digestivo, dando un total de 75 g de P día. Aproximadamente, un tercio del P reciclado en la saliva no se absorbe, y es excretado en las heces. La excreción fecal de P (48 g d^{-1}) es elevada, alcanzando el 77% de la ingesta total de P. En contraste a ésto, la excreción urinaria de P (1 g d^{-1}) es casi insignificante, y representa sólo alrededor del 1% de la ingesta de P dietario.

De los 75 gramos de P absorbidos en el aparato digestivo, la fracción más grande (60 g = 80%) es reciclada hacia el aparato digestivo por medio de la saliva, y 22 g son excretados en los 25 litros de leche. Los 10 gramos de P restantes son depositados en el tejido óseo bajo control hormonal.

Balanceando las cantidades requeridas con la absorción de P diaria, esta vaca tiene una deficiencia metabólica diaria de 16 gramos, que serán movilizados del tejido óseo. El balance entre el depositado y el movilizado es de -6 g o el 10 % de las necesidades.

La metabolización de las reservas óseas de P es inevitable al principio de la lactación, especialmente en vacas de alta producción, y se ve compensada después del pico de lactación, cuando la producción de leche disminuye y la absorción de P excede la excreción. Esta movilización de reservas puede no ser detectada, y prolongarse el balance negativo, dando lugar a un determinado grado de desmineralización del esqueleto.

2. Resultados y discusi3n

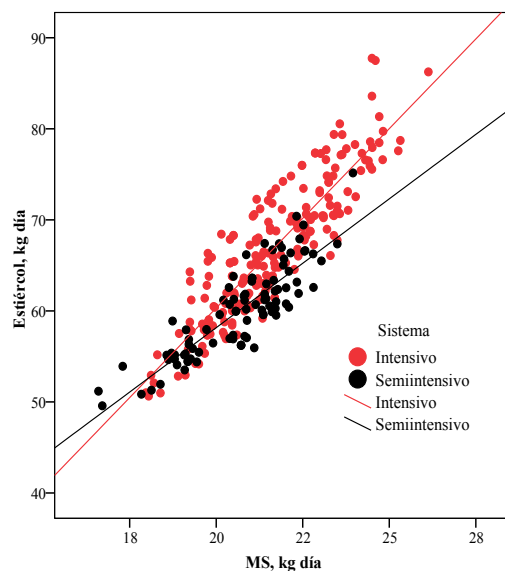
2.1. Excreci3n y eficiencias de N y P

2.1.1. Volumen de esti3rcol en las vacas lecheras

El volumen de esti3rcol vaca y d3a fue estimado a partir de los kilogramos de materia seca en heces, dividido por el porcentaje de humedad de la fracci3n s3lida m3s el volumen de orina (Salcedo, 2006). As3, para el conjunto de las explotaciones, el esti3rcol total excretado es de 64.8 kg vaca y d3a, mayor ($P < 0.001$) en las intensivas (66.9 kg) que las semiintensivas 60.0 kg (Tabla 1). Estos resultados son similares a 64 kg estimado por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004) y superior a 50.8 kg se3alado por Arriga *et al.* (2008). En cualquier caso, cada kilogramo de materia seca ingerida genera 3.9 kg de esti3rcol en los intensivos y 2.8 kg los semiintensivos (Figura 1).

En el presente trabajo las variables m3s relacionadas con la excreci3n de esti3rcol y por orden de acci3n son la *prote3na ingerida* (kg d^{-1} , $r=0.89$, $P < 0.01$); *materia seca ingerida* (kg d^{-1} , $r=0.81$, $P < 0.01$); *producci3n de leche* (kg d^{-1} , $r=0.46$, $P < 0.01$); *concentrado* (kg d^{-1} , $r=0.37$, $P < 0.01$) y, en menor medida, el *forraje* (kg d^{-1} , $r=0.21$, $P < 0.01$).

Figura 1.- Relaci3n entre la ingest3n de materia seca (kg MS vaca d3a) y la producci3n de esti3rcol (kg d^{-1})



$$\text{Conjunto (kg esti3rcol d}^{-1}\text{)} = -18.3 (2.6) + 3.8 (0.12) (\text{kg MS ingerido.}); \pm 3.5 r^2=0.77$$

$$\text{Intensivos} = -18.4 (3.14) + 3.9 (0.14) (\text{kg MS ingerido.}); \pm 3.4 r^2=0.78$$

$$\text{Semiintensivos} = 1.5 (3.6) + 2.8 (0.17) (\text{kg MS ingerido.}); \pm 2.5 r^2=0.74$$

Las relaciones para las variables anteriormente descritas fueron de 19.0 kg de esti3rcol kg^{-1} de prote3na bruta ingerida; 3.02 kg kg^{-1} la materia seca ingerida; 2.19 kg kg^{-1} la leche;

6.26 kg kg⁻¹ de forraje consumido y 6.37 kg kg⁻¹ el concentrado, con diferencias significativas entre sistemas de producci3n (Tabla 1). Para las mismas variables, Weis (2004) se1ala relaciones de 18.1; 3.02; 2.08; 6.83 y 5.43 kg kg⁻¹ respectivamente, en dietas de vacas lecheras mediando 183 d3as de lactaci3n, ingiriendo 21 kg de MS d⁻¹, 30.5 litros de leche d⁻¹, 56% de forraje y 16.8% de prote3na bruta en la materia seca de la dieta, similares al conjunto de las explotaciones del presente trabajo.

Tabla 1.- Excreci3n esti3rcol, N y P en heces, orina y leche vaca y d3a

	Conjunto	Intensivo	Semiintensivo	Std	P
Esti3rcol, kg d ⁻¹	64.8	66.9	60.0	7.44	***
Kg esti3rcol kg ⁻¹ leche	2.19	2.09	2.44	0.39	***
Kg esti3rcol kg ⁻¹ MS ingerida	3.02	3.08	2.9	0.17	***
Kg esti3rcol kg ⁻¹ forraje	6.26	6.7	5.27	1.18	***
Kg esti3rcol kg ⁻¹ concentrado	6.37	6.12	6.94	1.31	***
Kg esti3rcol kg ⁻¹ PB	19.0	18.5	20.1	1.8	***
MS heces, kg d ⁻¹	6.72	6.84	6.43	0.68	***
MS heces kg ⁻¹ MS ingerida	0.22	0.21	0.26	0.04	***
Heces kg ⁻¹ leche, kg MS kg ⁻¹	0.23	0.21	0.26	0.04	***
Orina, L d ⁻¹	25.2	26.6	22.2	4.3	***
Orina kg ⁻¹ leche, kg kg ⁻¹	0.85	0.83	0.90	0.15	***
N ingerido, g d ⁻¹	553	585	480	102	***
N heces, g d ⁻¹	172	182	149	32	***
N orina, g d ⁻¹	183	195	157	37	***
N heces y orina, g d ⁻¹	355	376	306	69	***
N leche, g d ⁻¹	154	167	125	30	***
N heces + orina kg ⁻¹ leche, g kg ⁻¹	11.9	11.7	12.4	2.3	*
P ingerido, g d ⁻¹	87.3	92.3	76.0	19.5	***
P heces, g d ⁻¹	46.2	49.7	38.3	14.8	***
P heces y orina, g d ⁻¹	48.1	51.6	40.1	15	***
P leche, g d ⁻¹	28.7	30.7	24.1	5.1	***

Std: desviaci3n est3ndar; **P:** nivel de significaci3n; * P<0.05; *** P<0.001

La materia seca excretada en heces vaca y d3a es mayor en los intensivos (P<0.001), con valores medios de 6.84 los intensivos y 6.43 kg los semiintensivos (Tabla 1), al igual que los litros de orina (P<0.001), con vol3menes medios de 26.6 y 22.2 L respectivamente (Tabla 1).

La Tabla 2 se1ala las diferencias en g de N y P por kilogramo de materia seca en heces, gramos de N por kilogramo de orina, kilogramos de materia seca en heces y litros de orina vaca y d3a entre las ecuaciones propuestas por Salcedo (2007) y las estimadas por el CNCPS (Fox *et al.*, 2004). Los valores aqu3 obtenidos a partir del CNCPS (Fox *et al.*, 2004) y Salcedo (2006), resultan similares a los se1alados por Weis (2004) de 27.9 g N kg⁻¹ MS de heces; 9.1 g N L⁻¹ de orina; 6.8 g P kg⁻¹ MS de heces; 7.1 kg de MS de heces y 20.5 litros de orina.

De los resultados obtenidos se desprende que el modelo CNCPS sobreestima la concentración de N en heces en +5 g kg⁻¹ MS y +1.08 kg las heces en forma de materia seca (Tabla 2). Por el contrario, el volumen de orina es superior en el modelo indicado por Salcedo (2006) y, diferente concentración de N en orina, mayor (P<0.001) el CNCPS, sin diferencias los gramos de P kg⁻¹ de MS en heces. Posiblemente, el mayor volumen de orina estimado por Salcedo (2006) tenga su origen en las características de las dietas utilizadas, tales como alto contenido en humedad, bajo aporte de concentrado, elevada proporción de N (3.12%), proteína degradable en rumen (73.6%) y 72% la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica. En trabajos previos (Salcedo, 2005) con vacas en lactación alimentadas exclusivamente con hierba de pradera en nave metabólica, el CNCPS (5.0) subestimó la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica (61.7% vs. 72.1%), lo que favorece mayor excreción en heces.

Tabla 2.- Diferencias de excreción de nitrógeno entre modelos

Modelo	g N kg ⁻¹ MS	g N L ⁻¹ orina	g P kg ⁻¹ MS	Kg MS heces	Litros orina
Fox <i>et al.</i> (2004)	30.5±0.66	8.61±0.53	6.87±0.92	7.8±0.5	22.3±2.4
Salcedo, (2006)	25.5±1.7	7.26±0.58	6.93±0.54	6.72±0.54	25.2±2.4
<i>Std</i>	2.1	0.55	0.74	3.06	0.81
P	***	***	NS	***	***

Std: desviación estándar; **P:** nivel de significación; *** P<0.001; NS: no significativo

2.1.2. Excretas de N

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del N excretado en heces y orina (Salcedo, 2006) son:

$$N \text{ heces (g d}^{-1}\text{)} = -3.29 + 0.317 N_{\text{ingerido}} \text{ g d}^{-1}; \pm 37.1 r^2=0.49; n=1534$$

$$N \text{ orina (g d}^{-1}\text{)} = -18,22 + 0.364 N_{\text{ingerido}} \text{ g d}^{-1}; \pm 33.0 r^2=0.61; n=1534$$

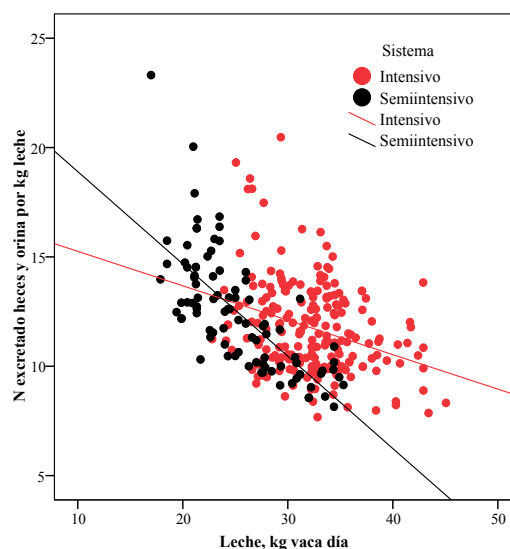
El N ingerido por vaca y día para el conjunto de explotaciones es de 553±102 g, de los cuales, el 31.1% (172 g d⁻¹) se excretan en heces y el 33.1% (183 g d⁻¹) en orina (Tabla 1), con diferencias significativas entre sistemas de producción, mayor en los intensivos (P<0.001), equivalente a +33 g en N de heces y +38 g en orina. De igual modo, la suma del N total excretado (heces y orina) difiere entre sistemas, con excreciones medias diarias de 376 y 306 g N en las explotaciones intensivas y semiintensivas respectivamente. Estos resultados difieren en -43 g N vaca y día para las heces y -31 g N la orina respecto a los señalados por Arriaga (2008), quien no aprecia diferencias entre explotaciones según el grado de intensificación y sistema de alimentación.

El N excretado en forma de heces y orina por litro de leche se sitúa en valores de 11.9 g kg⁻¹ para el conjunto de explotaciones, con diferencias significativas entre sistemas de producción (P<0.05), mayor en los semiintensivos (12.4±2.68 g) y 11.7±2.12 g los

semiintensivos. Los resultados observados constatan que la excreci3n de N total por litro de leche disminuye al aumentar la producci3n (Figura 2). Seg3n dichas ecuaciones y para el conjunto de explotaciones, un aumento de 5 kg de leche vaca y d3a supondr3a una reducci3n en la excreci3n nitrogenada de 1 gramo, coincidente con Arriaga *et al.* (2008). Entre sistemas y para el mismo incremento de 5 kg de leche, representa menor excreci3n de N en los intensivos (0.79 g) y 2.11 g kg⁻¹ de leche en los semiintensivos.

Para diversos rangos de cuota l3ctea observadas en el conjunto de explotaciones, la comparativa con diferente grado de excreci3n de N por kilogramo de leche producido, permiti3o estimar las posibilidades de minimizar la p3rdida de nitr3geno. Para tales estimas, las explotaciones se agruparon en cuatro niveles de producci3n, sigui3ndose el mismo planteamiento para el an3lisis de conglomerados en ensayos descritos m3s adelante. Los datos revelaron tendencias descendentes en la excreci3n de N por kg de leche cuando aumenta la cuota (Tabla 3), atribuido al mejor rendimiento l3cteo. El aumento de la cuota sin la reducci3n en la diferencia de excreci3n de N por kg de leche puede suponer un aumento considerable en la excreci3n total de N (Tabla 3).

Figura 2.- Relaci3n entre la producci3n de leche (kg d⁻¹) y el nitr3geno excretado por kilogramo de leche



$$\text{Conjunto } [(N, (H+O) \text{ g } d^{-1}) = 17.8 (0.6) - 0.195 (0.022) (\text{kg leche } d^{-1}); \pm 2.0 \text{ } r^2=0.21$$

$$\text{Intensivo} = 16.8 (1.06) - 0.158 (0.033) (\text{kg leche } d^{-1}); \pm 2.0 \text{ } r^2=0.10$$

$$\text{Semiintensivo} = 23.1 (1.07) - 0.422 (0.042) (\text{kg leche } d^{-1}); \pm 1.84 \text{ } r^2=0.53$$

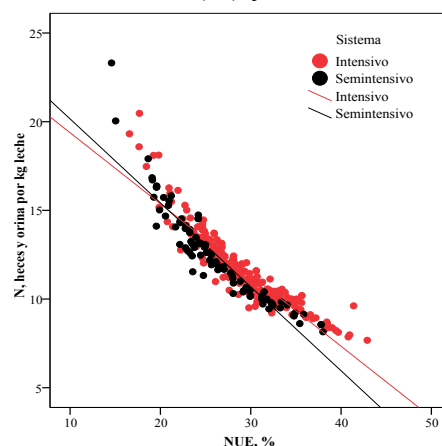
Tabla 3.- Estimación de las posibilidades de reducir la excreción de nitrógeno en función del excretado por kilogramo de leche

Cuota láctea (t)	g N excretado kg ⁻¹ leche (medias)	g N excretado kg ⁻¹ leche (mín)	g N excretado kg ⁻¹ leche (máx)	Reducción N (kg año ⁻¹)
363	11.7	8.15	23.3	5499
668	12.4	7.68	20.4	8497
1182	11.7	7.98	16.2	9716
2050	11.2	8.94	14.4	11193

2.1.3. Eficiencia de utilización del N (NUE)

Reducir la pérdida de N a nivel de explotación ha de iniciarse con una alimentación proteica adecuada (Rotz, 2004). Numerosos estudios han demostrado que niveles adecuados de proteína minimizan el *Surplus* de N a nivel de explotación (Van Horn *et al.*, 1994; Wan *et al.*, 2000; Borsting *et al.*, 2003). Las conclusiones obtenidas a partir de numeros estudios publicados en los últimos años, coinciden que la optimización de la eficiencia de utilización del N en leche (NUE), resulta una buena estrategia en reducir el N excretado al medio, sin que suponga reducciones de productividad y rentabilidad en la explotación (Ipharraguerre *et al.*, 2005; Salcedo, 2006). Junto con la excreción de N kg⁻¹ de leche anteriormente citada, la NUE resulta por tanto un parámetro importante a considerar en la evaluación de la excreción de N al medio ($r^2=0.85$, $P<0.001$) (Figura 3). El ajuste en la ingestión de proteína alimenticia sin comprometer la producción y concentración proteica de la leche, se desvela como una herramienta útil en garantizar la optimización de la NUE. Las relaciones para los diferentes sistemas de producción presentan similares pendientes y coeficientes de determinación ($r^2=0.85$).

Figura 3.- Relación entre NUE (%) y el N excretado por kilogramo de leche



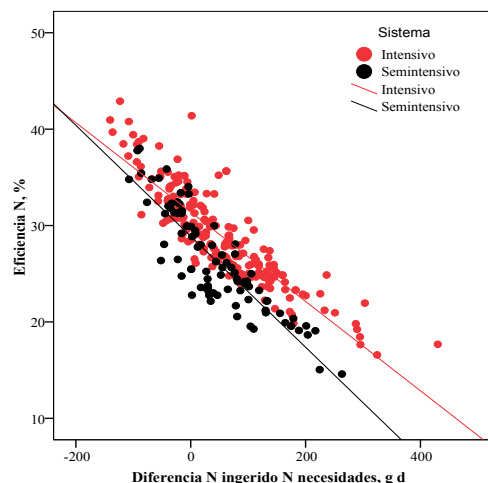
$$\text{Conjunto (N, H+O, g d}^{-1}\text{ kg}^{-1}\text{ leche)} = 23.6 (0.29) - 0.41 (0.01) (\text{NUE, \%}); \pm 0.9 r^2=0.85$$

$$\text{Intensivo} = 23.3 (0.33) - 0.40 (0.011) (\text{NUE, \%}); \pm 0.8 r^2=0.85$$

$$\text{Semiintensivo} = 24.8 (0.5) - 0.47 (0.02) (\text{NUE, \%}); \pm 0.9 r^2=0.86$$

Los porcentajes medios de NUE difieren entre sistemas de producción ($P < 0.001$), con valores medios de 29.1% y 26.4% en los intensivos y semiintensivos respectivamente (Tabla 7, Capítulo 1 “*Alimentación y producción de leche*”), ligeramente superior al 25.8% señalado por Arriaga *et al.* (2008) en explotaciones lecheras del País Vasco. Para el conjunto de explotaciones, la variable más relacionada y signo negativo es el consumo de nitrógeno para el conjunto de explotaciones ($r = -0.37$, $P < 0.01$); $r = -0.42$, $P < 0.01$ los semiintensivos y $r = -0.62$, $P < 0.01$ los intensivos. Estas relaciones negativas muestran que no siempre con el máximo consumo de N se consigue la mayor eficiencia. De este modo, cada gramo de N ingerido superior a las necesidades teóricas, la eficiencia disminuye 0.049; 0.046 y 0.058 unidades porcentuales para el conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente (Figura 4).

■ ■ ■ **Figura 4.-** Relación entre la diferencia del N ingerido vs. necesidades (g d^{-1}) y el porcentaje de N recuperado en leche (Eficiencia o NUE)



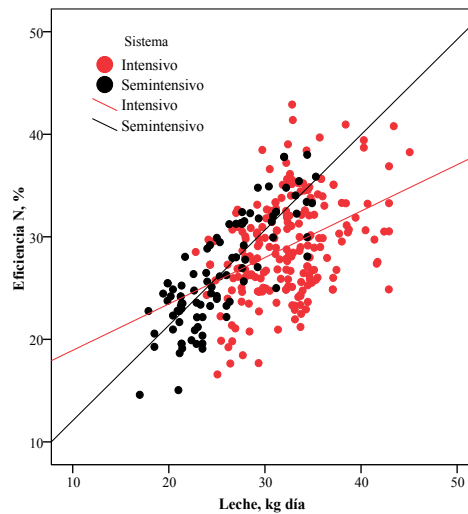
$$\text{Conjunto (NUE, \%)} = 30.5 (0.183) - 0.049 (0.002) (\text{Dif. N, g}^{-1} \text{ d}^{-1}); \pm 2.77 \text{ r}^2 = 0.71$$

$$\text{Intensivos} = 31.4 (0.182) - 0.046 (0.002) (\text{Dif. N, g}^{-1} \text{ d}^{-1}); \pm 2.29 \text{ r}^2 = 0.78$$

$$\text{Semiintensivos} = 28.8 (0.29) - 0.058 (0.003) (\text{Dif. N, g}^{-1} \text{ d}^{-1}); \pm 2.77 \text{ r}^2 = 0.71$$

Las pendientes aquí obtenidas son similares a 0.049 y 0.050 señaladas por Salcedo (2006) en dietas con ensilados o en pastoreo, ambas con mínimo aporte de concentrado (4.13 ± 1.25 y 2.63 ± 1.62 kg MS vaca y día respectivamente), y 0.053 indicado por Jonker *et al.* (1998) en raciones totales mezcladas. Sin embargo, la NUE presenta baja correlación con la producción de leche (Figura 5) en los intensivos ($r^2 = 0.16$) y moderada en los semiintensivos ($r^2 = 0.67$), con pendientes por dos a las intensivas, atribuido al menor consumo de N vaca y día.

Figura 5.- Relación entre la producción de leche (kg d^{-1}) y la Eficiencia o NUE (%)



$$\text{Conjunto (NUE, \%)} = 12.0 (1.3) + 0.53 (0.04) (\text{Leche } \text{kg d}^{-1}); \pm 4.2 r^2=0.32$$

$$\text{Intensivos} = 14.4 (2.3) + 0.45 (0.07) (\text{Leche } \text{kg d}^{-1}); \pm 4.5 r^2=0.16$$

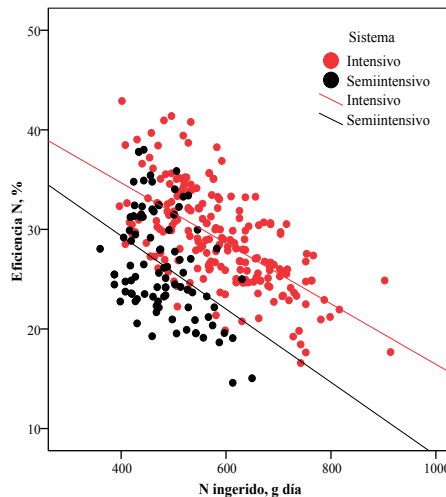
$$\text{Semiintensivos} = 2.2 (1.7) + 0.93 (0.07) (\text{Leche } \text{kg d}^{-1}); \pm 3.0 r^2=0.67$$

Generalmente, se asume que la utilización del N mejora al incrementar la producción de leche (Tamminga, 1992). Sin embargo, cuando la producción de leche anual por vaca es superior a 7.500 kg y el número de lactación es mayor de tres, cabe esperar ligeras respuestas (Tamminga, 1996). Por su parte, Van Burchem *et al.* (1999) cuestionan que los aumentos de producción lechera sean necesariamente buenos en términos de eficiencia. No obstante, las vacas de alta producción necesitan dietas con elevadas concentraciones de proteína y energía. Al incrementar la producción, se aumenta el consumo de concentrado, que puede reducir la eficiencia de utilización del N, a no ser que los concentrados sean diseñados con porcentajes bajos en proteína. En este sentido, Pekka *et al.* (2003) muestran relaciones no lineales en la utilización del N al aumento proporcional de concentrado en la dieta, coincidente con los resultados del presente trabajo ($r=0.08$).

Tal y como se desprende de la Figura 6, NUE disminuye 0.019 unidades porcentuales para rangos variables de 360 a 913 g N vaca y día en el conjunto de explotaciones y -0.030 y -0.037 las intensivas y semiintensivas respectivamente. El mayor coeficiente de determinación en los semiintensivos es atribuido al menor consumo de N vaca y día. Estas pendientes son similares a -0.033 en regímenes de alimentación basados en dietas con ensilados y en pastoreo (Salcedo, 2006), registrándose la máxima eficiencia para consumos de 400 a 500 g N vaca y día. Posiblemente, un mayor aporte de energía fermentable extra en panza como ensilado de maíz a dietas en pastoreo de elevado contenido en proteína

degradable, optimice la s3ntesis de prote3na microbiana y posiblemente la NUE (Salcedo, 2002b). Ingestiones superiores a 600 g d3a no optimizan la eficiencia del N, coincidente con Arriaga *et al.* (2008) en el Pa3s Vasco. La producci3n m3xima de leche observada (38.7 kg vaca d3a) se registr3 en una explotaci3n intensiva, con ingestiones de 645 g N vaca d3a y porcentajes de prote3na en la materia seca de la dieta del 17.7%, sin que representase la m3xima eficiencia (30.9%). Por el contrario, la m3xima se registr3 en una explotaci3n semiintensiva (32.6%), 30.2 kg de leche, 463 g N vaca d3a y 14.6% el porcentaje proteico de la dieta. Sin embargo, y contrario a lo observado por Arriaga *et al.* (2008), s3 se apreci3 una ligera correlaci3n entre el contenido de prote3na l3ctea y NUE ($r=0.29$, $P<0.01$) para el conjunto de explotaciones; ($r=0.26$, $P<0.01$) los intensivos, sin relaci3n los semiintensivos.

■ ■ **Figura 6.-** Relaci3n entre el N ingerido ($g d^{-1}$) y la NUE (%)



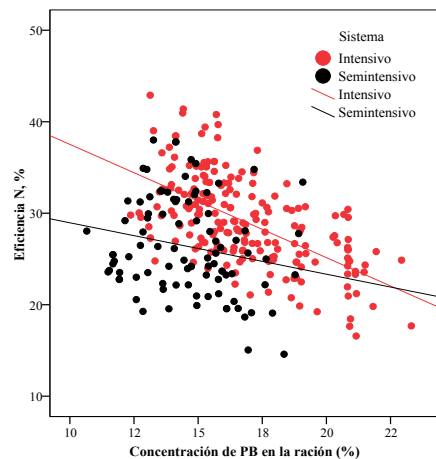
$$\text{Conjunto (NUE, \%)} = 38.5 (1.5) - 0.019 (0.003) (g N d^{-1}); \pm 4.8 r^2=0.13$$

$$\text{Intensivos} = 46.8 (1.5) - 0.030 (0.003) (g N d^{-1}); \pm 3.8 r^2=0.39$$

$$\text{Semiintensivos} = 44 (4.0) + 0.037 (0.008) (g N d^{-1}); \pm 4.8 r^2=0.17$$

Al igual que el consumo de N (g vaca y d3a), el porcentaje de prote3na bruta de la dieta afect3 m3s a la NUE en los sistemas intensivos que en los semiintensivos (Figura 7), donde la NUE y el porcentaje de prote3na bruta de la dieta son 29.06%-16.8% y 26.4%-14.6% respectivamente.

Figura 7.- Relación entre la concentración de proteína bruta de la dieta (%) y la NUE (%)



$$\text{Conjunto (NUE, \%)} = 39.2 (1.8) - 0.68 (0.11) (\text{PB \%}); \pm 4.8 r^2=0.107$$

$$\text{Intensivo} = 49.9 (1.95) - 1.23 (0.11) (\text{PB \%}); \pm 3.9 r^2=0.36$$

$$\text{Semintensivo} = \text{NS}$$

2.1.4. Excretas de P

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del P excretado en heces y orina (Salcedo, 2007) fueron:

$$P \text{ heces (g d}^{-1}\text{)} = -14.9 + 0.7 P_{\text{ingerido}} \text{ (g d}^{-1}\text{)}; \pm 1.68 r^2=0.90; n=55$$

$$P \text{ heces + orina (g d}^{-1}\text{)} = -13.9 + 0.71 P_{\text{ingerido}} \text{ (g d}^{-1}\text{)}; \pm 1.67 r^2=0.90; n=55$$

La ingestión de fósforo vaca y día para el conjunto de explotaciones fue 87.3 ± 21 g; de los cuales, el 52.9% (46.2 g) son excretados en heces; 2.17% (1.9 g) en orina y 32.9% (28.7 g) la leche, con diferencias significativas entre sistemas de producción, mayor en los intensivos ($P < 0.001$), equivalente a +11.4 g el P de heces y +6.6 g de P en la leche (Tabla 1).

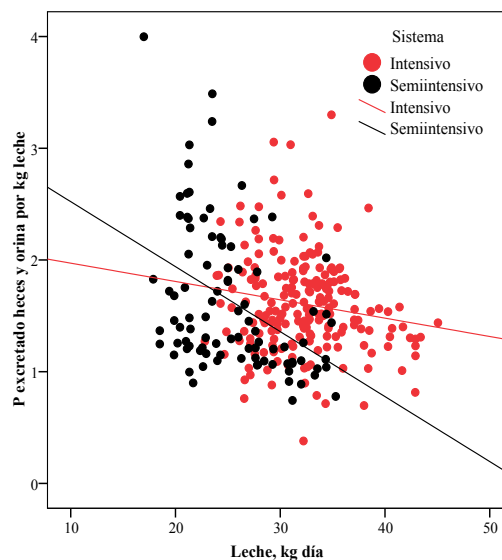
Para el conjunto de explotaciones el P excretado en heces y orina fue 48.1 g vaca día, que representa un porcentaje de P aparentemente digerido del 55.2%, similares al 50% señalado por el NRC (1989). Trabajos previos (Salcedo *et al.*, 2008) desarrollados en nave metabólica con vacas lecheras alimentadas al 50% con forrajes (ensilado de maíz y alfalfa) y concentraciones crecientes de P (3.68; 4.45 y 5.36 g kg⁻¹), observaron porcentajes de P aparentemente digerido del 65%. Sin embargo, el NRC (2001) usa un valor medio del 64% en forrajes y 70% en concentrados para convertir el fósforo de la dieta en P absorbido. Bajo este criterio, el valor del 65% para el conjunto de la dieta obtenido por Salcedo *et al.* (2008) resulta similar al propuesto por el NRC (2001).

El P excretado en leche respecto al ingerido es del 32.9% para el conjunto de explotaciones, similar al 35% señalado por Klausmer (1993) y Coelho (1994), quienes indican

que el P recuperado en leche respecto al ingerido es relativamente bajo. Por el contrario, Amaral (2000) señala porcentajes superiores al 30%. El porcentaje de fósforo excretado en orina se sitúa dentro de los niveles del 1% indicado por Amaral (2000).

Los valores observados en el presente trabajo, constatan que la excreción de P total por litro de leche no disminuye al aumentar la producción lechera para el conjunto de explotaciones y en los sistemas intensivos (Figura 8) y sí, ($P < 0.001$) los semiintensivos. En cualquier caso, no se observaron diferencias en la excreción de P en heces por kg de leche producido, con valores medios de 1.61 ± 0.50 ; 1.60 ± 0.42 y 1.62 ± 0.64 g kg leche; inferiores a 1.93; 2.05 y 2.21 g señalado por Arriaga *et al.* (2008) en explotaciones alta, medianamente y menos intensificadas respectivamente en el País Vasco.

Figura 8.- Relación entre la producción de leche (kg d^{-1}) y el P excretado por litro de leche



$$\text{Conjunto (P, H+O, g d}^{-1}\text{)} = NS$$

$$\text{Intensivo} = NS$$

$$\text{Semiintensivo (P (H+O), g d}^{-1}\text{)} = 3.1 (0.34) - 0.058 (0.013) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.59 \text{ r}^2=0.17$$

Al igual que para el N, en los mismos rangos de cuota láctea, la comparativa de diferentes explotaciones con diversos niveles de excreción de P por kg de leche permitió estimar las posibilidades de minimizar la excreción de P fecal anual (Tabla 4). La minimización de la excreción de P fecal por kg de leche es importante en las explotaciones de mayor cuota láctea.

Tabla 4.- Estimaci3n de las posibilidades de reducir la excreci3n de P en funci3n del P excretado por kg de leche

Cuota láctea (t)	g P excretado kg ⁻¹ leche (medias)	g P excretado kg ⁻¹ leche (m3n)	g P excretado kg ⁻¹ leche (máx)	Reducci3n P (kg a3o ⁻¹)
363	1.50	0.74	4.0	1198
668	1.71	0.81	3.49	1790
1182	1.71	0.70	3.30	3073
2050	1.48	0.38	2.59	4530

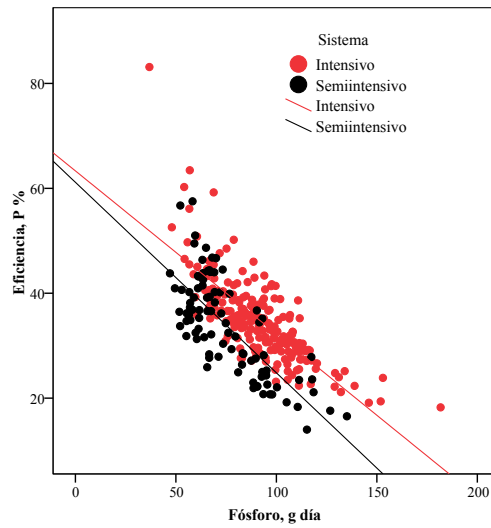
2.1.5. Eficiencia de utilizaci3n de P (PUE)

Numerosos trabajos han demostrado el potencial de reducir las p3rdidas de P mediante estrategias nutricionales (Van Horn *et al.*, 1994; Wan *et al.*, 2000; Dour *et al.*, 2003; Cerosaletti *et al.*, 2004; Hristov *et al.*, 2006). El P excretado en leche por cada 100 g de P ingerido, es una herramienta 3til para estimar el nivel de utilizaci3n del P alimenticio de la explotaci3n y como estrategia, en la reducci3n de las p3rdidas de P al medio a trav3s de las heces.

Los porcentajes medios de PUE no difieren entre sistemas de producci3n (Tabla 7, Cap3tulo 1, “*Alimentaci3n y producci3n de leche*”), con valores medios de 34.6±8.69% y 33.5±9.5% en los intensivos y semiintensivos respectivamente. Estos porcentajes son ligeramente superiores al 31.9% se3alado por Arriaga *et al.* (2008). Para el conjunto de explotaciones, la variable m3s relacionada con PUE es el consumo de P (Figura 9), obteni3ndose similar coeficiente de determinaci3n entre sistemas de producci3n. As3, cada gramo de P ingerido dentro del rango (36.8 a 182 g d⁻¹), la eficiencia disminuye 0.27; 0.31 y 0.36 unidades porcentuales para el conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente.

Tambi3n la concentraci3n de P de la dieta (Tabla 6, Cap3tulo 1, “*Alimentaci3n y producci3n de leche*”), presenta un buen coeficiente de determinaci3n respecto a PUE (Figura 10). Porcentajes de P en la dieta de 0.2% a 0.4% representan las m3ximas eficiencias, coincidente con Wu y Satter (2000), quienes indican porcentajes de P de 0.32% para producciones de leche variables de 15 a 32 kg d3a.

Figura 9.- Relación entre el P ingerido ($g d^{-1}$) y PUE (%)

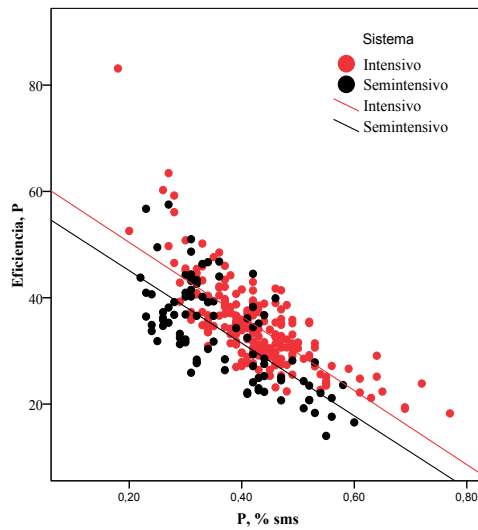


$$\text{Conjunto (PUE \%)} = 58.4 (1.5) - 0.27 (0.01) (g P d^{-1}); \pm 6.1 r^2=0.47$$

$$\text{Intensivos} = 63.3 (1.7) - 0.31 (0.01) (g P d^{-1}); \pm 5.1 r^2=0.58$$

$$\text{Semiintensivos} = 61.1 (2.5) - 0.36 (0.033) (g P d^{-1}); \pm 6.1 r^2=0.57$$

Figura 10.- Relación entre la concentración de P de la dieta (%) y PUE (%)



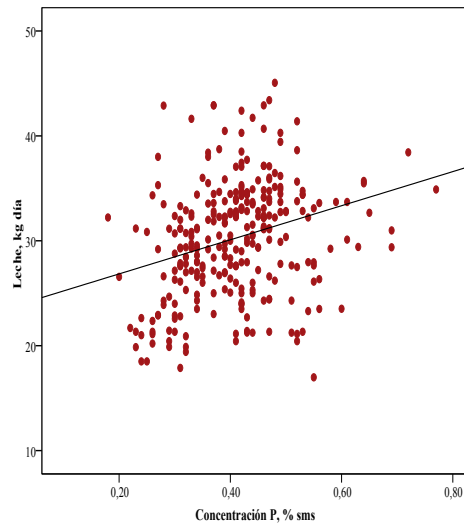
$$\text{Conjunto (PUE \%)} = 59.7 (1.5) - 62.2 (3.7) (P \%); \pm 6.1 r^2=0.48$$

$$\text{Intensivos} = 64.3 (1.8) - 69.6 (4.2) (P \%); \pm 5.2 r^2=0.57$$

$$\text{Semiintensivos} = 58.7 (2.7) + 68.3 (7.1) (P \%); \pm 6.6 r^2=0.50$$

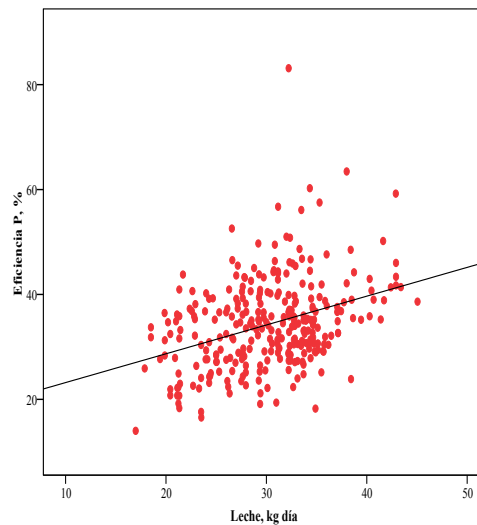
La concentración de P de la dieta (% sobre materia seca) presenta baja correlación respecto a la producción de leche (Figura 11).

■ ■ ■ **Figura 11.-** Relación entre la concentración de P en la dieta y la producción de leche



La Figura 12 representa la eficiencia de P respecto a la producción de leche vaca y día. La constante y la pendiente de la ecuación de 17.7 y 0.549 son similares a 19.4 y 0.426 obtenido por Arriaga *et al.* (2008) en el País Vasco.

■ ■ ■ **Figura 12.-** Relación entre la producción de leche (kg d⁻¹) y la PUE (%)



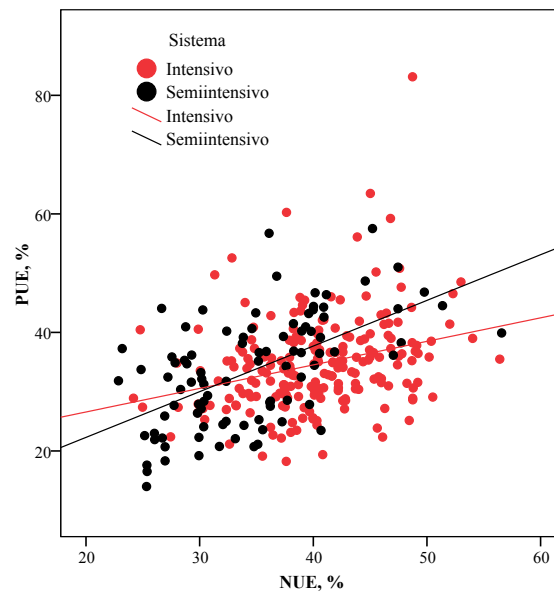
$$PUE, \% = 17.7 (2.5) + 0.549 (0.084) (kg \text{ leche } d^{-1}); \pm 7.9 \ r^2=0.12$$

2.1.6. Relación entre las eficiencias NUE y PUE

Dada la importancia que presenta la nutrición proteica en las raciones de vacuno lechero, numeros trabajos hacen mención especial a la NUE obviando la PUE, siendo ambas eficiencias en conjunto vitales para el control de la excreción de nitrógeno y fósforo. A partir de los resultados del presente trabajo, se comprobó la existencia de una correlación significativa y positiva ($r^2=0.268$, $P<0.001$) entre NUE y PUE (Figura 13). Para los

intensivos, la NUE osciló desde 16.5% a 42.9% y 14.6% a 38% los semiintensivos y la PUE, de 18.2% a 83.1% los intensivos y 14% a 57.5% los semiintensivos. Esta variabilidad, determinada bien por los límites fisiológicos en la utilización de ambos elementos o bien, porque las raciones son habitualmente formuladas por proteína. En cualquier caso, ambos parámetros presentan correlaciones bajas; sin embargo, eficiencias de N pueden presentar diferentes eficiencias de P y viceversa.

■ ■ ■ **Figura 13.-** Relación entre NUE (%) y PUE (%)



$$\text{Conjunto (PUE \%)} = 10.29 (2.3) + 0.85 (0.08) (\text{NUE \%}); \pm 7.2 \text{ } r^2=0.26$$

$$\text{Intensivos} = 13.5 (3.0) + 0.72 (0.107) (\text{NUE \%}); \pm 7.2 \text{ } r^2=0.19$$

$$\text{Semiintensivos} = 2.66 (3.77) + 1.17 (0.14) (\text{PUE \%}); \pm 7.07 \text{ } r^2=0.43$$

3. Conclusiones parciales

La variable más influyente que afecta a la excreción de nitrógeno y fósforo es el consumo. Los porcentajes de proteína en las dietas de los sistemas semiintensivos están más acordes con las recomendaciones nutritivas del vacuno lechero que los intensivos. La producción de leche es otra variable positivamente relacionada con el aumento de la NUE, más que la del fósforo (PUE). El racionamiento del N y P de vacas lecheras y según el nivel de producción láctea, es la herramienta más cercana que tiene el productor de leche para optimizar la NUE y PUE. Este efecto es mayor cuando se expresa en gramos por kilogramo de leche producida. Para el N, ingestiones superiores a 600 g vaca y día no optimiza la NUE y sí, la excreción. Cada gramo de P ingerido dentro del rango (36.8 a 182 g d⁻¹), la PUE disminuye 0.31 unidades porcentuales en los intensivos y 0.36 en los semiintensivos. A nivel de explotación, reducir la concentración de proteína bruta y fósforo del concentrado (20.5% y 0.55% respectivamente), recolectar la hierba en estados de madurez menos avanzado que el actual y seguir las recomendaciones nutritivas en la alimentación del ganado lechero en función de su producción, son herramientas útiles a nivel de granja para minimizar la excreción de nitrógeno y fósforo, incrementando la eficiencia de utilización en ambos nutrientes.

Manejo de la explotación

Producción de estiércol, nitrógeno y fósforo de estiércol, nitrógeno y fósforo

G. Salcedo, J. I. Tejero y J. L. Rico



PRODUCCION DE ESTIÉRCOL, NITRÓGENO Y FÓSFORO

G. Salcedo, J. I. Tejero y J. L. Rico

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Resultados y discusión

2.1. Excreción de estiércol

2.2. Excreción de N y P

2.2.1. Conjunto explotaciones

2.2.2. Vacas lecheras

2.3. Costes de la ración en relación a NUE y PUE en vacas lecheras

2.4. Valoración económica del N y P del purín

3. Conclusiones parciales

Resumen

La producción de estiércol vaca y año difiere entre sistemas de producción ($P < 0.001$), 24427 kg en los intensivos y 21931 kg los semiintensivos, de los cuales el 79-82% corresponde a vacas de leche; 6-9% vacas secas; 12-14% novillas de 12 a 24 meses y 9-10% novillas menores de 1 año, respectivamente. La equivalencia por hectárea, UGM y por tonelada de cuota láctea es de 85433-70683; 19263-17738 y 3204-3767 kg para los mismos sistemas. Las variables más relacionadas con el volumen de estiércol a nivel de explotación son las UGM ($r=0.97$, $P < 0.01$); la superficie total ($r=0.69$, $P < 0.01$); la dedicada a maíz ($r=0.47$, $P < 0.01$); la cuota láctea ($r=0.93$, $P < 0.01$); la carga ganadera UGM ha^{-1} ($r=0.41$, $P < 0.01$) y en menor medida, la superficie de pradera ($r=0.25$, $P < 0.01$). Para el conjunto de explotaciones, el incremento de 1 ha^{-1} la superficie total, puede disminuir la producción de estiércol en 1926 kg; aumentos de 1 t^{-1} de cuota láctea incrementa en 23.6 kg y 1 UGM puede aumentar en 538 kg. De igual modo y por tonelada de leche, aumentos de 1 t^{-1} y 1 ha^{-1} puede disminuirla en 2.9 y 12.4 kg de estiércol respectivamente; por el contrario, para aumentos de 1 UGM $^{-1}$ la producción de estiércol puede incrementar 20.2 kg t^{-1} de leche en el conjunto de las explotaciones.

Las variables nutricionales más relacionadas con la producción de estiércol vaca y día son el consumo de materia seca ($r=0.88$) y el porcentaje de proteína en la dieta ($r=0.61$) en los intensivos, y $r=0.86$ en los semiintensivos la ingestión de materia seca, sin relación la proteína bruta. Para el conjunto de explotaciones, aumentos de 1 kg de materia seca vaca y día tiene un potencial de 1300 kg de estiércol por año, y para incrementos de 1 unidad porcentual la proteína bruta de la dieta dentro del rango de 10.6 a 23.3% puede generar 516 kg de estiércol vaca y año.

La producción de N y P por UGM $^{-1}$, tonelada de leche, hectárea y explotación es de 133-16.7; 19.5-2.7; 519-73.3 y 17317-2489 kg en los intensivos y 101-14; 21.2-2.9; 398-56.8 y 8228-1190 kg los semiintensivos. En las vacas lecheras, la relación $N_{\text{ingerido}} \div P_{\text{ingerido}}$ es similar entre sistemas de producción con valores medios de 6.54 ± 1.4 en los intensivos y 6.57 ± 1.3 los semiintensivos; inferiores a la relación $N_{\text{excretado}} \div P_{\text{excretado}}$ de 7.44 ± 2.3 en los intensivos y 7.94 ± 3 semiintensivos.

A nivel de explotación, las variables más relacionadas con la excreción de N son las UGM ($r=0.93$, $P < 0.01$); la superficie total ($r=0.64$, $P < 0.01$); la cuota láctea ($r=0.44$, $P < 0.01$); la superficie de maíz ($r=0.39$, $P < 0.01$) y la de pradera ($r=0.32$, $P < 0.01$). De igual modo, para

el P las UGM ($r=0.91$, $P<0.01$); la superficie total ($r=0.68$, $P<0.01$); la cuota láctea ($r=0.89$, $P<0.01$); la superficie de maíz ($r=0.45$, $P<0.01$) y la de pradera ($r=0.27$, $P<0.01$).

La excreción de N por hectárea estimada con las variables independientes anteriormente descritas, muestran que incrementos de 1 ha^{-1} la superficie total, la excreción de N se reduce 10 kg año^{-1} ; aumentos de 1 UGM y 1 kg la ingestión de N incrementa en 2.75 y 0.07 kg respectivamente. El fósforo, y con las mismas variables, desciende 1.1 kg por incrementar una hectárea la superficie total y aumenta 0.29 y 0.15 kg al incrementar 1 UGM y 1 kg la ingestión de P respectivamente.

Incrementos de 1 € el coste de la ración, la NUE disminuye 4.39 unidades porcentuales (u.p.) y 9.64 la PUE en los semiintensivos. Por el contrario, la NUE incrementa 1.52 unidades porcentuales por € en el margen sobre alimentos comprados en los intensivos ($r^2=0.22$, $P<0.001$) y 2.11 u.p. en los semiintensivos ($r^2=0.69$, $P<0.001$), y para la PUE, incrementa 2.17 unidades por € ($r^2=0.09$) en los intensivos y $r^2=0.47$ los semiintensivos.

El valor fertilizante de reemplazo (VFR) es de 106 y 470 € UGM^{-1} año y hectárea respectivamente en los intensivos y 96 y 389 y € los semiintensivos.

Palabras clave: eficiencia, explotación, fósforo, nitrógeno, producción de estiércol.

Abstract

The production of cow manure per year differs between production systems ($P < 0,001$), 24,427 kg in the intensive and semiintensive 21,931 kg, of which 79-82% cows milk, 6-9% dry cows, 12-14% heifers from 12 to 24 months and 9-10% for heifers under 1 year respectively. The equivalent per hectare and per ton LU dairy quota is 85,433-70,683, 19,263-17,738 and 3,204-3,767 kg for the same systems. The variables most related to the volume of manure at farm level are the LU ($r=0.97$, $P < 0.01$) the total area ($r=0.69$, $P < 0.01$) dedicated to the corn ($r=0.47$, $P < 0.01$); the milk quota ($r=0.93$, $P < 0.01$) stocking LU ha⁻¹ ($r=0.41$, $P < 0.01$) and less grassland area ($r=0.25$, $P < 0.01$). For all the increased holdings of 1 ha⁻¹ the total area can reduce the production of manure 1,926 kg increments of 1 t⁻¹ milk quota increases 23.6 kg and 1 livestock could increase by 538 kg. Similarly per ton of milk, increases of 1 t⁻¹ and 1 ha⁻¹ can decrease by 2.9 and 12.4 kg of manure respectively, on the contrary, increases of 1 LU⁻¹ manure production may increase 20.2 kg t⁻¹ of milk in all farms.

The more nutritional variables related to the production of cow manure per day are dry matter intake ($r=0.88$) and percentage of protein in the diet ($r=0.61$) in the intensive, and $r=0.86$ the semiintensive matter intake dry, crude protein unrelated. For all farms increases 1 kg dry matter cow per day has a potential of 1,300 kg of manure per year, and increases of 1 unit crude protein percentage of the diet within the range of 10.6 to 23.3% can produce 516 kg of cow manure per year.

The production of N and P by LU⁻¹ ton of milk hectare farm is 133-16.7, 19.5-2.7, and 519-73.3 kg in the intensive 17,317-2,489 and 101-14; 21.2-2.9; 398-56.8 kg of semiintensive 8,228-1,190 respectively. In dairy cows, the relationship N intake:P intake is similar between production systems with values of 6.54 ± 1.4 in the intensive and the semiintensive 6.57 ± 1.3 , lower than the ratio N excreted: P excreted of 7.44 ± 2.3 in the intensive and 7.94 ± 3 semiintensive. At farm level, the variables most associated with excretion of N are the LU ($r=0.93$, $P < 0.01$) the total area ($r=0.64$, $P < 0.01$) milk quota ($r=0.44$, $P < 0.01$), the surface of maize ($r=0.39$, $P < 0.01$) and grassland ($r=0.32$, $P < 0.01$). Similarly for the LU the excretion of P ($r=0.91$, $P < 0.01$) the total area ($r=0.68$, $P < 0.01$) milk quota ($r=0.89$, $P < 0.01$), the surface of maize ($r=0.45$, $P < 0.01$) and grassland ($r=0.27$, $P < 0.01$). The excretion of N per hectare estimated with the independent variables described above, show that increases of 1 ha⁻¹ the total area of N excretion is reduced by 10 kg year, increases of 1 LSU and 1 kg N intake increases at 2.75 and 0.07 kg respectively. Phosphorus, and with the same variables, descends 1.1 kg per hectare increase the total area and increases 0.29 and 0.15 kg to 1 LSU incremented the intake and 1 kg P respectively.

Increases a 1 € the cost of the ration, the NUE decreased 4.39 percentage units (p.u.) and 9.64 in the semi PUE. By contrast, the NUE increases by € 1.52 percentage units in the margin on food purchased in the intensive ($r^2=0.22$, $P < 0.001$) and 2.11 p.u. in the semiintensive ($r^2=0.69$, $P < 0.001$), and for the PUE units increased by € 2.17 ($r^2 = 0.09$) in the intensive and the semiintensive $r^2=0.47$.

The fertilizer value replacement (FVR) is 106 and 470 € LU⁻¹ year and hectare respectively in the intensive and 96 and € 389 and the semiintensive.

Keywords: efficiency, operation, phosphorus, nitrogen, manure production.

1. Introducción

Existe una conciencia creciente sobre el impacto medioambiental que ejercen los sistemas ganaderos intensivos, especialmente en los países nórdicos. En el pasado, los animales eran alimentados con menos concentrados y el estiércol producido era considerado como un bien valioso para mantener la fertilidad del suelo. Esta práctica garantiza el reciclaje de nutrientes, salvo las pérdidas asociadas al almacenamiento, distribución y lixiviados, etc.

Hoy en día, los sistemas de producción están desarrollados con poca base territorial. Sin embargo, y pese a las ventajas que ofrece la producción animal a gran escala, la legislación de algunos países limita el número de animales por unidad de superficie.

La predicción del N y P excretado en heces y orina es una herramienta útil, entre otras, para gestionar la alimentación, la fertilización y reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera. Desde el punto de vista energético, consumo elevado de N en las vacas lecheras representa un gasto en detoxificar el amoníaco en urea (4.4 Kcal de Energía Neta Leche g^{-1} de N convertido). Así, por ejemplo, una vaca de 600 kg de peso vivo, produciendo 30 kg de leche al 3.7% graso, necesita 20.7 kg de MS d^{-1} con una concentración de proteína bruta en la materia seca de 14.7% o 3.1 kg de proteína día (NRC, 1989). Si se incrementa el porcentaje de proteína hasta el 18%, el aumento diario es de 107 g de N día que, potencialmente, pueden ser excretados al medio, representando un gasto de energía extra de 0.47 Mcal día o bien, el 1.52% de sus necesidades.

El objetivo de este capítulo se centra en estimar la producción de estiércol, N y P, así como sus relaciones y valoración a partir de variables fácilmente medibles a nivel de explotación.

2. Resultados y discusi3n

2.1. Excreci3n de esti3rcol

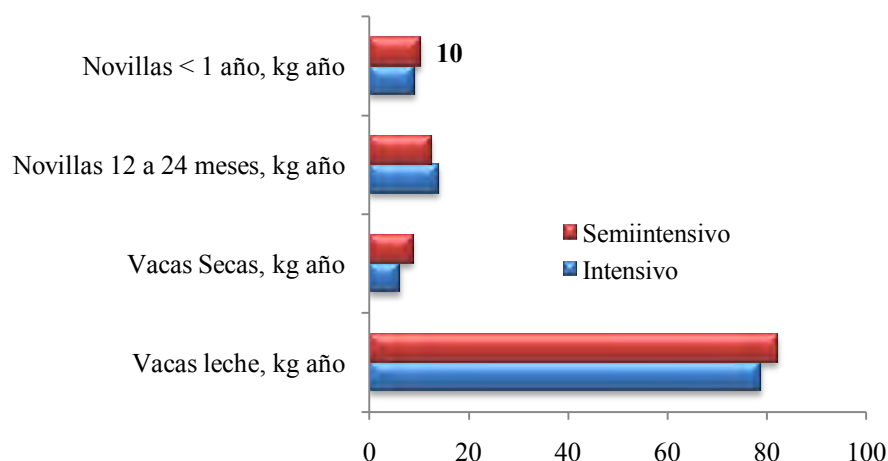
La producci3n de esti3rcol dentro de cada modelo productivo figura en la Tabla 1. El volumen de esti3rcol estimado por vaca y a3o es de 24427 kg los intensivos, similar a 24462 kg indicado por Midwest Plan Service (2000) y 21931 kg los semiintensivos. Para el conjunto de explotaciones, la producci3n de esti3rcol por UGM y a3o es mayor en los intensivos ($P < 0.001$), con valores medios de 19263 kg y 17738 kg los semiintensivos (Tabla 1). Para el conjunto de explotaciones, la producci3n de esti3rcol se reparte al 82.1% las vacas lecheras; 6.6% las vacas secas; 14.1% las novillas de 12 a 24 meses y 9.5% las novillas menores de un a3o (Figura 1).

Tabla 1.- Producci3n de esti3rcol por clase de animal y sistema de producci3n

Tipo animal	C	I	S	Std	P
Vacas leche, kg a3o ⁻¹	1925015	2257065	1177902	991586	***
Vacas Secas, kg a3o ⁻¹	161473	177133	126238	85013	***
Novillas 12 a 24 meses, kg a3o ⁻¹	342862	402961	179114	220017	***
Novillas < 1a3o, kg a3o ⁻¹	231080	264675	147977	145595	***
Esti3rcol explotaci3n, kg a3o ⁻¹	2424019	2863694	1434750	1271005	***
Esti3rcol Cuota, kg t ⁻¹	3377	3204	3092	779	***
Esti3rcol, kg ha ⁻¹	80895	85433	70683	28334	***
Esti3rcol, kg UGM ⁻¹	18794	19263	17738	2425	***
Esti3rcol, kg vaca a3o	23659	24427	21931	2717	***

C: conjunto explotaciones; **I:** intensivas; **S:** semiintensivas; **Std:** desviaci3n est3ndar; **P:** nivel de significaci3n
*** $P < 0.001$; NS: no significativo

Figura 1.- Distribuci3n porcentual de la producci3n de esti3rcol seg3n el tipo de animal y sistemas de producci3n



La producci3n de esti3rcol por hect3rea para el conjunto de explotaciones es de 80895 kg, mayor en las intensivas ($P < 0.001$) que las semiintensivas (Tabla 1). Por orden de magnitud, las variables m3s directamente relacionadas con el volumen de esti3rcol es el n3mero de UGM ($r = 0.97$, $P < 0.01$); la superficie total ($r = 0.69$, $P < 0.01$); la superficie de ma3z ($r = 0.47$, $P < 0.01$); la cuota lechera ($r = 0.93$, $P < 0.01$); las UGM ha^{-1} ($r = 0.41$, $P < 0.01$) y en menor medida, la superficie de la pradera ($r = 0.25$, $P < 0.01$). Las regresiones que estiman el esti3rcol producido por hect3rea para el conjunto de explotaciones, se3alan que el incremento de una UGM origina un aumento de 371 kg hect3rea a3o; la cuota lo aumenta en 23.6 kg tonelada y hect3rea y, un incremento en una hect3rea de superficie total lo disminuye en 1976 kg. La mayor pendiente en la variable superficie total en los semiintensivos es atribuida a la menor carga ganadera (UGM ha^{-1}), con valores medios de 3.97 y 4.43 los intensivos.

Esti3rcol producido por hect3rea:

$$\text{Conjunto} = 75005 (1887) - 1296 (69) \text{ Superficie total} + 23.6 (3.7) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 371 (32) \text{ UGM totales}; \\ \pm 12723 \text{ } r^2 = 0.80$$

$$\text{Intensivo} = 81850 (2577) - 1882 (75) \text{ Superficie total} + 23.8 (4.1) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 324.47 (35) \text{ UGM totales}; \\ \pm 13168 \text{ } r^2 = 0.81$$

$$\text{Semiintensivo} = 79816 (3162) - 3565 (172) \text{ Superficie total} + 18.3 (10.9) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 711 (61) \text{ UGM totales}; \\ \pm 6778 \text{ } r^2 = 0.88$$

Incrementos de 1000 kilogramos de cuota y una hect3rea de superficie disminuye el volumen de esti3rcol en 2.9 y 12.4 kg para el conjunto de explotaciones; por el contrario, un aumento de una UGM lo incrementa en 20.2 kilogramos.

Esti3rcol producido por cuota lechera:

$$\text{Conjunto} = 3466 (72) - 2.9 (0.14) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 20.2 (1.2) \text{ UGM totales} - 12.4 (2.6) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \\ \pm 487 \text{ } r^2 = 0.61$$

$$\text{Intensivo} = 3193 (78) - 2.7 (0.12) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 19.5 (1.1) \text{ UGM totales} - 8.1 (2.2) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \\ \pm 398 \text{ } r^2 = 0.71$$

$$\text{Semiintensivo} = 4968 (165) - 8.09 (0.57) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 42.1 (3.2) \text{ UGM totales} - 67.9 (9.0) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \\ \pm 355 \text{ } r^2 = 0.78$$

La Tabla 2 indica el orden de acci3n de cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de esti3rcol por hect3rea y por tonelada de cuota dentro de cada modelo productivo. El esti3rcol producido por hect3rea y en todos los casos, la variable m3s relevante que lo incrementa es el n3mero de UGM totales ($\beta = 0.81$) y la cuota, lo disminuye ($\beta = -0.97$). Por el contrario, la variable que incrementa la producci3n de esti3rcol por tonelada de cuota

lechera son también las UGM totales en los intensivos ($\beta=0.85$) y en menor medida los semiintensivos ($\beta=0.63$), mientras la cuota en ambos casos, la descende (Tabla 2).

Tabla 2.- Orden de acción de mayor a menor de los coeficientes β

Orden acción	Incrementa	Decrece
	Estiércol producido por hectárea	
	Conjunto explotaciones	
1	UGM totales (0.81)	Superficie total (-0.97)
2	Cuota (0.41)	
	Intensivos	
1	UGM totales (0.66)	Superficie total (-0.95)
2	Cuota (0.38)	
	Semiintensivos	
1	UGM totales (0.93)	Superficie total (-0.92)
2	Cuota (0.13)	
	Estiércol por tonelada de cuota	
	Conjunto explotaciones	
1	UGM totales (0.98)	Cuota (-0.68)
2		Superficie total (-0.30)
	Intensivos	
1	UGM totales (0.85)	Cuota (-0.63)
2		UGM totales (-0.29)
	Semiintensivos	
1	UGM totales (0.63)	Cuota (-0.95)
2		Superficie total (-0.17)

La producción de estiércol por las vacas lecheras se relaciona positivamente con la ingestión de materia seca ($r=0.87$, $P<0.01$); el porcentaje de proteína bruta de la dieta ($r=0.61$, $P<0.01$) en los sistemas intensivos, sin diferencias los semiintensivos.

Tabla 3.- Relación entre la concentración nutritiva de la dieta y la excreción de estiércol

	Conjunto	Intensivos	Semiintensivos
MS, kg d ⁻¹	0.87**	0.88**	0.86**
Forraje, %	-0.20**	NS	NS
PB, %	0.614**	0.615**	NS
FAD, %	-0.33**	0.26**	-0.38
FND, %	-0.42**	-0.36**	-0.31**
TDN, %	0.21**	0.22**	NS
EM, MJ kg ⁻¹ MS	0.27**	0.25**	NS

PB: proteína bruta; **FAD:** fibra ácido detergente; **FND:** fibra neutro detergente; **TDN:** total nutrientes digestibles; **EM:** energía metabolizable; ** $P<0.01$; **NS:** no significativo

El volumen de estiércol por vaca y año dentro de cada sistema productivo, estimado a partir del consumo de materia seca vaca y día como variable independiente, demostró que cada kg de materia seca ingerida en el conjunto de explotaciones, puede generar 1240 kg de estiércol por año o 3.39 kg por día; 1438 kg en los intensivos o 3.93 kg d⁻¹ y 1033 kg los semiintensivos o 2.83 kg d⁻¹, según las ecuaciones:

$$\text{Conjunto} = -6695 (967) + 1240 (45) (\text{kg MS } d^{-1}); \pm 1307 r^2=0.77$$

$$\text{Intensivos} = -6744 (1146) + 1438 (52) (\text{kg MS } d^{-1}); \pm 1262 r^2=0.78$$

$$\text{Semiintensivos} = 566 (1333) + 1033 (64) (\text{kg MS } d^{-1}); \pm 916 r^2=0.74$$

Cuando al modelo anterior se incluye la concentración de proteína bruta de la dieta (% sobre materia seca) como variable independiente, por ser la segunda variable de mayor relación en los intensivos (Tabla 3), pero no los semiintensivos, el modelo mejora significativamente en ambos sistemas, reduciéndose el error estándar de la regresión hasta 95 kg vaca y año e incrementos del 28.5% en el coeficiente de determinación para el conjunto de las explotaciones, según las ecuaciones:

$$\text{Conjunto} = -12625 (74) + 1294 (3.3) (\text{kg MS } d^{-1}) + 534 (2.2) (\% \text{ PB}); \pm 95 r^2=0.99$$

$$\text{Intensivos} = -12787 (95) + 1300 (4) (\text{kg MS } d^{-1}) + 536 (2.9) (\% \text{ PB}); \pm 98 r^2=0.99$$

$$\text{Semiintensivos} = -11804 (154) + 1267 (5.6) (\text{kg MS } d^{-1}) + 516 (4.5) (\% \text{ PB}); \pm 75 r^2=0.99$$

De esta manera, cada kilogramo de materia seca ingerida vaca y día tiene un potencial de 1300 kg de estiércol año, y una unidad porcentual de proteína bruta dentro del rango 10.6% a 23.3% (Tabla 6: Capítulo 1 “*Alimentación y producción de leche*”) puede generar 516 kg de estiércol vaca y año.

2.2. Excreción de N y P

2.2.1. Conjunto explotación

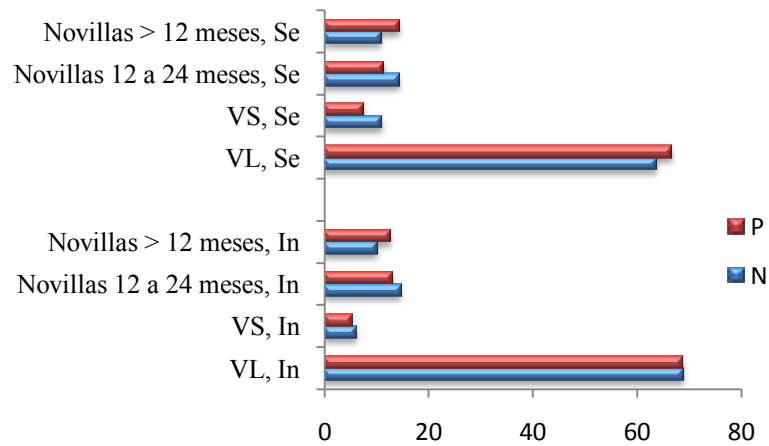
El N y P excretado por UGM año en el conjunto de las explotaciones, fue 112 y 15.8 kg respectivamente, con diferencias significativas entre sistemas de producción, mayor en los intensivos ($P < 0.001$), con excretas medias de 117 y 16.7 kg y 101 y 14 kg los semiintensivos respectivamente (Tablas 4 y 5). Estas diferencias son atribuidas al mayor número de UGM en los intensivos (147 ± 62) y 81 ± 25 los semiintensivos. Del mismo modo, el N y P excretado por tonelada de cuota para el conjunto de explotaciones es de 20.0 y 2.8 kg, mayor en los semiintensivos 21.2 y 19.5 kg en los intensivos para el N, sin diferencias significativas para el fósforo, con valores medios de 2.93 y 2.77 kg respectivamente (Tabla 5).

En los dos sistemas, la excreción de N por hectárea es superior a 175 kg año^{-1} , establecidos por la Directiva Nitratos, siendo la diferencia entre el N excretado y el recomendado de $+307 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$. Sin embargo, las recomendaciones de P no se encuentran delimitadas, aunque en todos los casos, la producción es superior en $28.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}$ a los 40 kg en la Unión Europea. El N excretado de las vacas lecheras y por hectárea fue de 330 kg, similar a 318 kg señalado por Arriaga *et al.* (2008) en explotaciones lecheras del País Vasco. De igual forma y para las vacas lecheras, la excreción de P por hectárea promedia 47 kg,

similar a 45.4 kg señalado por Arriaga *et al.* (2008).

Para el conjunto de explotaciones, el reparto porcentual de N y P excretado en heces y orina para las vacas de leche, vacas secas, novillas de 12 a 24 meses y menos de 1 año viene representado en la Figura 2.

Figura 2.- Distribución porcentual de la producción de N y P entre animales y sistemas de producción intensivo (In) y semiintensivo (Se)



Fosa de purín abierta

Tabla 4.- Excreci3n de nitr3geno y f3sforo seg3n el tipo de animal y sistema de producci3n

	Vacas lecheras					Vacas secas					Novillas 12 a 24 meses					Novillas > 1 a3o				
	C	I	S	Std	P	C	I	S	Std	P	C	I	S	Std	P	C	I	S	Std	P
N excretado, kg a3o ⁻¹	10229	12258	5664	5879	***	1068	1104	989	566	NS	2259	2620	1274	1661	***	1601	1802	964	961	***
P excretado, kg a3o ⁻¹	1472	1756	834	925	***	123	136	94	61	***	282	335	145	182	***	284	326	179	182	***
N ÷ P ¹	7.59	7.44	7.94	2.6	NS	9.34	8.77	10.6	3.9	***	8.01	9.07	7.61	2.6	***	5.66	5.94	4.74	2.04	***

¹ kg÷kg

Tabla 5.- Excreci3n de nitr3geno y f3sforo excretado en heces y orina entre sistemas de producci3n

	C	I	S	Std	P
N excretado, kg a3o ⁻¹	14577	17317	8228	7981	***
N, kg ha ⁻¹ a3o	482	519	398	186	***
N Cuota, kg t ⁻¹	20	19.5	21.2	5.2	**
N, kg UGM ⁻¹	112	117	101	22.8	***
N, kg vaca a3o	124	133	104	33	***
P excretado, kg a3o ⁻¹	2089	2489	1190	1201	***
P, kg ha ⁻¹ a3o	68.3	73.3	56.8	27.5	***
P Cuota, kg t ⁻¹	2.82	2.77	2.93	0.75	NS
P, kg UGM ⁻¹	15.8	16.7	14	3.7	***
P, kg vaca a3o	17.5	18.8	14.5	5.5	***

C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviaci3n est3ndar; P: nivel de significaci3n *** P<0.001; NS: no significativo

La relación $N_{\text{ingerido}} \div P_{\text{ingerido}}$ en las vacas lecheras es de 6.54 ± 1.4 y 6.57 ± 1.3 y la del $N_{\text{excretado}} \div P_{\text{excretado}}$ (kg kg^{-1}) de 7.44 ± 2.3 y 7.94 ± 3.0 en los sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente.

A nivel de explotación y por orden de magnitud, las variables más directamente relacionadas con la excreción de N y P es el número de UGM (N, $r=0.93$, $P<0.01$; P, $r=0.91$, $P<0.01$); la superficie total (N, $r=0.64$, $P<0.01$; P, $r=0.68$, $P<0.01$); la cuota lechera (N, $r=0.89$, $P<0.01$; P, $r=0.87$, $P<0.01$); la superficie de maíz (N, $r=0.39$, $P<0.01$; P, $r=0.45$, $P<0.01$) y la superficie de pradera (N, $r=0.32$, $P<0.01$; P, $r=0.27$, $P<0.01$). En las vacas lecheras, la variable mejor relacionada con la excreción de N y P (kg año^{-1}) es la ingestión de N y P (kg año^{-1}), (N, $r=0.93$, $P<0.01$) y para P, $r=0.99$, $P<0.01$.

Para el conjunto de animales presentes en la explotación y entre sistemas de producción, la excreción de N y P por hectárea año y por tonelada de cuota son definidos por los modelos que incluyen variables fácilmente medibles como superficie total; número de UGM; N y P ingerido en kg ha^{-1} .

Excreción de N por hectárea:

$$\text{Conjunto} = 388 (16.7) - 10 (0.70) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 2.75 (0.22) \text{ UGM totales} + 0.07 (0.02) \\ N \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 106 \text{ } r^2=0.68$$

$$\text{Intensivos} = 472 (22.6) - 10.4 (0.78) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 2.41 (0.25) \text{ UGM totales} + 0.07 (0.02) \\ N \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 111 \text{ } r^2=0.69$$

$$\text{Semiintensivos} = 272.5 (41.7) - 11.4 (1.9) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 3.8 (0.4) \text{ UGM totales} + 0.099 (0.055) \\ N \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 63 \text{ } r^2=0.69$$

Excreción de P por hectárea:

$$\text{Conjunto} = 48.1 (2.2) - 1.1 (0.09) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 0.29 (0.02) \text{ UGM totales} + 0.15 (0.01) \\ P \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 15.2 \text{ } r^2=0.69$$

$$\text{Intensivos} = 59.1 (3) - 1.13 (0.09) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 0.24 (0.03) \text{ UGM totales} + 0.13 (0.01) \\ P \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 15 \text{ } r^2=0.72$$

$$\text{Semiintensivos} = 7.7 (3.6) - 1.1 (0.2) \text{ Superficie total } (\text{ha}^{-1}) + 0.49 (0.05) \text{ UGM totales} + 0.39 (0.03) \\ P \text{ ingerido } (\text{kg ha}^{-1}); \pm 7.2 \text{ } r^2=0.90$$

Para el conjunto de explotaciones, el incremento de una hectárea la superficie total disminuye 10 y 1.1 kg la excreción de N y P por ha^{-1} año. Un aumento en una UGM la excreción de N y P aumenta 2.75 y 0.29 kg ha^{-1} año y un incremento de un kilogramo de N y P ha^{-1} ingerido en el total de animales aumenta 0.07 y 0.15 kg año si permanecen constantes las otras variables.

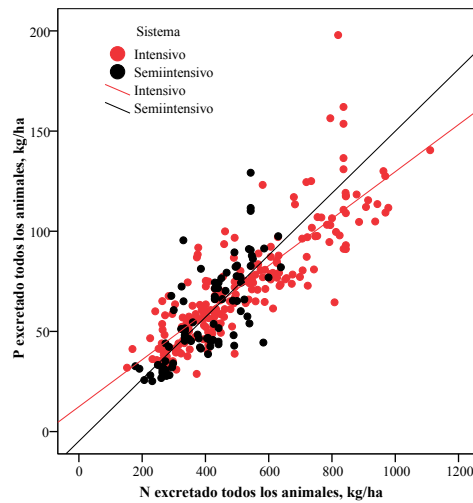
La Tabla 6 indica el orden de acci3n de cada variable independiente representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de N y P excretado por hect3rea y tonelada de leche dentro de cada modelo productivo. Para el N y P procedente del esti3rcol por hect3rea, la variable que m3s lo incrementa es el n3mero de UGM totales ($\beta=0.91$ y $\beta=0.65$ respectivamente). La superficie total para el conjunto de explotaciones lo decrece (N, $\beta=-0.79$ y P, $\beta=-0.59$). Por el contrario, los coeficientes estandarizados β para el P ingerido ha^{-1} a3o como segunda variable de importancia que lo incrementa, es similar a la variable UGM totales (Tabla 6). Estos resultados corroboran lo discutido en apartados anteriores, donde la concentraci3n de N y P en las dietas de los animales debe disminuir en ambos sistemas de producci3n.

Tabla 6.- Orden de acci3n de mayor a menor de los coeficientes β

Orden acci3n	Incrementa	Decrece
	N excretado por hect3rea todos los animales	
	Conjunto explotaciones	
1	UGM totales (0.65)	Superficie total (-0.82)
2	N ingerido ha^{-1} (0.13)	
3	Cuota t^{-1} (0.35)	
	Intensivos	
1	UGM totales (0.528)	Superficie total (-0.81)
2	N ingerido ha^{-1} (0.15)	
3	Cuota t^{-1} (0.28)	
	Semiintensivos	
1	UGM totales (0.67)	Superficie total (-0.64)
2	N ingerido ha^{-1} (0.001) Cuota t^{-1} (0.36)	
	P excretado por hect3rea todos los animales	
	Conjunto explotaciones	
1	UGM totales (0.65)	Superficie total (-0.59)
2	P ingerido ha^{-1} (0.44)	
	Intensivos	
1	UGM totales (0.54)	Superficie total (-0.62)
2	P ingerido ha^{-1} (0.44)	
	Semiintensivos	
1	P ingerido ha^{-1} (0.57)	Superficie total (-0.24)
2	UGM totales (0.54)	

La correlaci3n entre el N y P excretado por todos los animales y por hect3rea fue ($r^2=0.69$, $P<0.001$) (Figura 3), estim3ndose la excreci3n de P a partir del N excretado. De igual manera, la Figura 4 refleja la excreci3n de P a partir del N excretado por tonelada de cuota. En ambos casos, el P excretado por hect3rea y por tonelada de cuota, las pendientes resultan similares entre los sistemas intensivos y semiintensivos (Figuras 3 y 4).

Figura 3.- Relación entre la excreción de N y P (kg ha⁻¹) de la explotación

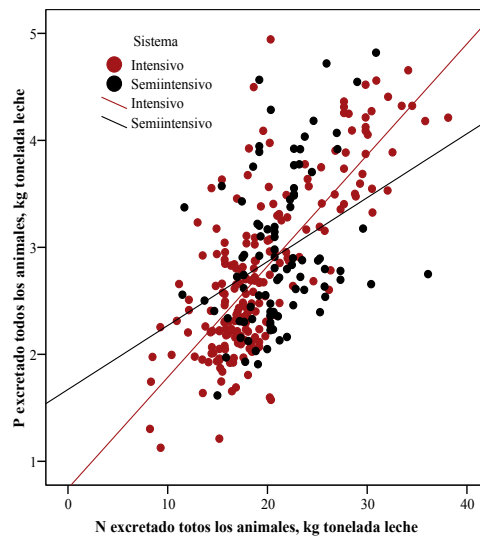


$$\text{Conjunto} = 8.88 (2.4) + 0.12 (0.005) \text{ kg N excretado ha}^{-1}; \pm 15.1 r^2=0.69$$

$$\text{Intensivos} = 12.4 (2.9) + 0.11 (0.005) \text{ kg N excretado ha}^{-1}; \pm 15 r^2=0.71$$

$$\text{Semiintensivo} = -4.76 (5.7) + 0.15 (0.014) \text{ kg N excretado ha}^{-1}; \pm 14.9 r^2=0.57$$

Figura 4.- Relación entre la excreción de N y el P (kg t⁻¹ cuota láctea) de la explotación



$$\text{Conjunto} = 0.90 (0.12) + 0.096 (0.006) \text{ kg N excretado t}^{-1} \text{ cuota}; \pm 0.56 r^2=0.44$$

$$\text{Intensivos} = 0.74 (0.12) + 0.104 (0.006) \text{ kg N excretado t}^{-1} \text{ cuota}; \pm 0.50 r^2=0.57$$

$$\text{Semiintensivo} = 1.67 (0.36) + 0.06 (0.017) \text{ kg N excretado t}^{-1} \text{ cuota}; \pm 0.66 r^2=0.12$$

2.2.2. Vacas lecheras

Entre otros, desde los aspectos medioambientales, nutricionales y económicos, la optimización en la eficiencia de utilización del N (NUE, %) y del P (PUE, %) señalado en el Capítulo 1: “*Alimentación y producción de leche*”, por unidad de leche producida, pueden considerarse estrategias para la minimización en origen. Sin embargo, parámetros como el tamaño del rebaño (UGM totales) o la disponibilidad de superficie (ha^{-1}) ligada a la explotación, pueden limitar la capacidad de optimización de la NUE y PUE en la excreción de nutrientes al medio.

El consumo de N y P por vaca y año (Tabla 7) difiere según el sistema de producción ($P < 0.01$), con valores medios de 213 y 33.6 kg año los intensivos y 173 y 27.6 kg los semiintensivos (Tabla 6: Capítulo 1 “*Alimentación y producción de leche*”). El N y P total excretado en heces y orina por vaca y año es de 133 kg (61.7% del ingerido) y 18.8 (55.2%) kg los intensivos y 104 (60.1%) y 14.5 kg los semiintensivos (52.5%) respectivamente. Mientras, el N y P recuperado en leche es de 59.2 kg (27.1%) y 11.2 kg (33.3%) en los primeros y 44.4 (25.6%) y 8.7 (31.5%) los segundos.

Los resultados aquí obtenidos de 33.5 kg N d^{-1} en los sistemas intensivos son similares a 34.6 kg N d^{-1} (Arriaga *et al.*, 2008) en las explotaciones más intensivas del País Vasco. Este autor señala que las explotaciones muy intensivas son más susceptibles a pérdidas globales de N por emisión de amoníaco. En el presente trabajo, las pérdidas estimadas de NH_3 por vaca y año (las procedentes del establo y estercolero) son de 20.1 kg para el conjunto de explotaciones, con diferencias significativas entre sistemas, mayor en los intensivos ($P < 0.001$) (Tabla 7). Así, las relaciones obtenidas para el conjunto de explotaciones entre la ingestión de N vaca y año y las pérdidas de NH_3 originadas en el establo y estercolero son de ($r=0.76$, $P < 0.01$); $r=0.72$, $P < 0.01$ los intensivos y en menor media los semiintensivos ($r=0.67$, $P < 0.001$), atribuido a la menor concentración de proteína bruta en la dieta. Al igual que las emisiones de NH_3 , el NO_2 emitido en el establo vaca y año es superior en los intensivos ($P < 0.001$) (Tabla 7), con valores medios de 2.7 y 1.75 kg respectivamente.

Tabla 7.- Estimación del N ingerido, excretado y volumen de heces y orina vaca y año, kg

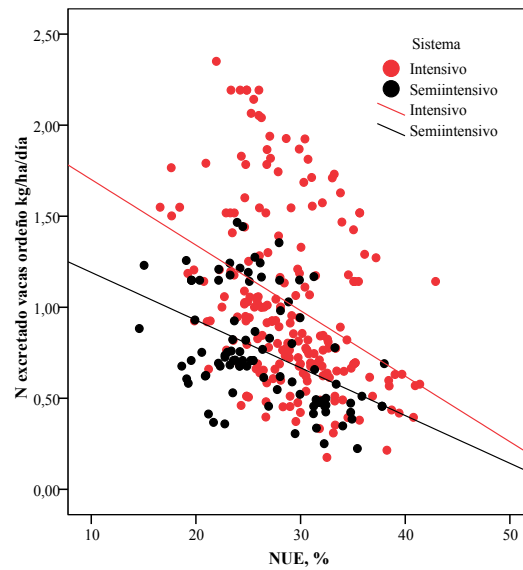
	Conjunto	(%) ²	Intensivo	(%) ²	Semiintensivo	(%) ²	Std	P
N _i ¹	201		213		173		38.6	***
N _{h+o} ¹	124	59.3	133	60.2	104	60.1	33.7	***
N _l ¹	54.5	26.4	59.2	26.8	44.4	25.5	11.3	***
NH ₃ ¹								
Establo	14		14.5		12.7		2.3	***
Estercolero	6.1	69.6	6.4	69.3	5.6	69.4	1.03	***
Vaca	20.1	30.3	20.9	30.6	18.3	30.6.1	3.4	***
N ₂ O ¹ establo	1.93		2.70		1.75		0.32	***
NO ¹	0.042		0.043		0.038		0.007	***
Estiércol ¹	23659		24427		21931		2717	***
P _i ¹	31.7		33.6		27.6		7.7	***
P _h ¹	17.5	55.2	18.8	55.9	14.5	52.5	5.5	***
P _l ¹	10.4	31.6	11.2	33.3	8.7	31.5	1.9	***

¹ kg vaca año; ² % sobre el N o P ingerido; N_i: N ingerido; N_{h+o}: N heces + orina; N_l: nitrógeno leche; P_i: fósforo ingerido; P_h: fósforo heces; P_l: fósforo leche; Std: desviación estándar; P: nivel de significación *** P<0.001

Arriaga *et al.* (2008) señalan excreciones medias diarias de P para las explotaciones de alta intensificación en 4.8 kg; 3.9 kg las de media intensificación y 3.7 kg las menos intensificadas. En el presente trabajo y para el conjunto de explotaciones, la excreción diaria para las vacas lecheras es de 4.03 kg d⁻¹, con diferencias significativas entre sistemas de producción, mayor en las intensivas (P<0.001, 4.8 kg d⁻¹), atribuido al superior número de vacas en ordeño señalado en apartados anteriores y de 2.2 kg d⁻¹ las semiintensivas.

En relación al número de vacas en ordeño y la superficie total de la explotación, la NUE presenta baja correlación (r=0.14, P<0.05 y r=0.29, P<0.01 respectivamente), sin relaciones significativas para la PUE. La excreción diaria de N y P por las vacas lecheras hectárea y día se relacionó negativamente con la NUE (r=-0.29, P<0.01) (Figura 5) y PUE (r=-0.50, P<0.01) (Figura 6). El nivel de significación entre estas variables difiere de los obtenidos por Arriaga *et al.* (2008) en explotaciones del País Vasco, aunque presenta tendencias ascendentes de la PUE cuando la excreción de P por hectárea y día en las vacas lecheras disminuye, sin relaciones significativas para el N.

Figura 5.- Relaci3n entre la NUE (%) y la excreci3n de N en las vacas lecheras

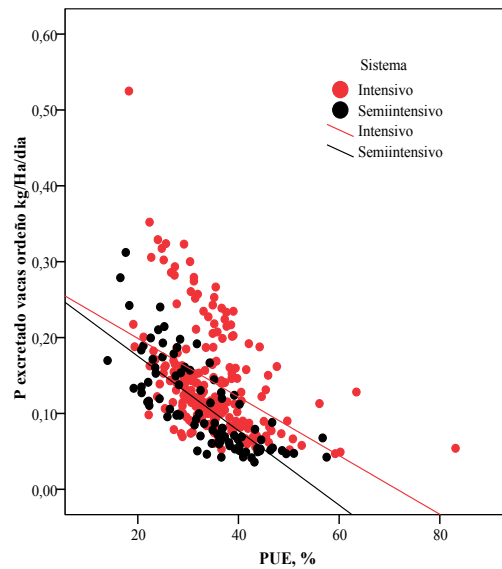


Conjunto = $31.4 (0.66) - 3.3 (0.64) \text{ kg N excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 4.9 \text{ } r^2=0.08$

Intensivos = $32.9 (0.74) - 3.7 (0.66) \text{ kg N excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 4.5 \text{ } r^2=0.13$

Semiintensivo = $32.3 (1.33) - 7.8 (1.6) \text{ kg N excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 4.7 \text{ } r^2=0.20$

Figura 6.- Relaci3n entre la PUE y la excreci3n de N en las vacas lecheras



Conjunto = $42.5 (0.91) - 62.2 (6.1) \text{ kg P excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 7.3 \text{ } r^2=0.25$

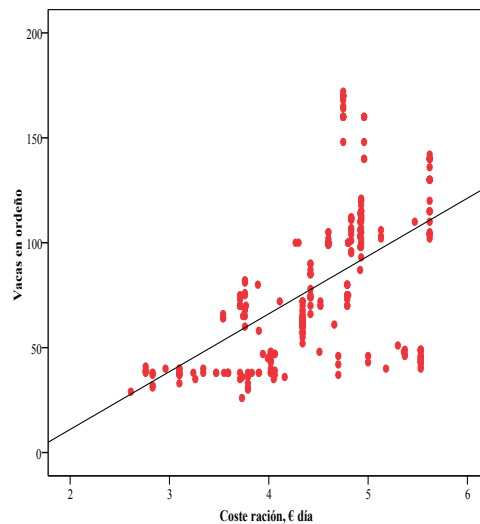
Intensivos = $41.8 (1.1) - 50.6 (7.1) \text{ kg P excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 7.25 \text{ } r^2=0.19$

Semiintensivo = $46.4 (1.3) - 118.3 (10.6) \text{ kg P excretado vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; $\pm 6.09 \text{ } r^2=0.58$

2.3. Costes de la raci3n en relaci3n a la NUE y PUE en las vacas lecheras

El coste medio de la raci3n y el de los alimentos de producci3n propia son de 4.49 ± 0.71 y 1.01 ± 0.40 € vaca y d3a, con m3ximos de 5.62 y 1.85 € y m3nimos de 2.61 y 0.20 € respectivamente. El mayor coste de la raci3n se registra en las explotaciones intensivas 4.82 ± 0.50 € y el menor, 3.75 ± 0.55 € las semiintensivas, increment3ndose respecto al n3mero de vacas en lactaci3n ($r=0.53$, $P<0.01$) (Figura 7) y, dentro del rango 26 a 172 vacas. Para el conjunto de explotaciones, el coste de alimentos de producci3n propia se relaciona negativamente con el n3mero de vacas ($r=-0.17$, $P<0.01$), sin correlaci3n en los intensivos y, ($r=-0.24$, $P<0.01$) lo semiintensivos.

Figura 7.- Relaci3n entre el coste econ3mico de la raci3n y el n3mero de vacas en orde1o



$$\text{Conjunto} = 3.67 (0.083) + 0.01 (0.001) N^{\circ} \text{ vacas orde1o}; \pm 0.60 \quad r^2 = 0.28$$

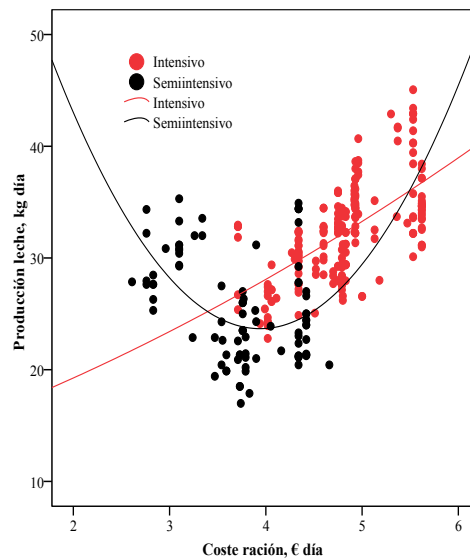
La producci3n de leche incrementa el coste de alimentaci3n en las explotaciones intensivas de forma lineal ($r=0.63$, $P<0.01$) y, cuadr3tica ($r=-0.34$, $P<0.01$) las semiintensivas (Figura 8). De las mismas ecuaciones, se deduce que el aumento de un euro en el gasto de alimentaci3n supone un incremento de 4.42 kg de leche. A los precios actuales de la leche (0.374 € kg^{-1}), el aumento de un euro en el coste de la raci3n para obtener 4.42 kilogramos de leche, supone una mejora econ3mica de 0.65 €.

El aumento de coste en la raci3n no se relaciona con mejoras significativas de la NUE y PUE ($P>0.05$) en los sistemas intensivos y (NUE, $r=-0.46$, $P<0.01$; PUE, $r=-0.57$, $P<0.01$) los semiintensivos, donde, incrementoz de un euro en el coste de la raci3n, la NUE disminuye 4.39 unidades porcentuales (Figura 9) y 9.64 unidades porcentuales la PUE (Figura 10). Los resultados aqu3 obtenidos resultan coincidentes con Arriaga *et al.* (2008) en explotaciones del

País Vasco. Sin embargo, el coste de alimentación expresado en € L⁻¹ (Conjunto explotaciones = 0.151±0.015; Intensivos = 0.150±0.015 y 0.154±0.025 los Semiintensivos) sí manifiesta relación en ambos sistemas de producción (NUE, r=-0.40, P<0.01; PUE, r=-0.27, P<0.01) los intensivos y (NUE, r=-0.79, P<0.01; PUE, r=-0.70, P<0.01) los semiintensivos (Figuras 11 y 12).

Por el contrario, el coste de alimentos de producción propia se observan relaciones positivas con NUE en los intensivos (r=0.29, P<0.01) y (r=0.27, P<0.01) los semiintensivos, imputable al similar consumo de forrajes propios, principalmente ensilados de hierba y maíz (16 y 16.8 kg respectivamente). Para PUE, los intensivos no fue significativo y (r=0.30, P<0.1) los semiintensivos.

Figura 8.- Relación entre el coste económico de la ración y la producción de leche

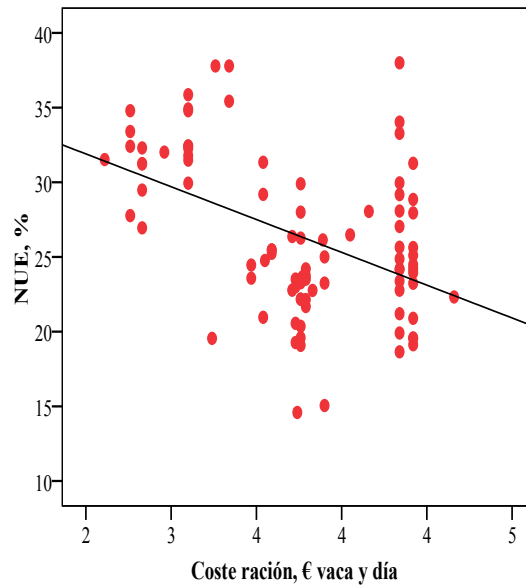


$$\text{Conjunto} = 10.32 (1.63) + 4.42 (0.36) \text{ € ración}; \pm 4.45 r^2=0.34$$

$$\text{Intensivos} = 6.63 (2.24) + 5.33 (0.46) \text{ € ración}; \pm 3.35 r^2=0.39$$

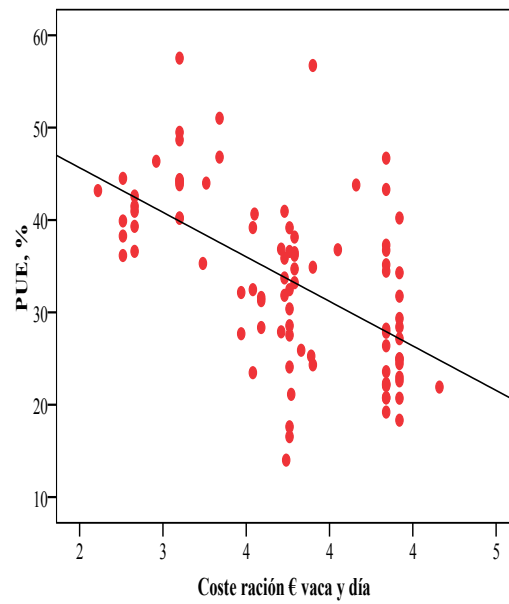
$$\text{Semiintensivos} = 103.4 (20.2) + 40.4 (11.2) \text{ € ración} + 5.13 (1.5) \text{ € ración}^2; \pm 4.16 r^2=0.21$$

Figura 9.- Relaci3n entre el coste econ3mico de la raci3n y la NUE, %



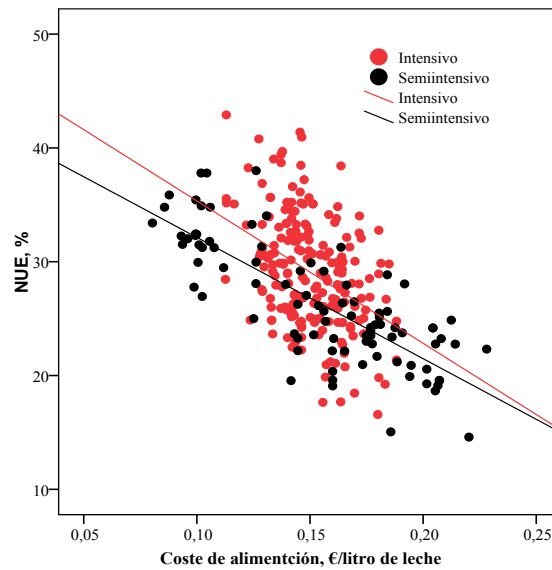
$$\text{Semiintensivo} = 42.88 (3.4) - 4.39 (0.89) \text{ € raci3n}; \pm 4.7 \text{ } r^2=0.21$$

Figura 10.- Relaci3n entre el coste econ3mico de la raci3n y la PUE, %



$$\text{Semiintensivo} = 69.7 (5.58) - 9.64 (1.47) \text{ € raci3n}; \pm 7.7 \text{ } r^2=0.32$$

Figura 11.- Relación entre el coste de alimentación por kilogramo de leche con la NUE, %

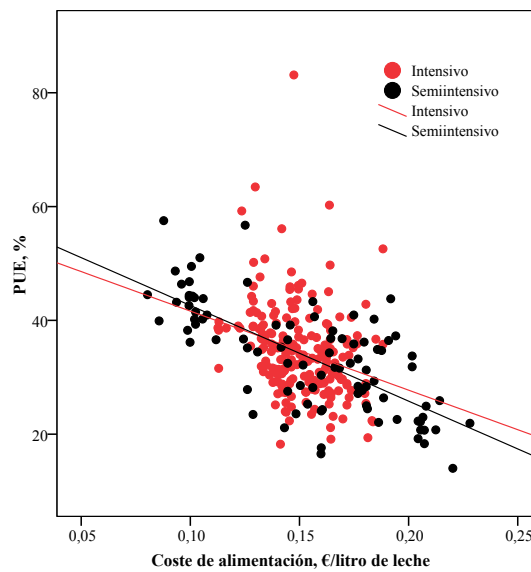


$$\text{Conjunto} = 45.5 (1.4) - 114.2 (9.7) \text{ € } L^{-1}; \pm 4.27 \text{ } r^2=0.31$$

$$\text{Intensivos} = 47.8 (3.02) - 125.1 (19.9) \text{ € } L^{-1}; \pm 4.5 \text{ } r^2=0.16$$

$$\text{Semiintensivos} = 42.7 (1.3) - 106.5 (8.6) \text{ € } L^{-1}; \pm 3.23 \text{ } r^2=0.63$$

Figura 12.- Relación entre el coste de alimentación por kilogramo de leche y la PUE, %



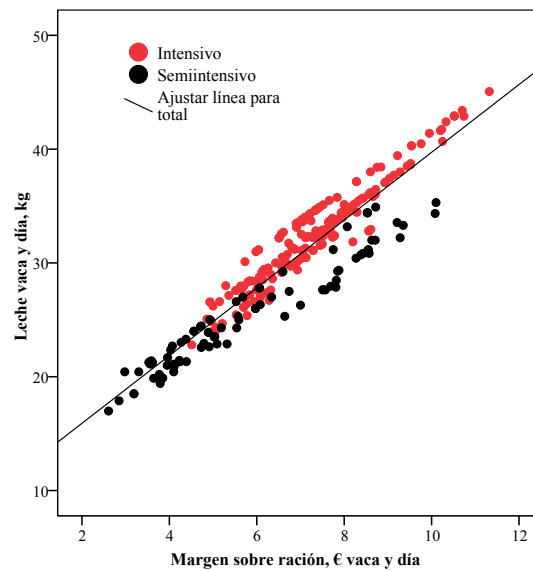
$$\text{Conjunto} = 58.6 (2.6) - 161 (16.9) \text{ € } L^{-1}; \pm 7.45 \text{ } r^2=0.23$$

$$\text{Intensivos} = 55.5 (5.22) - 138.9 (34.5) \text{ € } L^{-1}; \pm 7.78 \text{ } r^2=0.07$$

$$\text{Semiintensivos} = 59.4 (2.8) - 168.1 (17.7) \text{ € } L^{-1}; \pm 6.6 \text{ } r^2=0.49$$

El margen medio sobre el coste de la raci3n y de alimentos propios vaca y d3a para el conjunto de las explotaciones es de 6.81 ± 1.7 € y 7.83 ± 1.8 € respectivamente, con diferencias significativas entre sistemas, mayor en los intensivos ($P < 0.001$), con valores medios de 7.28 ± 1.3 € y 8.24 ± 1.5 € y 5.74 ± 1.9 € y 6.89 ± 2.0 € los semiintensivos respectivamente. Para el conjunto de explotaciones el rango oscil3 desde m3nimos de 2.61 y 3.8 € a m3ximos de 11.3 y 13.7 € vaca y d3a para el margen sobre la raci3n y alimentos propios respectivamente. La Figura 13 indica el margen sobre el coste de la raci3n por kilogramo de leche, ligeramente mayor en los semiintensivos (0.41 kg) que en los intensivos ($P < 0.001$), atribuido a la mayor utilizaci3n de alimentos propios. Por el contrario, el margen sobre alimentos comprados es superior en los intensivos (8.2 ± 1.5 € los intensivos) y 6.89 ± 2.08 € los semiintensivos, atribuido a la mayor producci3n. Sin embargo, por kilogramo de leche es superior en los semiintensivos (Figura 13), obteni3ndose una pendiente de 0.41 y 0.30 kilogramos de leche los intensivos.

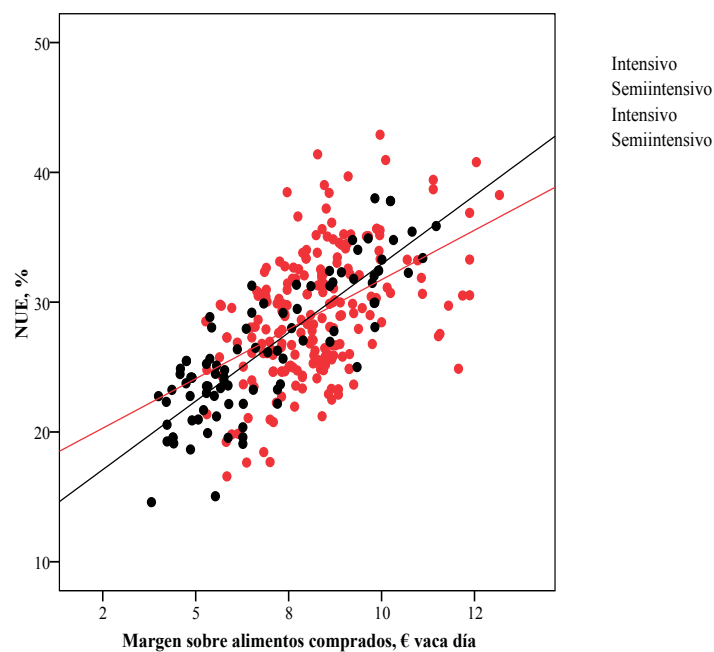
Figura 13.- Relaci3n entre el margen sobre el coste de alimentaci3n por kilogramo de leche



$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= -2.18 (1.19) + 0.298 (0.006) L \text{ vaca } d^{-1}; \pm 0.58 r^2=0.87 \\ \text{Intensivos} &= -2.43 (0.209) + 0.30 (0.006) L \text{ vaca } d^{-1}; \pm 0.39 r^2=0.91 \\ \text{Semiintensivos} &= -4.77 (0.30) + 0.41 (0.012) L \text{ vaca } d^{-1}; \pm 0.52 r^2=0.93 \end{aligned}$$

El coeficiente de utilización del N (NUE) incrementa en ambos sistemas a medida que aumenta el margen sobre alimentos comprados (Figura 14). Esta circunstancia es imputable al superior contenido y digestibilidad de los alimentos comprados (alfalfa y concentrados principalmente) y corroborado por el mayor porcentaje de NUE en los intensivos ($29.06\pm 4.9\%$) y $26.38\pm 5.28\%$ los semiintensivos. Para la PUE los porcentajes medios obtenidos en el conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos son $34.3\pm 8.4\%$; $34.6\pm 8.0\%$ y $33.5\pm 9.3\%$ respectivamente. Sin embargo, el margen sobre alimentos comprados en los sistemas intensivos presentó un bajo coeficiente de determinación (Figura 15) y $r^2=0.47$ los semiintensivos, con pendientes mayores en estos últimos. Los resultados aquí obtenidos muestran que pese a la menor compra de alimentos en los semiintensivos, PUE es similar, lo que cabe pensar en un coeficiente de digestibilidad del P en los alimentos producidos en la explotación alto y compensado con la compra de alimentos en los intensivos.

Figura 14.- Relación entre el margen sobre alimentos comprados y la NUE (%)

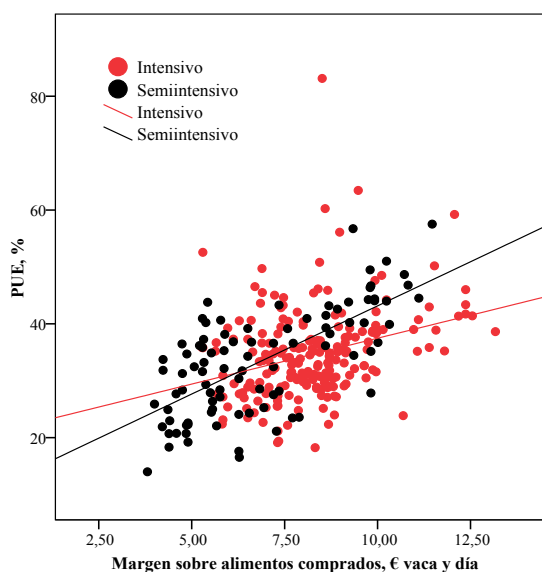


$$\text{Conjunto} = 14.0 (1.01) + 1.81 (0.127) \text{ € margen sobre alimentos comprados}; \pm 3.97 \text{ } r^2=0.41$$

$$\text{Intensivos} = 16.48 (1.67) + 1.52 (0.19) \text{ €}; \pm 4.33 \text{ } r^2=0.22$$

$$\text{Semiintensivos} = 11.81 (1.06) + 2.11 (0.147) \text{ €}; \pm 2.93 \text{ } r^2=0.69$$

Figura 15.- Relación entre el margen sobre el coste de alimentación y la PUE (%)



$$\text{Conjunto} = 17.7 (1.94) + 2.17 (0.24) \text{ € margen sobre alimentos comprados}; \pm 7.5 \text{ } r^2=0.20$$

$$\text{Intensivos} = 21.3 (2.9) + 1.61 (0.35) \text{ €}; \pm 7.7 \text{ } r^2=0.09$$

$$\text{Semiintensivos} = 12.1 (2.4) + 3.1 (0.34) \text{ €}; \pm 6.81 \text{ } r^2=0.47$$

Cada euro en el margen sobre alimentos comprados, la NUE incrementa 1.81; 1.52 y 2.11 unidades porcentuales para el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente. Por el contrario las pendientes obtenidas para PUE son mayores en todos los casos, con valores medios de 2.17; 1.61 y 3.1 unidades porcentuales por euro de incremento en el margen sobre alimentos comprados.

2.4. Valoración económica del N y P del purín

El precio de los fertilizantes ha experimentado un incremento en los últimos años. Esta circunstancia ha contribuido a un aumento en el uso del purín. La tendencia de los precios para N y P viene representada en la Figura 16.

El contenido medio de N y P₂O₅ de los purines del ganado vacuno lechero es 3.8 y 1.81 g kg⁻¹ para el conjunto de explotaciones, sin diferencias significativas entre sistemas de producción, con valores medios de 3.86 y 1.83 g kg⁻¹ en los intensivos y 3.67 y 1.80 g kg⁻¹ los semiintensivos para contenidos medios de materia seca del 10.6%, tal y como muestra la Figura 17. Estas concentraciones son similares a las indicadas en Irlanda por O'Brick (1991). El contenido de K₂O es del 0.51% (O'Brick, 1991)

Figura 16.- Evoluci3n del precio de 1 kilogramo de N y P puro (MAPA, 2007)

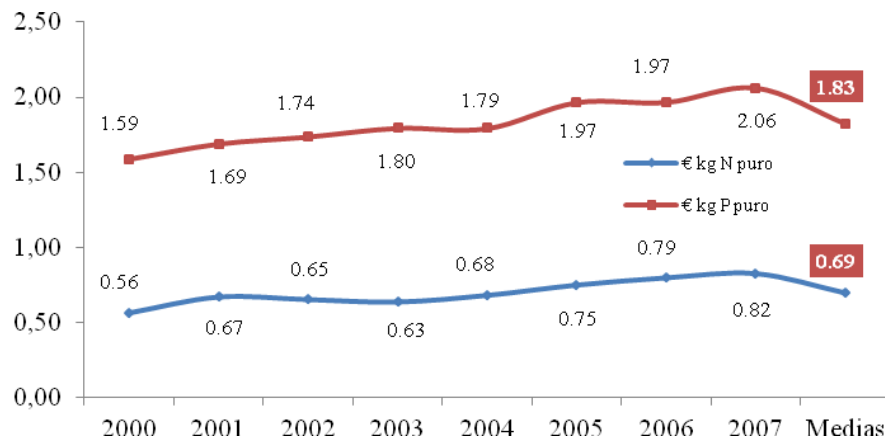
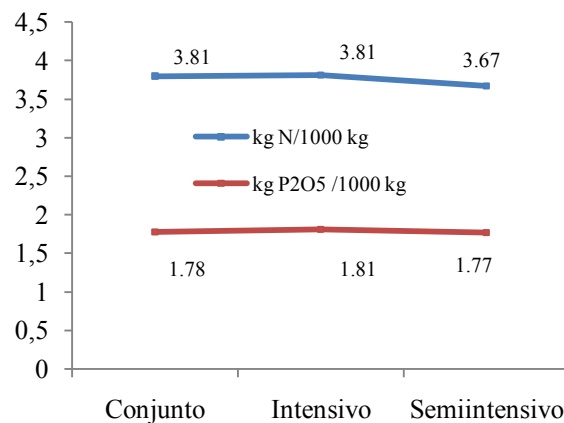


Figura 17.- Contenido de N y P₂O₅ en un m³ de pur3n



El valor fertilizante de reemplazo (VFR) del pur3n depende del contenido total de nutrientes y de su disponibilidad para ser utilizado por la planta. A excepci3n de suelos bajos en P, 3ste es generalmente considerado a reemplazar el 100%. As3, el valor fertilizante de 1 kg de P procedente del pur3n es equivalente a 1 kg de P aplicado como abono qu3mico. Asumiendo disponibilidades t3picas para el N y P del 30-100% (O'Brick, 1991), el VFR es 1.14 kg t⁻¹ para el N y 0.74 kg t⁻¹ el P.

El contenido de N del pur3n es muy variable. Aproximadamente el 50% est3 en forma org3nica y disponible en el tiempo, pero su liberaci3n es lenta pudiendo durar varios a3os. El 50% de N restante se encuentra en forma de amonio (NH₄⁺) y disponible para el consumo, pero susceptible de ser volatilizado al aire en forma de gas amoniacal.

Al precio actual de los fertilizantes, el valor potencial del pur3n es de $5.51 \text{ € m}^3 \Sigma [0.73 \text{ € m}^3 \text{ el N} + 1.37 \text{ € m}^3 \text{ el P}_2\text{O}_5 + 3.41 \text{ € m}^3 \text{ el K}_2\text{O}]$, tomado a partir del precio pagado por los agricultores en el per3odo 2000-2007 para el Nitrato Am3nico C3lcico (26%); Superfosfato de Cal (18%) y Sulfato Pot3sico (50%) (MAPA, 2007) y asumiendo una disponibilidad del 30% para el nitr3geno. De esta forma, el 86.7% del valor fertilizante del pur3n es atribuido al P y K, mientras el 13.3% es imputado al contenido en N, similares al 88% y 12% sealado por Lalor (2008) en Irlanda.

La Tabla 8 sealala la equivalencia del VFR en € del esti3rcol producido en la explotaci3n por a3o, cuota, hect3rea y UGM.

Tabla 8.- Equivalencia del VFR en € del esti3rcol producido en cada sistema de producci3n

	€ a3o ⁻¹	€ t cuota ⁻¹	€ ha ⁻¹	€ UGM ⁻¹
Conjunto explotaciones	13356	18.6	445	103
Intensivos	15778	17.6	470	106
Semiintensivos	7905	20.6	389	98
P	***	***	***	***
Std	7003	4.2	156	13.3

P: nivel de significaci3n *** P<0.001

El valor nitrogenado del pur3n tambi3n depende del porcentaje de p3rdidas amoniacaes despu3s de aportado. Aproximadamente el 90% de las p3rdidas ocurren despu3s de las primeras 24 horas de su aplicaci3n y directamente relacionadas con la humedad, increment3ndose a altas temperatura y baja humedad.

Puesto que las condiciones clim3ticas son generalmente m3s fr3as y h3medas en la primavera, el ahorro de fertilizantes nitrogenados depender3 principalmente del calendario en la aplicaci3n del pur3n. Un m³ de pur3n tiene un VFR de 0.9 kg de N si se aplica en primavera (30% VFR_N). Sin embargo, la misma aplicaci3n de pur3n en verano, solo tendr3 un valor VFR_N de 10%.

Aunque su aplicaci3n se recomienda en primavera, puede darse la circunstancia que a veces no sea posible, debido a las precipitaciones constantes. La aplicaci3n de pur3n en verano, o despu3s del primer aprovechamiento de la pradera para ensilado, debe emplearse de manera que maximice la eficiencia. Bajo estas condiciones debe evitarse la incorporaci3n del pur3n en d3as de mucho calor para reducir las p3rdidas de N-amoniacaal.

3. Conclusiones parciales

La optimización de la NUE y PUE por unidad de leche producida, puede considerarse como estrategia para minimizar la excreción de N y P en origen. Sin embargo, parámetros como el tamaño del rebaño (UGM totales), la disponibilidad de superficie agrícola útil (SAU) ligada a la explotación y cuota, pueden limitar la capacidad de optimización de la NUE y PUE en la excreción de nutrientes al medio.

Manejo de la explotación

Balance de materia seca, energía neta
leche, nitrógeno y fósforo en la explotación

G. Salcedo



BALANCE DE MATERIA SECA, ENERGÍA NETA LECHE, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA EXPLOTACIÓN

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

3. Resultados y discusión

3.1. Ingestión, compra y producción de alimentos propios (sólo vacas lecheras)

3.1.1. Materia seca

3.1.2. Energía Neta leche

3.1.3. Nitrógeno

3.1.3.1. N total animales

3.1.3.2. N total vacas lecheras

3.1.4. Fósforo

3.1.4.1. Fósforo total animales

3.1.4.2. Fósforo vacas lecheras

4. Conclusiones parciales

Resumen

El número de vacas en ordeño, la superficie total y la cuota es de 80 ± 37 ; 31 ± 15 ha⁻¹ y 798 ± 486 t⁻¹ para el conjunto de explotaciones, respectivamente. En esta explotación tipo, las vacas de ordeño consumen 626072 ± 311489 kg de materia seca; 1002 ± 520 Gcal de energía neta leche; 16552 ± 9098 kg de proteína bruta y 2642 ± 1535 kg de fósforo, observándose diferencias significativas entre sistemas de producción, mayor ($P<0.001$) en los intensivos.

La materia seca comprada es mayor en los intensivos 74.3% y 64.8% los semiintensivos, sin diferencias la materia seca de producción propia, más relacionada esta última con la superficie de maíz ($r=0.42$, $P<0.01$) que la dedicada a pradera ($r=0.17$, $P<0.01$) y, entre explotaciones, mayor en las intensivas ($r=0.42$, $P<0.01$) que en las semiintensivas ($r=0.38$, $P<0.01$). La compra de materia seca por tonelada de cuota no difiere entre sistemas de producción, con valores medios de 611 y 629 kg en los semiintensivos e intensivos respectivamente. En ambos sistemas la compra de alimentos por hectárea en las vacas lecheras está positivamente relacionada con la cuota láctea ($r=0.57$, $P<0.01$) en los primeros y ($r=0.53$, $P<0.01$) los segundos. Para el conjunto de explotaciones, incrementos de 1 vaca de leche aumenta la compra de materia seca en 1.16 kg t⁻¹ de cuota, y 1 hectárea de maíz la disminuye en 6.9 kg t⁻¹. La materia seca de producción propia por t⁻¹ de cuota disminuye 1.85 kg al aumentar una vaca lechera y -0.88 kg t⁻¹ una hectárea de maíz. El porcentaje de energía neta leche de producción propia difiere entre sistemas ($P<0.001$), con valores medios de 31.2% en los intensivos y 36.1% los semiintensivos.

El porcentaje de N comprado y el de producción propia por año son de 77.7- 24.4% y 63.1-36.5% en los intensivos y semiintensivos respectivamente. El N recuperado en leche es mayor en los intensivos ($P<0.001$), con porcentajes medios de 22.2% en los primeros y 19.3% los segundos.

El porcentaje de fósforo comprado es mayor en los intensivos (71.2%) y 58.2% los semiintensivos. Por el contrario, el de producción propia es superior en éstos últimos ($P<0.001$), al igual que el recuperado en leche ($P<0.001$), con porcentajes medios de 36.9% en aquéllos y 27.3% los intensivos.

El N comprado por hectárea en ambos sistemas es de 672-337 kg, sin diferencias el de producción propia 192-179 kg y 201-98 kg el recuperado en leche ($P<0.001$). Para el P, los

resultados difieren entre sistemas de producción, el comprado y el recuperado en leche ($P < 0.001$), sin diferencias el de producción propia.

La compra de N por tonelada de cuota es mayor en los intensivos ($P < 0.001$), con valores medios de 21.2 y 17.6 kg t⁻¹ los semiintensivos, sin diferencias para el P entre sistemas (2.96 y 2.74 kg t⁻¹) en los intensivos y semiintensivos respectivamente. El N y P de producción propia difieren entre sistemas ($P < 0.001$), 13.9-1.95 kg t⁻¹ en los semiintensivos y 7.27-1.31 kg t⁻¹ en los intensivos.

Palabras clave: alimentos, compra, cuota, explotación lechera, nutrientes, sistema, superficie, producción propia.

Abstract

The number of milking cows, total area and share is 80 ± 37 , $31 \pm 15 \text{ ha}^{-1}$ and $798 \pm 486 \text{ t}^{-1}$ for all farms, respectively. In this type of operation, milking cows consume $626,072 \pm 311,489 \text{ kg}$ of dry matter; $1,002 \pm 520 \text{ Gcal}$ net energy milk, $16,552 \pm 9,098 \text{ kg}$ of crude protein and $2,642 \pm 1,535 \text{ kg}$ of phosphorus, significant differences were observed between production systems, higher ($P < 0.001$) in the intensive.

The dry matter purchased is higher in intensive 74.3% and 64.8% for the semi, with no differences in the dry matter production itself, the latter associated with the surface of maize ($r = 0.42$, $P < 0.01$) than that devoted to pasture ($r = 0.17$, $P < 0.01$), higher in intensive farms ($r = 0.42$, $P < 0.01$) than in semiintensive ($r = 0.38$, $P < 0.01$). The purchase of dry matter per ton of quota does not differ between production systems, with average values of 611 and 629 kg in the intensive or intensive respectively. In both systems, the purchase of food per hectare for dairy cows is positively related to the milk quota ($r = 0.57$, $P < 0.01$) between the first and ($r = 0.53$, $P < 0.01$) the latter. For all farms increments of 1 cow milk increases the purchase of 1.16 kg dry matter in t^{-1} share and 1 hectare of maize the decrease of 6.9 kg t^{-1} . The dry matter production for own share t^{-1} decreases with increasing 1.85 kg dairy cow and -0.88 kg t^{-1} an hectare of corn. The percentage of net energy self produced milk differs between systems ($P < 0.001$), with mean values of 31.2% in the intensive and 36.1% for the semiintensive.

The percentage of N purchased and own produced per year is obtained 77.7-24.4% and 63.1-36.5% in the intensive and semiintensive respectively. The N recovered in milk is higher in the intensive ($P < 0.001$), with average rates of 22.2% in the first and 19.3% the latter. The percentage of phosphorus purchased is higher in intensive (71.2%) and 58.2% for the semi. On the contrary, the production is superior in their own *3ltimos* ($P < 0.001$), as recovered in the milk ($P < 0.001$), with average percentages of 36.9% and 27.3% in those intensives.

The N purchased per hectare in both systems is 672-337 kg, no differences on self-produced the 201-98 and 192-179 kg recovered in milk ($P < 0.001$). For P, the results showed differences between the systems purchased and recovered in milk ($P < 0.001$), without which the production itself.

The acquisition of N per ton of quota is higher in the intensive ($P < 0.001$), with mean values of 21.2 and 17.6 kg t^{-1} the semiintensive, with no differences between systems for P (2.96 and 2.74 kg t^{-1}) in the intensive and semiintensive respectively. The N and P differ own production systems ($P < 0.001$), 13.9-1.95 kg t^{-1} in the semiintensive and 7.27-1.31 kg t^{-1} in the intensive.

Keywords: food, purchase, share, dairy, nutrition, system, area, production itself.

1. Introducción

Los sistemas productores de leche son cada vez más dependientes de la compra de alimentos a medida que incrementa la carga ganadera. En Cantabria, la mayoría del forraje administrado a las vacas es conservado en forma de ensilados, entre otras razones, el cambio en los sistemas de alimentación (carro mezclador); presencia de empresas de servicio especializadas en la recolección y disponer de un alimento similar en el tiempo. Con este sistema de alimentación se consiguen dietas más uniformes; equilibrio en los procesos y productos finales de la digestión; se evitan las inclemencias climatológicas; mejoras en la síntesis de proteína microbiana y equilibrio en la relación energía fermentable y proteína degradable a nivel ruminal. Por el contrario, cuando la hierba se administra en verde (semiintensivos, alimentación disociada), los contenidos de proteína bruta, digestibilidad y energía metabolizable son mayores que en los ensilados, atribuido al menor grado de lignificación, aunque variable en el tiempo. Además, durante el proceso de ensilado, parte del N proteico se transforma en amoníaco, poco utilizado por los microbios ruminales, con la consiguiente pérdida de proteína.

Estas circunstancias y la necesidad de disponer de alimentos más digestibles con mayor potencial productivo, unido a elevadas densidades ganaderas, originan mayores compras de alimentos en forma de forrajes y concentrados.

En la actualidad, los sistemas de producción de leche en la Cornisa Cantábrica se clasifican en: *Intensivos (I)* y *Semiintensivos (S)* principalmente y, en menor medida, los extensivos; mientras, en la mayoría del territorio español son puramente intensivos. La producción unitaria en los intensivos oscila de 8000 a 10000 kg vaca, y la alimentación es una mezcla al 50% de forraje y concentrado, suministrada en carros mezcladores o disociada. Los componentes forrajeros de la ración son mayoritariamente ensilados de hierba, maíz y alfalfa deshidratada. El porcentaje de gastos que representa la alimentación varía de 53 a 55% (Baucells, 1994); sin embargo, Maynegre (2005) señala porcentajes del 59% para el trienio 2002-2004. No obstante, los consumos de concentrado por vaca han incrementado en los últimos años. Por ejemplo, en Asturias (Álvarez *et al.*, 2005) se observaron incrementos de 976 kg de concentrado por vaca y año en el cuatrienio 1994-1998 (2706-3682 kg) y la producción de leche 1218 kg vaca y año (6177-7395 kg); lo que representa 1.24 kg de leche kg^{-1} concentrado.

Los semiintensivos se localizan mayoritariamente en zonas de clima atlántico (Norte de España), que, debido a su generosa climatología, la producción de forraje es menos costosa. Son explotaciones que disponen de base territorial y basan su alimentación en el uso de forrajes propios, principalmente hierba verde administrada en el pesebre durante la primavera y verano; por el contrario, los forrajes mayoritarios en invierno son ensilados de hierba y maíz, combinados con cultivos forrajeros de invierno como el raigrás italiano. El consumo de concentrado por vaca y día varía de 5 a 10 kg, administrados por separado, representando un consumo anual de 2648 kg en 1994 y 3263 kg en 1998, para producciones de 5774 y 6645 kg de leche respectivamente (Álvarez *et al.*, 2005). De este modo, la respuesta marginal por kg de concentrado añadido en el citado período fue de 1.41 kg de leche kg^{-1} de concentrado.

El objetivo de este capítulo se centra en determinar la ingestión, compra y de producción propia para la materia seca, energía, nitrógeno y fósforo en sistemas de producción de leche intensivos y semiintensivos, así como analizar las variables más relacionadas por hectárea y cuota de leche.

2. Material y Métodos

A partir de la composición química de las dietas, ingestión de materia seca y número de vacas lactantes de cada explotación se estima la ingestión de nutrientes, la comprada (concentrados y forrajes) y la producida en la explotación para la materia seca (MS), energía neta leche (ENL), nitrógeno (N) y fósforo (P). De igual manera, para el conjunto de animales presentes en la explotación se estimó el nitrógeno (N) y fósforo (P) dentro de cada tipo de animal (vacas lecheras, vacas secas, novillas de 12 a 24 meses y novillas menores de un año) de cada sistema productivo (intensivo vs. semiintensivo) por año, hectárea y cuota lechera.

3. Resultados y discusión

3.1. Ingestión, compra y producción de alimentos propios (vacas de leche)

3.1.1. Materia seca (kg)

El consumo medio de materia seca, energía neta leche, nitrógeno y fósforo por las vacas lactantes, año y explotación es de 626072 ± 311489 kg; 1002.4 ± 520.6 Gcal; 16552 ± 9098 kg y 2642 ± 1535 kg (Tablas 1, 3, 5 y 9) respectivamente. La Tabla 1 y la Figura 1 representan las diferencias entre sistemas de producción, mayor en los intensivos ($P < 0.001$), atribuido al superior número de vacas en ordeño 91 vs. 53 ($P < 0.001$). En cualquier caso, el porcentaje de materia seca comprada respecto a la total ingerida, es del 74.3% en los intensivos y 64.8% los

semiintensivos ($P < 0.001$); sin diferencias para la materia seca de producción propia (Tabla 1), con valores medios de $6418 \text{ kg MS ha}^{-1}$ o 62.7% de la materia seca recolectada por hectárea. Este porcentaje ha sido calculado en base al total de las UGM presentes en la explotación (valor medio 127 ± 61), de las cuales, 79 son vacas productoras de leche, estimándose producciones de materia seca por hectárea de 10317 kg , incluida la hierba y maíz.

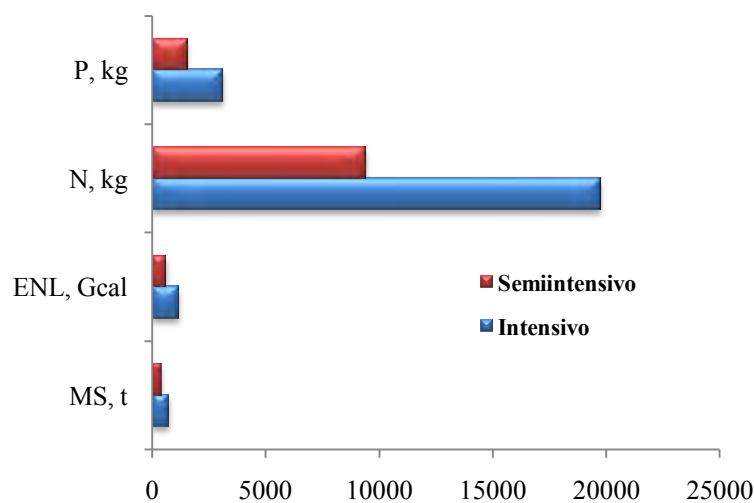
A nivel de conjunto, la materia seca ingerida de producción propia por año en las vacas de ordeño se relacionó mejor con la superficie de maíz ($r=0.42$, $P < 0.01$) que la de pradera ($r=0.17$, $P < 0.01$), atribuido a la mayor producción por hectárea. Entre sistemas de producción lechera, la superficie de maíz presenta superior correlación en los semiintensivos ($r=0.42$, $P < 0.01$) que en los intensivos ($r=0.38$, $P < 0.01$), pese a la mayor proporción de superficie cultivada en estos últimos (39%) y 20.1% los semiintensivos.

Tabla 1.- Materia seca ingerida, comprada y de producción propia para las vacas de ordeño por año según el sistema de producción

	C	I	S	Std	P
MS ingerida, kg año^{-1}	626072	728672	395233	311489	*
MS comprada, kg año^{-1}	452409	540868	253377	242149	***
MS explotación, kg año^{-1}	173663	187803	141846	110366	NS
MS ingerida, kg ha^{-1}	23785	26826	16943	18189	***
MS comprada, kg ha^{-1}	17367	20197	10999	13606	***
MS explotación, kg ha^{-1}	6418	6628	5944	5769	NS
MS ingerida Cuota, kg t^{-1}	883	819	1027	217	***
MS comprada Cuota, kg t^{-1}	617	611	629	178	NS
MS explotación. Cuota, kg t^{-1}	266	207	397	154	***

C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviación estándar; P: Nivel de significación * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$; NS: no significativo

Figura 1.- Ingestión de materia seca, energía neta leche, nitrógeno y fósforo por año en las vacas de leche



La materia seca ingerida de producción propia y por hectárea aumenta al incrementar el número de vacas lecheras ($r=0.52$, $P<0.01$) y, en menor medida, la superficie de la explotación ($r=0.18$, $P<0.01$). En tres explotaciones no siembran maíz, y quienes lo hacen, sólo dos lo rotan con cultivos forrajeros de invierno, principalmente cereales de invierno (avena) asociada con una leguminosa (veza) o, solamente cereal (triticale o avena). Estas rotaciones más intensivas favorecen mayor producción de forraje y menor dependencia del exterior. Sin embargo, no creemos que este tipo de rotación (maíz y triticale) pueda justificar la menor compra de alimentos, sino asociado al aumento de cuota, por añadidura más animales por hectárea, incrementándose la excreción de N y P.

La compra de alimentos por tonelada de cuota no difiere entre sistemas de producción, con valores medios de 611 y 629 kg (Tabla 1). En ambos sistemas, la compra de alimentos por hectárea está positivamente relacionada con la cuota láctea ($r=0.57$, $P<0.01$) en los intensivos y ($r=0.53$, $P<0.01$) los semiintensivos. Positivamente con el número de vacas lactantes los intensivos ($r=0.64$, $P<0.01$) y ($r=0.66$, $P<0.01$) los semiintensivos, sin relaciones significativas la superficie total de la explotación en los intensivos y, $r=-0.30$, $P<0.01$ los semiintensivos, lo que implica menor compra de alimentos al aumentar la superficie de la explotación. En ambos sistemas, la superficie de maíz para ensilado no presenta relación significativa respecto a la compra de alimentos.

Para el conjunto de explotaciones, incrementos de una vaca lechera y una hectárea la superficie de maíz aumenta la compra de materia seca en 1.16 y 1.41 kg por tonelada de leche e incrementos de una hectárea en la superficie total de la explotación pueden disminuir la compra de materia seca en -6.9 kg t^{-1} de leche. Así, las ecuaciones resultantes son del tipo:

Kilogramos de materia seca comprada por tonelada de cuota

$$\text{Conjunto} = 721.4 (30) + 1.16 (0.34) \text{ Vacas ordeño} + 1.41 (1.3) \text{ Superficie maíz} - 6.9 (1.51) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 166 \text{ } r^2=0.14$$

$$\text{Intensivos} = 711.5 (35) - 0.105 (0.33) \text{ Vacas ordeño} - 1.83 (1.3) \text{ Superficie maíz} - 1.8 (1.5) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 146 \text{ } r^2=0.13$$

$$\text{Semiintensivos} = 877.6 (60) + 8.4 (0.78) \text{ Vacas ordeño} - 7.0 (2.7) \text{ Superficie maíz} - 32.2 (2.7) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 121 \text{ } r^2=0.70$$

La materia seca ingerida de producción propia en las vacas lecheras y tonelada de cuota para el conjunto de las explotaciones, señalan que aumentos de 1 vaca lechera y 1 hectárea la superficie de maíz la reduce en -1.85 y, -0.88 y la aumenta la superficie total, en 1.72 kg según las ecuaciones:

Kilogramos de materia seca ingerida de producción propia por tonelada de cuota:

$$\text{Conjunto} = 370.5 (25.9) - 1.85 (0.29) \text{ Vacas ordeño} - 0.88 (1.12) \text{ Superficie maíz} + 1.72 (1.3) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 143 \text{ } r^2=0.15$$

$$\text{Intensivos} = 139.3 (26.2) - 0.67 (0.24) \text{ Vacas ordeño} - 2.69 (0.96) \text{ Superficie maíz} + 4.7 (1.1) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 107 \text{ } r^2=0.10$$

$$\text{Semiintensivos} = 706.5 (53) - 7.1 (0.69) \text{ Vacas ordeño} + 9.2 (2.3) \text{ Superficie maíz} + 1.68 (2.4) \text{ Superficie total} \\ (\text{ha}^{-1}); \pm 107 \text{ } r^2=0.55$$

De igual modo, para el conjunto de explotaciones, incrementos de una vaca por hectárea el consumo de materia seca de producción propia aumenta en 104.8 kg; la superficie total la disminuye en -144.7 kg y la incrementa en 67 kg la superficie dedicada a maíz.

Kilogramos de materia seca ingerida de producción propia por hectárea:

$$\text{Conjunto} = 1805.6 (878) + 104.8 (9.9) \text{ Vacas ordeño} - 144.7 (44.1) \text{ Superficie total} + 67 (37.9) \\ \text{Superficie maíz}; \pm 4842 \text{ } r^2=0.30$$

$$\text{Intensivos} = -928 (1303) + 133 (12.3) \text{ Vacas ordeño} - 166.8 (57.7) \text{ Superficie total} (\text{ha}^{-1}) + 95.5 (41) \\ \text{Superficie maíz}; \pm 5321 \text{ } r^2=0.40$$

$$\text{Semiintensivos} = \text{NS}$$

La Tabla 2 señala el orden de acción para cada una de las variables independientes representado por los coeficientes β , incrementando o disminuyendo los kilogramos de materia seca comprada; la ingerida de producción propia y la ingerida por hectárea por tonelada de cuota dentro de cada modelo productivo. Para la comprada, la variable más relevante que origina incrementos es el número de vacas lecheras ($\beta=0.24$) y la desciende la superficie total ($\beta=-0.57$) para el conjunto de explotaciones, con diferencias significativas entre sistemas de producción. Para el consumo de materia seca de producción propia por tonelada de leche, el número de vacas lecheras ($\beta=-0.44$) la reduce. En los sistemas intensivos, la variable de primer orden que aumenta el consumo de materia seca de producción propia por hectárea es el número de vacas lecheras ($\beta=0.73$) y la superficie de maíz ($\beta=0.23$), sin relaciones significativas en los semiintensivos.

Tabla 2.- Orden de acci3n de mayor a menor de los coeficientes β

Orden acci3n	Incrementa	Decrece
	Materia seca comprada por tonelada de cuota	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Vacas leche (0.24)	Superficie total (-0.57)
2	Superficie ma3z (0.118)	
	<u>Intensivos</u>	
1	Vacas leche (0.02)	Superficie total (-0.18)
2		Superficie ma3z (-0.19)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Vacas leche (0.70)	Superficie total (-0.73)
2		Superficie ma3z (-0.17)
	Materia seca producci3n propia por tonelada de cuota	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Superficie total (0.16)	Vacas leche (-0.44)
2		Superficie ma3z (-0.08)
	<u>Intensivos</u>	
1	Superficie total (0.65)	Vacas leche (-0.22)
2		Superficie ma3z (-0.41)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Superficie ma3z (0.31)	Vacas leche (-0.83)
2	Superficie total (0.053)	
	Materia seca producci3n propia por hect3rea	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Vacas leche (0.67)	Superficie total (-0.37)
2	Superficie ma3z (0.17)	
	<u>Intensivos</u>	
1	Vacas leche (0.73)	Superficie total (-0.38)
2	Superficie ma3z (0.23)	

3.1.2. Energ3a neta leche, (ENL, Gcal)

Al igual que el consumo de materia seca, la energ3a neta de leche (ENL) difiere entre sistemas de producci3n ($P < 0.05$), mayor en los intensivos (1168.2 Gcal) que los semiintensivos (Tabla 3). El porcentaje de ENL total ingerida de producci3n propia respecto a la total ingerida es del 31.2% en los intensivos y 36.1% los semiintensivos. Por el contrario, la ENL comprada por a3o (forrajes y concentrados) es superior en los intensivos (Tabla 3), atribuido al mayor n3mero de vacas lecheras, si bien, los coeficientes de correlaci3n resultan similares $r = 0.97$, $P < 0.01$ en aquellos y $r = 0.93$, $P < 0.01$ los semiintensivos.

Tabla 3.- Energía Neta Leche ingerida (Gcal), la comprada, de producción propia y la recuperada en leche en las vacas de ordeño y año entre sistemas de producción

	C	I	S	<i>Std</i>	P
ENL ingerida, Gcal año ⁻¹	1002	1168	629	520	*
ENL comprada, Gcal año ⁻¹	745	886	429	402	***
ENL explotación, Gcal año ⁻¹	321	365	227	272	NS
ENL leche, Gcal año ⁻¹	641	775	339	367	***
ENL ingerida, Gcal ha ⁻¹	38.1	43.1	26.9	30.3	***
ENL comprada, Gcal ha ⁻¹	28.1	32.3	18.7	21.7	***
ENL explotación, Gcal ha ⁻¹	12.6	14.1	9.3	16.4	**
ENL leche Gcal ha ⁻¹	23.9	28.2	14.3	19.8	***
ENL ingerida Cuota, Gcal t ⁻¹	1.39	1.29	1.63	0.35	***
ENL comprada Cuota, Gcal t ⁻¹	1.01	0.99	1.07	0.28	***
ENL explotación Cuota, Gcal t ⁻¹	0.47	0.41	0.67	0.33	***
ENL leche Cuota, Gcal t ⁻¹	0.86	0.85	0.88	0.18	NS

C: conjunto explotaciones; **I:** intensivas; **S:** semiintensivas; **Std:** desviación estándar; **P:** nivel de significación
* P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo

Para el conjunto de explotaciones, la ENL de producción propia por año está mejor relacionada con la superficie de maíz ($r=0.28$, $P<0.01$) que la de pradera ($r=0.11$, $P<0.01$), imputable al mayor contenido energético de sus ensilados (10.8 ± 0.53 vs. 8.97 ± 0.66 MJ kg⁻¹ MS) y superior producción. Para las condiciones de Cantabria, Salcedo y Sarmiento (2002) señalan rendimientos medios para el maíz de 11124 y 14645 kg MS en los estados de madurez pastoso y vítreo.

La menor compra de energía por tonelada de cuota se registra en los intensivos (0.99 ± 0.24 Gcal) que los semiintensivos (1.07 ± 0.36 Gcal) (Tabla 3). En las explotaciones intensivas la compra de energía está negativamente relacionada con la cuota de la explotación ($r=-0.43$, $P<0.01$) y positivamente ($r=0.33$, $P<0.01$) en las semiintensivas con el número de vacas lecheras. Respecto a la superficie total de la explotación, las semiintensivas presentan relaciones negativas ($r=-0.58$, $P<0.01$), menores en las intensivas ($r=-0.14$, $P<0.05$) y la superficie dedica a maíz para ensilado, los intensivos presentan relaciones negativas ($r=-0.23$, $P<0.01$), sin efectos significativos en las semiintensivas, lo que implica menor energía extra comprada al aumentar la superficie de la explotación.

Las regresiones obtenidas para la compra de ENL por tonelada de cuota y año en el conjunto de explotaciones, reflejan aumentos de 45.2 y 7.3 Mcal por incremento de una vaca lechera por hectárea y año y por hectárea de superficie total respectivamente. La superficie de maíz y la cuota la disminuyen en -5.62 y 0.37 Mcal al incrementar 1 tonelada de leche y 1 hectárea de maíz respectivamente. Entre sistemas, el aumento de una vaca lechera por hectárea y año incrementa la compra en 36.4 Mcal en los intensivos y 77.1 Mcal los

semiintensivos. Por el contrario, en los intensivos, la cuota la rebaja (-0.44 Mcal) y +1.06 Mcal los semiintensivos. La menor pendiente de la variable superficie ma3z en los semiintensivos (-2.79) implica una menor dependencia del mercado.

Mcal de ENL comprada por tonelada de cuota:

$$\text{Conjunto} = 1005 (51) + 45.2 (9.3) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 5.62 (2.1) \text{ Superficie ma\~z} + 7.3 (2.5) \\ \text{Superficie total} - 0.37 (0.057) \text{ Cuota}; \pm 261 \text{ } r^2=0.17$$

$$\text{Intensivos} = 890 (48) + 36.4 (7) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 11.9 (1.7) \text{ Superficie ma\~z} + 15.8 (2.1) \\ \text{Superficie total} - 0.44 (0.04) \text{ Cuota}; \pm 190 \text{ } r^2=0.39$$

$$\text{Semiintensivos} = 1599 (194) + 77.1 (54) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 2.79 (5.4) \text{ Superficie ma\~z} - 53.5 (9.8) \\ \text{Superficie total} + 1.06 (0.4) \text{ Cuota}; \pm 236 \text{ } r^2=0.59$$

Para el conjunto de explotaciones, aumentos de una vaca lechera y una hect3rea de superficie total, originan incrementos en el consumo de ENL de producci3n propia por tonelada de leche y a\~o de 33.2 y 2.7 Mcal la superficie total; la superficie de ma3z y la cuota la disminuyen en -0.15 y -0.34 Mcal.

Mcal de ENL ingerida de producci3n propia por tonelada de cuota:

$$\text{Conjunto} = 554.9 (62) + 33.2 (11.2) \text{ Vacas } ha^{-1} - 0.15 (2.4) \text{ Superficie ma\~z} + 2.7 (3) \text{ Superficie total} \\ - 0.34 (0.068) \text{ Cuota}; \pm 313 \text{ } r^2=0.11$$

$$\text{Intensivos} = 303 (77) + 42.5 (11.2) \text{ Vacas } ha^{-1} - 6.1 (2.7) \text{ Superficie ma\~z} + 10.2 (3.3) \text{ Superficie total} \\ - 0.33 (0.068) \text{ Cuota}; \pm 304 \text{ } r^2=0.11$$

$$\text{Semiintensivos} = 1268 (209) + 84.6 (58) \text{ Vacas } ha^{-1} + 25.5 (5.9) \text{ Superficie ma\~z} - 13.7 (10) \text{ Superficie total} \\ - 0.71 (0.068) \text{ Cuota}; \pm 254 \text{ } r^2=0.37$$

La ENL ingerida de producci3n propia por hect3rea y a\~o en las vacas lecheras en el conjunto de explotaciones se observ3, que incrementos de una hect3rea de superficie de ma3z y de la total, el consumo de ENL aumenta en 29.3 y 153.4 Mcal ha^{-1} a\~o; la cuota y las vacas por hect3rea la disminuyen en -7.1 y 6427 Mcal t^{-1} a\~o⁻¹ respectivamente.

Mcal de ENL ingerida de producci3n propia por hect3rea:

$$\text{Conjunto} = -6421 (2047) - 6427 (370) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 7.1 (2.2) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 153 (100) \\ \text{Superficie total} + 29.3 (95) \text{ Superficie ma\~z}; \pm 10315 \text{ } r^2=0.61$$

$$\text{Intensivos} = -9312 (2988) + 6712 (432) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 7.4 (2.6) \text{ Cuota } (t^{-1}) + 239.4 (129) \\ \text{Superficie total} - 46.9 (104) \text{ Superficie ma\~z}; \pm 11730 \text{ } r^2=0.64$$

$$\text{Semiintensivos} = 6666 (3498) + 2586 (979) \text{ Vacas orde\~no } ha^{-1} - 11.1 (7.2) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 43 (177) \\ \text{Superficie total} + 490 (98) \text{ Superficie ma\~z}; \pm 4248 \text{ } r^2=0.29$$

La Tabla 4 se\~ala el orden de acci3n para cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo la ENL

comprada, la ingerida de producci3n propia por tonelada de cuota y la ingerida por hect3rea de cada modelo productivo. Para la comprada por tonelada de cuota en el conjunto de explotaciones la variable m3s relevante que la incrementa es el n3mero de vacas ha⁻¹ ($\beta=0.35$), la disminuye la cuota ($\beta=-0.64$) y la superficie de ma3z ($\beta=-0.29$). De igual forma, el n3mero de vacas por hect3rea ($\beta=0.23$) incrementa la ENL de producci3n propia por tonelada de leche y la cuota la desciende ($\beta=-0.50$). El consumo de ENL ingerida de producci3n propia por hect3rea la incrementa el n3mero de vacas lecheras ha⁻¹ ($\beta=0.88$) los intensivos y $\beta=0.89$ los semiintensivos respectivamente y la hace decrecer la cuota lechera y la superficie de ma3z con coeficientes β muy similares (Tabla 4).

Tabla 4.- Orden de acci3n de mayor a menor de los coeficientes β

Orden acci3n	Incrementa	Decrece
	ENL comprada por tonelada de cuota	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.35)	Cuota (-0.64)
2	Superficie total (0.38)	Superficie ma3z (-0.29)
	<u>Intensivos</u>	
1	Superficie total (0.99)	Cuota (-0.90)
2	Vacas leche ha ⁻¹ (0.38)	Superficie ma3z (-0.83)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Cuota (0.42)	Superficie total (-0.74)
2	Vacas leche ha ⁻¹ (0.19)	Superficie ma3z (-0.004)
	ENL producci3n propia por tonelada de cuota	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.23)	Cuota (-0.50)
2	Superficie total (0.12)	Superficie ma3z (-0.007)
	<u>Intensivos</u>	
1	Superficie total (0.49)	Cuota (-0.51)
2	Vacas leche ha ⁻¹ (0.34)	Superficie ma3z (-0.32)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Superficie ma3z (0.43)	Cuota (-0.32)
2		Vacas leche ha ⁻¹ (-0.24)
		Superficie total (-0.22)
	ENL producci3n propia por hect3rea	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.88)	Cuota (-0.14)
2	Superficie total (0.14)	
	Superficie ma3z (0.03)	
	<u>Intensivos</u>	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.89)	Cuota (-0.19)
2	Superficie total (0.19)	Superficie ma3z (-0.04)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Superficie ma3z (0.53)	Cuota (-0.32)
2	Vacas leche ha ⁻¹ (0.47)	Superficie ma3z (-0.04)

3.1.3 Nitrógeno, (kg)

El N ingerido, el comprado en forma de forrajes y concentrados, el de producción propia y el recuperado en leche para todos los animales presentes en la explotación (vacas lecheras, vacas secas, novillas de 12 a 24 meses y menores de 1 año) entre sistemas de producción viene indicado en la Tabla 5 y la distribución por clase de animal en la Tabla 6 y Figura 2.



Alimentos

Tabla 5.- Nitrógeno ingerido, comprado, producido en la explotación y el recuperado en leche según el tipo de animal y sistema de producción

	Vacas lecheras				Vacas secas				Novillas 12 a 24 meses				Novillas < 1 año			
	C	I	S	Std	C	I	S	Std	C	I	S	Std	C	I	S	Std
N ingerido, kg año ⁻¹	16552	19717	9431	9098	1062	1120	933	586	2186	2589	1136	1810	1690	1915	1107	1078
N comprado, kg año ⁻¹	13480	16568	6531	8265	482	609	199	447	1095	1337	360	1178	967	1026	817	609
N explotación, kg año ⁻¹	3444	3702	2861	2817	580	511	734	498	1091	1212	776	879	722	889	290	511
N leche, kg año ⁻¹	4538	5516	2338	266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ingerido, kg ha ⁻¹	615	710	402	463	39.4	36.5	45.9	23.7	66	72	52	42	54	54	54	28
N comprado, kg ha ⁻¹	499	595	283	404	15.9	18.1	11.7	12	32	38	16	29	31	27	40	21
N explotación, kg ha ⁻¹	134	142	115	150	23.5	18.4	34.7	23.5	34	34	36	26	23	27	14	22
N leche, kg ha ⁻¹	168	200	98	139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ingerido Cuota, kg t ⁻¹	22.5	21.9	23.8	5.4	1.46	2.39	1.75	1.13	2.9	2.8	3.3	1.3	2.3	2.1	3.04	1.2
N comprado Cuota, kg t ⁻¹	17.4	18.1	15.7	4.7	0.65	0.67	0.63	0.44	1.2	1.4	0.86	0.69	1.44	1.15	2.19	1.06
N explotación Cuota, kg t ⁻¹	5.2	4.0	7.8	3.6	1.09	0.79	1.75	1.08	1.66	1.35	2.4	1.4	0.95	0.98	0.85	0.84
N leche Cuota, kg t ⁻¹	6.0	6.0	6.0	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

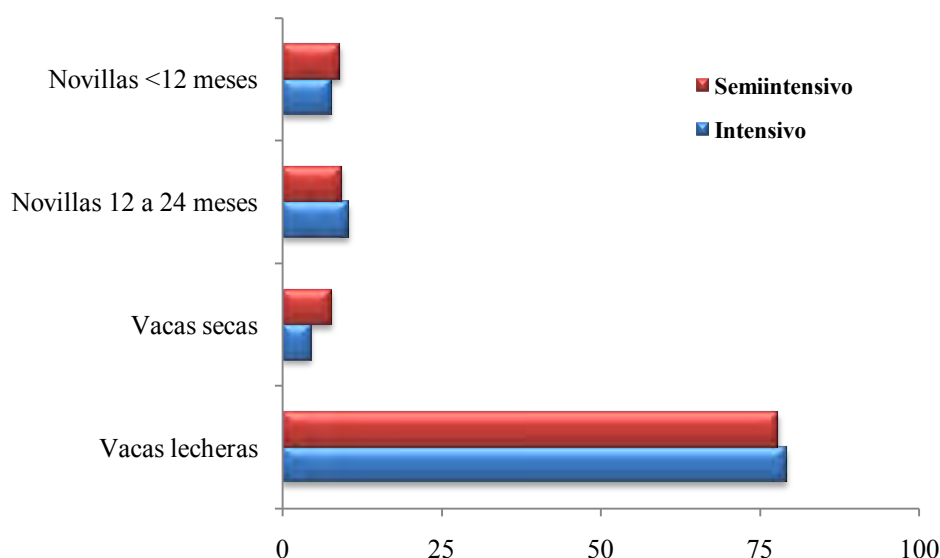
C: conjunto explotaciones; **I:** intensivas; **S:** semiintensivas; **Std:** desviación estándar

Tabla 6.- Nitrógeno ingerido, comprado, producido en la explotación y el recuperado en leche para todos los animales y sistema de producción

	C	I	S	Std	P
N ingerido, kg año ⁻¹	20946	24874	12109	11430	***
N comprado, kg año ⁻¹	15736	19330	7648	9767	***
N explotación, kg año ⁻¹	5581	6067	4422	3720	***
N leche, kg año ⁻¹	4538	5516	2338	2636	***
N ingerido, kg ha ⁻¹	758	860	530	492	***
N comprado, kg ha ⁻¹	569	672	337	424	***
N explotación, kg ha ⁻¹	188	192	179	161	NS
N leche, kg ha ⁻¹	169	201	98	139	***
N ingerido Cuota, kg t ⁻¹	29.2	28.2	31.8	6.9	***
N comprado Cuota, kg t ⁻¹	20.3	21.2	17.6	5.8	***
N explotación Cuota, kg t ⁻¹	9.03	7.27	13.9	5.0	***
N leche Cuota, kg t ⁻¹	6.02	6.02	6.02	1.2	NS

C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviación estándar; P: nivel de significación
 *** P<0.001; NS: no significativo

Figura 2.- Reparto porcentual del N ingerido por año entre animales y sistema de producción



El mayor consumo de N en las explotaciones intensivas se debe, en parte, al superior porcentaje de reposición (31.5%, novillas de 12 a 24 meses y 36% las menores de 1 año), frente al 22.5% y 30% en las semiintensivas; imputable al menor número de partos por vaca en las primeras 2.24 ± 0.22 y 2.84 ± 0.37 las segundas. En cada modelo productivo y por vaca lactante (incluidas las vacas secas) existen 0.67 novillas mayores y menores de un año en las intensivas y 0.37 en las semiintensivas.

El consumo de N por UGM y año es de 117 ± 23 kg en los intensivos y de 101 ± 16 kg los semiintensivos. Por el contrario, la ingestión de N y producción de leche corregida al 4% graso son 213 ± 37 y 11300 kg vaca año en los primeros y 175 ± 22 y 8833 kg los segundos.

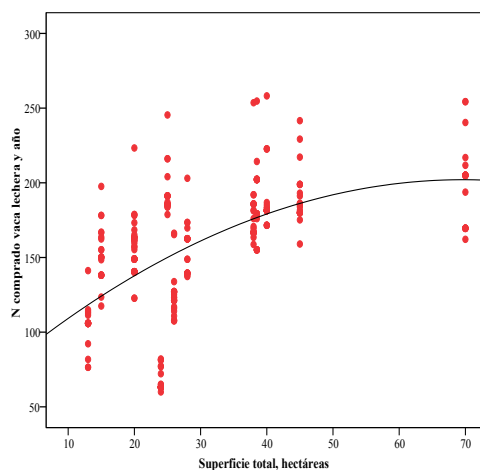
Ingestiones y producciones superiores en ambos casos a los modelos pastoriles (Ferris *et al.*, 2002), quienes se~alan ingestiones medias de 143 kg de N vaca a~o para producciones de 7936 kg de leche en 305 d3as; 135 kg y mayor producci3n (5427 kg de leche a 305 d3as) en sistemas de alimentaci3n con ensilados y 146 y 6355 kg en condiciones de pastoreo con m3nimo aporte de concentrados (Salcedo, 2006) y superiores a los intensivos se~alados por Kedah y Keady (2002 y 2003) en raciones totales mezcladas de 125 kg y 7215 kg de leche en 305 d3as. En el presente trabajo, el consumo de N vaca y a~o est3 pobremente relacionado con la producci3n de leche corregida al 4% graso en los sistemas intensivos, sin relaciones en los semiintensivos:

$$\text{Intensivos} = 107.9 (17.4) + 0.009 (0.002) (\text{kg leche al } 4\% \text{ graso}); \pm 34 \text{ } r^2=0.15$$

$$\text{Semiintensivos} = \text{NS}$$

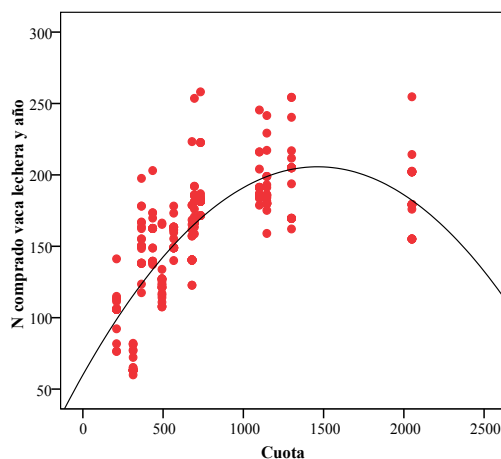
El N comprado por vaca lechera y a~o es mayor en los sistemas intensivos ($P<0.001$), con valores medios de 177 ± 26 kg y 113 ± 34 los semiintensivos. Las variables m3s relacionadas por orden de magnitud con la compra de N es la cuota l3ctea ($r=0.61$, $P<0.01$); UGM totales ($r=0.59$, $P<0.01$) y la superficie total ($r=0.55$, $P<0.01$). Para 3sta 3ltima, la tendencia es lineal hasta 40 hect3reas (Figura 3); la cuota aumenta hasta 750 t^{-1} (Figura 4); la superficie de ma3z es lineal hasta 50 ha^{-1} (Figura 5) y el n3mero de vacas lecheras por hect3rea hasta 4.5 (Figura 6).

Figura 3.- Relaci3n entre la superficie total (ha^{-1}) y el N comprado vaca y a~o



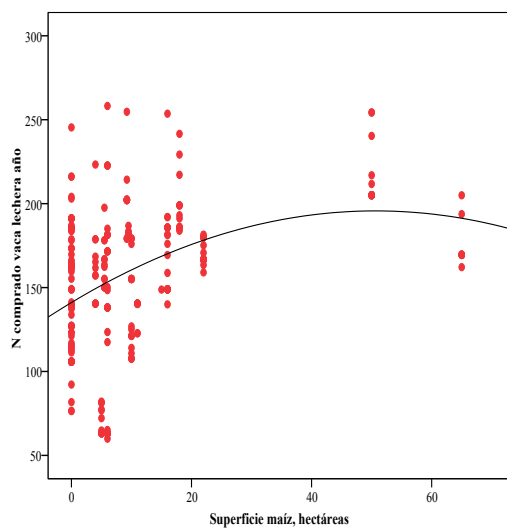
$$\text{Kg N comprado vaca a~o} = 75.4 (10) + 3.63 (0.56) \text{ ha} - 0.026 (0.007) \text{ ha}^2; \pm 34 \text{ } r^2=0.34$$

Figura 4.- Relaci3n entre la cuota l3ctea (t^{-1}) y la compra de N vaca a3o



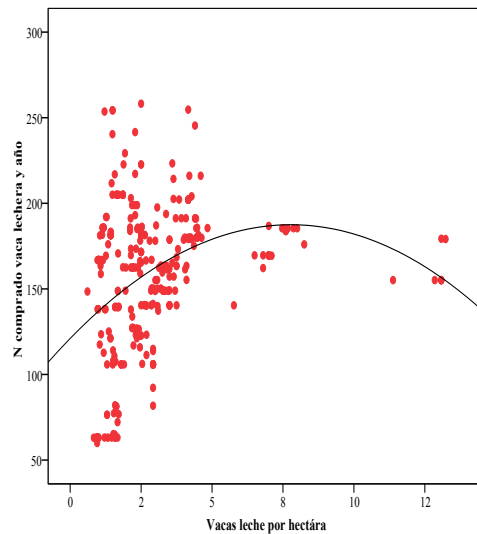
$$\text{Kg N comprado vaca a3o} = 59.9 (5.2) + 0.199 (0.01) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 0.000068 (0.000005) \text{ Cuota}^2; \pm 26.4 \text{ } r^2=0.60$$

Figura 5.- Relaci3n entre la superficie de ma3z y la compra de N vaca a3o



$$\text{Kg N comprado vaca a3o} = 141 (3.4) + 2.15 (0.44) \text{ Ha ma3z} - 0.021 (0.008) \text{ Ha ma3z}^2; \pm 38.6 \text{ } r^2=0.13$$

Figura 6.- Relación entre el número de vacas por hectárea y la compra de N vaca y año



$$\text{Kg N comprado vaca año} = 121 (6.5) + 17.1 (3.06) \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 1.09 (0.24) \text{ Vacas leche ha}^2; \\ \pm 39.4 \quad r^2=0.11$$

El N ingerido de producción propia por hectárea y año para todos los animales presentes en la explotación es de 192 ± 189 y 179 ± 62 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente (Tabla 6). Estos bajos consumos indican: i) parte de la superficie sólo se siembra una vez para maíz sin rotar con otros cultivos de invierno, que pueden retroalimentar parte del estiércol generado en la explotación, aumentando la producción y disminuyendo las entradas de nitrógeno y fósforo como alimentos o fertilizantes; ii) el maíz *per se* es un forraje de bajo contenido proteico y, iii) la hierba destinada para ensilado es aprovechada en estado avanzado de madurez y bajo contenido en nitrógeno. De esta forma, los $10317 \text{ kg de MS ha}^{-1}$ señalados anteriormente, contribuyen con 192 kg de N en los intensivos y 179 los semiintensivos al total ingerido, equivalente a un alimento del 11.6% de proteína sobre materia seca. Estas producciones son inferiores a $299 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en praderas a pastoreo y $10770 \text{ kg MS ha}^{-1}$ de pasto neto (Salcedo, 2006) o 15227 kg de MS y $237 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en rotaciones de veza-avena y maíz sin aplicación de purín o $19721\text{-}321$ y $20437\text{-}320 \text{ kg MS y N ha}^{-1}$ en la asociación triticale x habines + maíz y triticale x guisantes + maíz fertilizados con 80 t^{-1} hectárea año como valores medios de dos años obtenidos en este proyecto (ver Tabla 21, Capítulo 11 “*Eficiencia de utilización del N y P en la rotación de forrajes de invierno y verano abonados con purín*”).

3.1.3.1. Nitrógeno vacas lecheras, (kg)

El análisis de regresión señala que la compra de N por tonelada de cuota aumenta 0.24 kg al incrementar una vaca lechera por año y lo disminuye, -0.017 kg la cuota lechera. Entre sistemas, cada aumento de una vaca lechera la compra de N incrementa 0.53 kg en los semiintensivos y 0.21 los intensivos. Estas diferencias son atribuidas a la menor producción de leche.

Kilogramos de N comprado por tonelada de cuota para las vacas lecheras:

$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 11.4 (0.5) + 0.24 (0.014) \text{ Vacas lecheras} - 0.017 (0.001) \text{ Cuota (t}^{-1}\text{); } \pm 1.3 \text{ r}^2=0.49 \\ \text{Intensivos} &= 14.9 (0.51) + 0.21 (0.01) \text{ Vacas lecheras} - 0.017 (0.001) \text{ Cuota (t}^{-1}\text{); } \pm 2.6 \text{ r}^2=0.78 \\ \text{Semiintensivos} &= 6.76 (1.0) + 0.53 (0.05) \text{ Vacas lecheras} - 0.049 (0.006) \text{ Cuota (t}^{-1}\text{); } \pm 3.2 \text{ r}^2=0.79 \end{aligned}$$

Para el conjunto de explotaciones, incrementos de una vaca de leche y una hectárea la superficie total disminuye el N ingerido de producción propia por tonelada de leche y año en 0.025 y 0.04 kg respectivamente; por el contrario, la superficie de pradera lo aumenta en 0.06 kilogramos. Entre sistemas, cada aumento de una vaca lechera lo incrementa en 0.006 kg los intensivos y lo disminuye 0.16 kg los semiintensivos.

Kilogramos de N ingerido de producción propia (forrajes) por tonelada de cuota para las vacas lecheras:

$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 7.2 (0.63) - 0.025 (0.007) \text{ Vacas lecheras} - 0.04 (0.01) \text{ Superficie total} + 0.06 (0.02) \\ &\quad \text{Superficie pradera; } \pm 3.42 \text{ r}^2=0.14 \\ \text{Intensivos} &= 4.0 (0.71) + 0.006 (0.007) \text{ Vacas lecheras} - 0.04 (0.01) \text{ Superficie total} + 0.05 (0.22) \\ &\quad \text{Superficie pradera; } \pm 2.84 \text{ r}^2=0.10 \\ \text{Semiintensivos} &= 8.7 (1.2) - 0.163 (0.017) \text{ Vacas lecheras} + 0.51 (0.07) \text{ Superficie total} - 0.16 (0.05) \\ &\quad \text{Superficie pradera; } \pm 2.5 \text{ r}^2=0.56 \end{aligned}$$

El N ingerido de producción propia por hectárea en las vacas lecheras para el conjunto de explotaciones refleja que incrementos de una vaca lechera por hectárea y 1 tonelada de cuota origina aumentos de 45.4 y 0.07 kg respectivamente y lo rebaja en 2.6 kg una hectárea de la superficie total. Entre sistemas, aumentos de una vaca lechera por hectárea aumenta el N de producción propia en +47.1 y 45.9 kg por hectárea; por el contrario, en los intensivos la cuota la incrementa en +0.09 kg y disminuye -0.33 kg los semiintensivos.

Kilogramos de N producidos en la explotación e ingerido por hectárea para las vacas lecheras:

$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 15.5 (13.3) + 0.07 (0.018) \text{ Cuota} - 2.4 (0.47) \text{ Superficie total} + 45.4 (3.12) \\ &\quad \text{Vacas lecheras ha}^{-1}\text{; } \pm 88 \text{ r}^2=0.66 \end{aligned}$$

$$\text{Intensivos} = -15.4 (17.9) + 0.09 (0.02) \text{ Cuota} - 2.55 (0.51) \text{ Superficie total} + 47.1 (3.3) \\ \text{Vacas lecheras ha}^{-1}; \pm 92 \text{ } r^2=0.73$$

$$\text{Semiintensivos} = -58.5 (35.6) - 0.33 (0.06) \text{ Cuota} + 9.7 (1.8) \text{ Superficie total} + 45.9 (9.4) \\ \text{Vacas lecheras ha}^{-1} \pm 44; r^2=0.26$$

La Tabla 7 seala el orden de acci3n de cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de N comprado y el ingerido de producci3n propia por tonelada de leche y el consumido de producci3n propia por hect3rea y a3o, dentro de cada modelo productivo. Para la compra de N por tonelada de leche, la variable que la incrementa es el n3mero de vacas ($\beta=0.90$) y la disminuye la cuota ($\beta=-0.78$). Por lo que respecta al consumo de nitr3geno de producci3n propia, lo incrementa la superficie dedicada a pradera ($\beta=0.15$) y lo disminuye la cuota ($\beta=-0.25$). La variable de primer orden que incrementa el consumo de N de producci3n propia por hect3rea en los sistemas intensivos es el n3mero de vacas de leche por hect3rea ($\beta=0.68$) y en los semiintensivos la superficie total ($\beta=0.96$).

Tabla 7.- Orden de acci3n de mayor a menor de los coeficientes β para las vacas lecheras

Orden acci3n	Incrementa	Decrece
	Nitr3geno comprado por tonelada de cuota	
	Conjunto explotaciones	
1	Vacas leche (0.90)	Cuota (-0.78)
	Intensivos	
1	Vacas leche (0.84)	Cuota (-0.96)
	Semiintensivos	
1	Vacas leche (0.85)	Cuota (-0.32)
	Nitr3geno de producci3n propia por tonelada de cuota	
	Conjunto explotaciones	
1	Superficie pradera (0.15)	Vacas leche (-0.25)
2		Superficie total (-0.16)
	Intensivos	
1	Superficie pradera (0.16)	Superficie total (-0.22)
2	Vacas leche (0.07)	
	Semiintensivos	
1	Superficie total (0.66)	Vacas leche (-0.79)
2		Superficie pradera (-0.26)
	Nitr3geno de la explotaci3n por hect3rea	
	Conjunto explotaciones	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.68)	Superficie total (-0.24)
2	Cuota (0.24)	
	Intensivos	
1	Vacas leche ha ⁻¹ (0.68)	Superficie total (-0.22)
2	Cuota (0.26)	
	Semiintensivos	
1	Superficie total (0.96)	Cuota (-0.94)
2	Vacas leche ha ⁻¹ (0.81)	

3.1.3.2. Nitr3geno, total animales (kg)

Para el total de animales presentes en la explotaci3n (vacas lecheras, vacas secas, novillas de 12 a 24 meses y novillas menores de un a1o) los modelos obtenidos para la compra de N por tonelada de cuota, el N ingerido de producci3n propia por tonelada de leche y el ingerido de producci3n propia por hect3rea son:

Kilogramos de N comprado por tonelada de cuota:

$$\text{Conjunto} = 15.7 (0.7) - 0.018 (0.002) \text{ Cuota} + 0.15 (0.01) \text{ UGM totales} - 0.03 (0.02) \\ \text{Superficie total; } \pm 4.6 \text{ } r^2=0.37$$

$$\text{Intensivos} = 18.2 (0.7) - 0.017 (0.001) \text{ Cuota} + 0.12 (0.01) \text{ UGM totales} - 0.018 (0.02) \\ \text{Superficie total; } \pm 3.6 \text{ } r^2=0.48$$

$$\text{Semiintensivos} = 26.3 (1.3) - 0.019 (0.001) \text{ Cuota} + 0.26 (0.03) \text{ UGM totales} - 1.47 (0.09) \\ \text{Superficie total; } \pm 2.26 \text{ } r^2=0.89$$

Kilogramos de N de producci3n propia por tonelada de cuota:

$$\text{Conjunto} = 12.9 (0.7) - 0.006 (0.002) \text{ Cuota} + 0.02 (0.01) \text{ UGM totales} - 0.09 (0.02) \\ \text{Superficie total; } \pm 4.4 \text{ } r^2=0.23$$

$$\text{Intensivos} = 8.5 (0.64) - 0.007 (0.001) \text{ Cuota} + 0.059 (0.009) \text{ UGM totales} - 0.10 (0.01) \\ \text{Superficie total; } \pm 3.07 \text{ } r^2=0.29$$

$$\text{Semiintensivos} = 8.4 (1.5) - 0.032 (0.01) \text{ Cuota} - 0.09 (0.046) \text{ UGM totales} + 1.12 (0.12) \\ \text{Superficie total; } \pm 2.74 \text{ } r^2=0.74$$

Kilogramos de N producido e ingerido por hect3rea:

$$\text{Conjunto} = 129.6 (18) + 0.07 (0.03) \text{ Cuota} + 1.79 (0.31) \text{ UGM totales} - 7.4 (0.66) \\ \text{Superficie total; } \pm 121 \text{ } r^2=0.44$$

$$\text{Intensivos} = 71.7 (25.4) + 0.06 (0.04) \text{ Cuota} + 2.2 (0.35) \text{ UGM totales} - 7.8 (0.74) \\ \text{Superficie total; } \pm 129 \text{ } r^2=0.54$$

$$\text{Semiintensivos} = 148 (26.6) + 0.12 (0.09) \text{ Cuota} - 1.61 (0.51) \text{ UGM totales} + 5.3 (1.4) \\ \text{Superficie total; } \pm 57 \text{ } r^2=0.19$$

La Tabla 8 se1ala el orden de acci3n de cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de N comprado y la ingerida de producci3n propia por tonelada de leche y la ingerida de producci3n propia por hect3rea y a1o dentro de cada modelo productivo. Para la compra de N por tonelada de leche, la variable que m3s lo incrementa es el n3mero de UGM totales ($\beta=0.72$) y lo disminuye la cuota ($\beta=-0.56$). De igual forma, la variable que origina incrementos en el consumo de nitr3geno de producci3n propia por tonelada de leche en los sistemas intensivos son las UGM totales ($\beta= 0.61$) y ($\beta=0.84$) en los semiintensivos; lo

desciende la cuota láctea en los intensivos ($\beta= 0.71$) y la superficie total en los semiintensivos ($\beta= 0.19$) (Tabla 8). En los sistemas intensivos, la variable de primer orden que incrementa el consumo de N de producción propia por hectárea son las UGM totales ($\beta=0.75$) y en los semiintensivos, la superficie total ($\beta=0.42$).

Tabla 8.- Orden de acción de mayor a menor de los coeficientes β para todos los animales

Orden acción	Incrementa	Decrece
Nitrógeno comprado por tonelada de cuota		
<i>Conjunto explotaciones</i>		
1	UGM totales (0.72)	Cuota (-0.56)
2		Superficie total (-0.09)
<i>Intensivos</i>		
1	UGM totales (0.61)	Cuota (-0.71)
2		Superficie total (-0.02)
<i>Semiintensivos</i>		
1	UGM totales (0.84)	Superficie total (-0.19)
2	Cuota (0.33)	
Nitrógeno explotación por tonelada de cuota		
<i>Conjunto explotaciones</i>		
1	UGM totales (0.33)	Cuota (-0.57)
2		Superficie total (-0.27)
<i>Intensivos</i>		
1	UGM totales (0.89)	Cuota (-0.96)
2		Superficie total (-0.47)
<i>Semiintensivos</i>		
1	Superficie total (0.85)	Cuota (-0.72)
2		UGM total (-0.48)
Nitrógeno de la explotación por hectárea		
<i>Conjunto explotaciones</i>		
1	UGM totales (0.68)	Superficie total (-0.68)
2	Cuota (0.23)	
<i>Intensivos</i>		
1	UGM totales (0.75)	Superficie total (-0.64)
2	Cuota (0.17)	
<i>Semiintensivos</i>		
1	Superficie total (0.42)	UGM total (-0.65)
2	Cuota (0.29)	

3.1.4. Fósforo (kg)

El consumo de P para todos los animales presentes en la explotación y sistemas de producción figura en la Tabla 9, y la distribución por clase de animal (vacas lecheras, vacas secas, novillas de 12 a 24 meses y menores de 1 año) en la Tabla 10 y Figura 7.

Tabla 9.- Fósforo ingerido, comprado, producido en la explotación y el recobrado en leche según tipo de animal y sistema de producción

	Vacas lecheras				Vacas secas				Novillas 12 a 24 meses				Novillas > 1 año			
	C	I	S	Std	C	I	S	Std	C	I	S	Std	C	I	S	Std
P ingerido, kg año ⁻¹	2642	3125	1554	1535	125	149	70	89	262	317	137	213	190	219	127	141
P comprado, kg año ⁻¹	1446	2335	1069	1239	60	78	19	70	144	190	40	190	114	137	62	87
P explotación, kg año ⁻¹	96	790	486	620	65	71	51	79	118	128	97	149	77	82	65	74
P leche, kg año ⁻¹	861	1037	468	480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ingerido, kg ha ⁻¹	98.5	113	65.4	80.3	4.1	4.6	3.1	2.7	8.07	9.03	5.9	5.6	6.33	6.3	6.4	4.7
P comprado, kg ha ⁻¹	72.3	85.1	43.3	65.5	1.8	2.3	0.9	2.0	4.1	5.1	1.6	4.6	3.4	3.7	2.8	2.1
P explotación, kg ha ⁻¹	26.2	28.1	22	29.3	2.3	2.3	2.2	2.4	3.9	3.9	4.1	4.7	2.9	2.6	3.6	3.2
P leche, kg ha ⁻¹	32.1	37.7	19.5	25.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ingerido Cuota, kg t ⁻¹	3.55	3.45	3.7	0.99	0.19	0.18	0.19	0.14	0.36	0.36	0.36	0.24	0.32	0.34	0.27	0.40
P comprado Cuota, kg t ⁻¹	2.48	2.51	2.42	0.82	0.08	0.09	0.05	0.08	0.16	0.19	0.10	0.14	0.16	0.16	0.17	0.11
P explotación Cuota, kg t ⁻¹	1.06	0.93	1.34	0.73	0.19	0.09	0.13	0.12	0.20	0.17	0.26	0.23	0.13	0.09	0.21	0.17
P leche Cuota, kg t ⁻¹	1.15	1.14	1.19	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

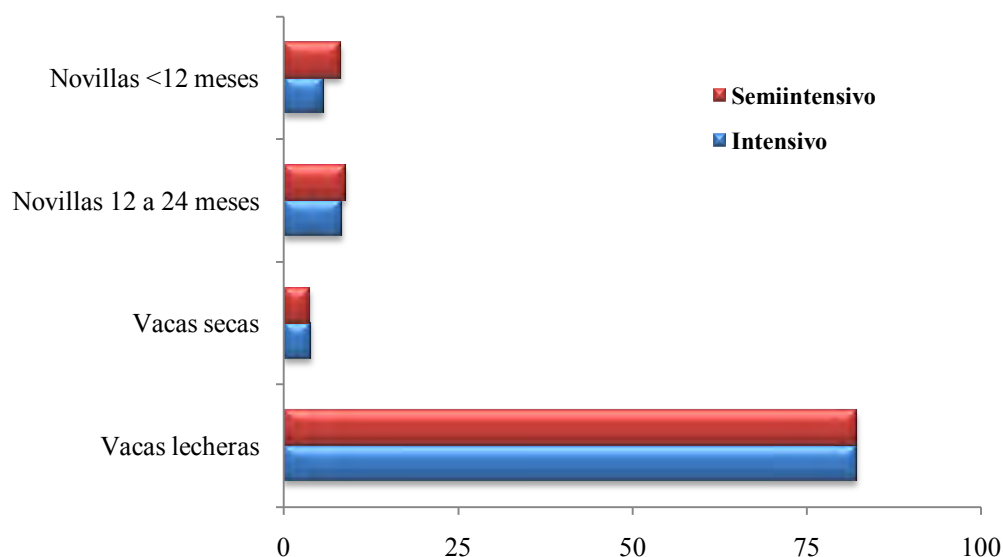
C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviación estándar

Tabla 10.- Fósforo ingerido, comprado, producido en la explotación y el recuperado en leche por año de todos los animales entre sistema de producción

	C	I	S	Std	P
P ingerido, kg año ⁻¹	3215	3807	1890	1167	***
P comprado, kg año ⁻¹	2260	2738	1101	1448	***
P explotación, kg año ⁻¹	956	1070	699	670	***
P leche, kg año ⁻¹	861	1037	466	480	***
P ingerido, kg ha ⁻¹	117	133	81	81	***
P comprado, kg ha ⁻¹	82	96	49	68	***
P explotación, kg ha ⁻¹	35	37	32	29	NS
P leche, kg ha ⁻¹	32	38	19	25	***
P ingerido Cuota, kg t ⁻¹	4.43	4.35	4.59	1.14	NS
P comprado Cuota, kg t ⁻¹	2.89	2.96	2.74	0.87	*
P explotación Cuota, kg t ⁻¹	1.51	1.31	1.95	0.90	***
P leche Cuota, kg t ⁻¹	1.15	1.14	1.19	0.22	NS

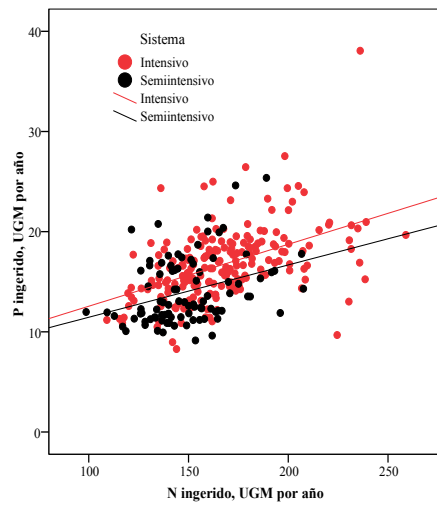
C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviación estándar; P: nivel de significación, * P<0.05; *** P<0.001; NS: no significativo

Figura 7.- Distribución porcentual del P ingerido por año entre animales y sistemas



Al igual que el N, el mayor consumo de P se registra en las explotaciones intensivas atribuido a los mismos criterios señalados para el nitrógeno. La ingestión de P por UGM es de 16.7 ± 3.5 kg en los intensivos y 14.0 ± 3.3 kg los semiintensivos, observándose relaciones lineales entre la ingestión de N y P por UGM y año (Figura 8).

Figura 8.- Relación entre el N y P ingerido UGM y año



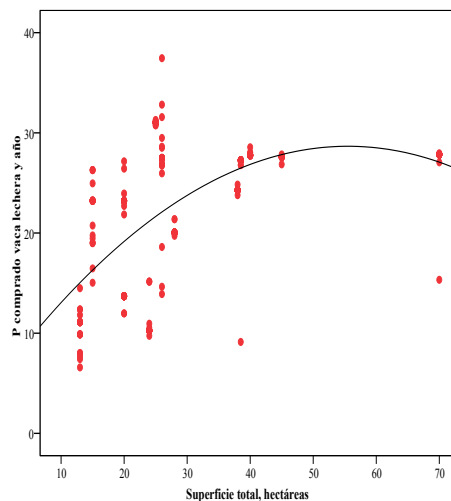
$$\text{Conjunto} = 4.85 (1.12) + 0.068 (0.00) \text{ kg N (UGM año}^{-1}\text{)}; \pm 3.21 \text{ } r^2=0.25$$

$$\text{Intensivo} = 6.37 (1.33) + 0.062 (0.008) \text{ kg N (UGM año}^{-1}\text{)}; \pm 3.13 \text{ } r^2=0.23$$

$$\text{Semiintensivo} = 6.23 (2.39) + 0.052 (0.016) \text{ kg N (UGM año}^{-1}\text{)}; \pm 3.17 \text{ } r^2=0.11$$

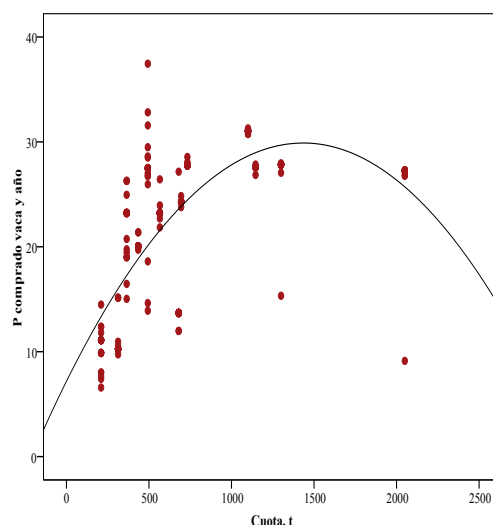
El P comprado por vaca lechera y año en los sistemas intensivos es mayor que los semiintensivos ($P<0.001$), con valores medios de 24.5 ± 5.2 y 17.8 ± 7.8 kg respectivamente. Las variables más relacionadas con la compra de P vaca año son la superficie total ($r=0.51$, $P<0.01$) (Figura 9); la cuota láctea ($r=0.56$, $P<0.01$) (Figura 10); la superficie de pradera ($r=0.30$, $P<0.01$); la superficie de maíz ($r=0.28$, $P<0.01$) y las vacas lecheras por hectárea ($r=0.25$, $P<0.01$).

Figura 9.- Relación entre la superficie total y compra de P vaca año



$$\text{Kg P comprado vaca año} = 5.43 (1.63) + 0.83 (0.091) \text{ Superficie total} - 0.008 (0.001) \text{ Superficie total}^2; \pm 5.5 \text{ } r^2=0.35$$

Figura 10.-Relación entre cuota (t^{-1}) y la compra de P vaca año



$$\text{Kg P comprado vaca año} = 7.17 (0.95) + 0.032 (0.002) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 0.000011 (0.0000009) \text{ Cuota}^2 (t^{-1}); \pm 4.7 \text{ } r^2=0.52$$

3.1.4.1. Fósforo, vacas lecheras (kg)

Las regresiones obtenidas para el conjunto de explotaciones estiman que el P comprado por tonelada de cuota refleja incrementos de 0.043 kg al aumentar una vaca lechera y lo disminuye en -0.003 kg la cuota. Entre sistemas, el aumento de una vaca incrementa la compra en 0.036 kg en los intensivos y 0.048 kg los semiintensivos.

Kilogramos de P comprado por tonelada de cuota para las vacas de leche:

$$\text{Conjunto} = 1.36 (0.08) + 0.043 (0.002) \text{ Vacas leche} - 0.003 (0.0002) \text{ Cuota } \pm 0.57; r^2=0.51$$

$$\text{Intensivos} = 1.75 (0.09) + 0.036 (0.002) \text{ Vacas leche} - 0.003 (0.0003) \text{ Cuota } \pm 0.47; r^2=0.56$$

$$\text{Semiintensivos} = -0.052 (0.17) + 0.048 (0.003) \text{ Vacas leche} - 0.0002 (0.001) \text{ Cuota } \pm 0.54; r^2=0.71$$

Para el P ingerido de producción propia por tonelada de cuota, incrementa 0.004 kg al aumentar 1 vaca lechera; la cuota y la superficie total lo disminuyen en -0.001 y -0.009 kg vaca y tonelada. Entre sistemas, el aumento de una vaca la compra de P incrementa 0.007 kg vaca y tonelada en los intensivos y disminuye -0.0024 kg en los semiintensivos.

Kilogramos de P ingerido de producción propia por tonelada de cuota para las vacas de leche:

$$\text{Conjunto} = 1.41 (0.11) + 0.004 (0.003) \text{ Vacas leche} - 0.001 (0.0002) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 0.002 (0.003) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \pm 0.68 \text{ } r^2=0.14$$

$$\text{Intensivos} = 1.12 (0.14) + 0.007 (0.003) \text{ Vacas leche} - 0.001 (0.0002) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 0.0003 (0.003) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \pm 0.65 \text{ } r^2=0.11$$

$$\text{Semiintensivos} = 2.7 (0.39) - 0.002 (0.013) \text{ Vacas leche} - 0.002 (0.002) \text{ Cuota } (t^{-1}) - 0.032 (0.021) \text{ Superficie total } (ha^{-1}); \pm 0.67 \text{ } r^2=0.22$$

La Tabla 11 indica el orden de acción de cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de P comprado la ingerida de producción propia por tonelada de leche dentro de cada modelo productivo. La variable que más lo incrementa, es el número de vacas lecheras ($\beta=0.94$), y lo disminuye la cuota ($\beta=-0.76$). Por el contrario, la variable que origina incrementos de fósforo de producción propia es el número de vacas lecheras en los intensivos ($\beta= 0.39$).

Tabla 11.- Orden de acción de mayor a menor de los coeficientes β en las vacas lecheras

Orden acción	Incrementa	Decrece
Fósforo comprado por tonelada de cuota		
<u>Conjunto explotaciones</u>		
1	Vacas leche (0.79)	Cuota (-0.61)
<u>Intensivos</u>		
1	Vacas leche (0.68)	Cuota (-0.59)
<u>Semiintensivos</u>		
1	Vacas leche (0.97)	Cuota (-0.49)
Fósforo explotación por tonelada de cuota		
<u>Conjunto explotaciones</u>		
1	Vacas leche (0.32)	Cuota (-0.45)
2		Superficie total (-0.10)
<u>Intensivos</u>		
1	Vacas leche (0.29)	Cuota (-0.40)
2		Superficie total (-0.11)
<u>Semiintensivos</u>		
1	Vacas leche (0.09)	Cuota (-0.64)
2		Superficie total (-0.06)

3.1.4.2. Fósforo, total animales (kg)

Las regresiones que estiman el P comprado por tonelada de cuota para el conjunto de la explotación señalan que el incremento de una UGM lo aumenta 0.02 kg; la cuota lo disminuye en -0.002 kg y la superficie en -0.002 kilogramos. Entre sistemas, el aumento de una UGM para el P comprado, las pendientes son 0.014 y 0.052 kg de P por UGM y tonelada de cuota.

Kilogramos de P comprado por tonelada de cuota para todos los animales:

$$\text{Conjunto} = 2.13 (0.19) - 0.002 (0.0002) \text{ Cuota} + 0.02 (0.002) \text{ UGM} \text{ totales} - 0.002 (0.004) \text{ Superficie total (ha}^{-1}\text{); } \pm 0.73 \text{ r}^2=0.30$$

$$\text{Intensivos} = 2.5 (0.12) - 0.002 (0.0004) \text{ Cuota} + 0.014 (0.002) \text{ UGM} \text{ totales} - 0.02 (0.014) \text{ Superficie total (ha}^{-1}\text{); } \pm 0.62 \text{ r}^2=0.33$$

$$\text{Semiintensivos} = 0.12 (0.25) - 0.002 (0.0011) \text{ Cuota} + 0.052 (0.005) \text{ UGM} \text{ totales} - 0.032 (0.014) \text{ Superficie total (ha}^{-1}\text{); } \pm 0.53 \text{ r}^2=0.77$$

El f3sforo de producci3n propia por tonelada de cuota para el conjunto de explotaciones, lo disminuye la cuota en -0.002 kg t^{-1} ; el n3mero de UGM lo incrementa en 0.007 kg t^{-1} y la superficie total lo disminuye en -0.004 kg .

Kilogramos de P de producci3n propia:

$$\text{Conjunto} = 2.02 (0.11) - 0.002 (0.0001) \text{ Cuota} + 0.007 (0.002) \text{ UGM totales} - 0.004 (0.007) \text{ Superficie total}; \pm 0.78 \text{ } r^2=0.27$$

$$\text{Intensivos} = 1.69 (0.15) - 0.002 (0.0001) \text{ Cuota} + 0.009 (0.002) \text{ UGM totales} - 0.005 (0.004) \text{ Superficie total}; \pm 0.76 \text{ } r^2=0.23$$

$$\text{Semiintensivos} = 3.04 (0.29) - 0.005 (0.001) \text{ Cuota} - 0.006 (0.006) \text{ UGM totales} + 0.023 (0.01) \text{ Superficie total}; \pm 0.63 \text{ } r^2=0.43$$

La Tabla 12 indica el orden de acci3n de cada una de las variables independientes representado por los coeficientes estandarizados β , incrementando o descendiendo los kilogramos de P comprado y el ingerido de producci3n propia por tonelada de leche dentro de cada modelo productivo. Para la compra de P por tonelada de leche, la variable que lo incrementa es el n3mero de UGM totales ($\beta=0.40$) y $\beta=0.23$ la cuota, y lo disminuye la superficie total ($\beta=-0.031$). Por el contrario, la variable que origina incrementos en el consumo de f3sforo de producci3n propia en los sistemas intensivos son las UGM totales en los intensivos ($\beta=0.63$) y en menor medida los semiintensivos ($\beta=0.13$) y, descendiendo en ambos casos la cuota, m3s en los intensivos ($\beta=-0.92$) que los semiintensivos (Tabla 24).

■ ■ ■ Tabla 12.- Orden de acci3n de mayor a menor de los coeficientes β en todos los animales

Orden acci3n	Incrementa	Decrece
	F3sforo comprado por tonelada de cuota	
	<i>Conjunto explotaciones</i>	
1	UGM totales (0.40)	Superficie total (-0.031)
	Cuota (0.23)	
	<i>Intensivos</i>	
1	UGM totales (0.19)	Cuota (-0.24)
	Superficie total (-0.031)	
	<i>Semiintensivos</i>	
1	UGM totales (0.20)	Cuota (-0.30)
		Superficie total (-0.15)
	F3sforo de producci3n propia por tonelada de cuota	
	<i>Conjunto explotaciones</i>	
1	UGM totales (0.46)	Cuota (-0.87)
2		Superficie total (-0.064)
	<i>Intensivos</i>	
1	UGM totales (0.63)	Cuota (-0.92)
2		Superficie total (-0.08)
	<i>Semiintensivos</i>	
1	UGM totales (0.17)	Cuota (-0.87)
2	Superficie total (0.13)	

4. Conclusiones parciales

Las explotaciones intensivas y semiintensivas presentan elevada densidad de animales por unidad de superficie. Ésto es corroborado por la baja utilización de la superficie agrícola útil de la explotación, donde la materia seca ingerida de producción propia representa el 27% del consumo total. Este porcentaje expresado en nutrientes, equivale al 32% de energía neta leche; 26.6% de nitrógeno y el 29.7% de fósforo. La diferencia hasta 100 es el comprado.

Gran parte de las explotaciones no rota la superficie dedicada a maíz con forrajes de invierno, repercutiendo directamente sobre la compra de forrajes y concentrados. Si bien las producciones de maíz son aceptables (12 a 14 toneladas de materia seca por hectárea), se están dejando de producir entre 5 y 7 toneladas de MS ha⁻¹ con dichos forrajes de invierno.

Manejo de la explotación

Estimación de los gases efecto invernadero

G. Salcedo



ESTIMACIÓN DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Resultados y discusión

2.1. NH₃, N₂O y NO del purín

2.2. CH₄ entérico (vacas de leche)

2.2.1. Estimación del CH₄ a partir de la dieta

2.3. Equivalentes de CO₂-eq por hectárea y consecuencias medioambientales

2.3.1. Metano (CH₄)

2.3.2. Óxido nitroso (N₂O)

2.3.3. CO₂ total

2.4. Acidificación y eutrofización

2.4.1. Acidificación

2.4.2. Eutrofización

2.4.3. Modelización del potencial de acidificación y eutrofización

3. Conclusiones parciales

Resumen

Para el tipo de explotación media (80 ± 37 vacas en ordeño; 127 ± 61 UGM; 4.29 ± 1.34 UGM ha^{-1} ; 31 ± 15 ha^{-1} y 798 ± 486 t^{-1} de cuota lechera), la producción estimada de NH_3 ; N_2O y NO por hectárea son 86.6, 8.29 y 0.18 kg; 3.6, 0.34 y 0.0075 kg por tonelada de cuota láctea y 20.1, 1.93 y 0.042 kg por UGM respectivamente, y diferentes entre sistemas de producción ($P<0.001$).

La variable más relacionada con las pérdidas de NH_3 en las vacas lecheras es la concentración proteica de la dieta, donde incrementos de una unidad porcentual, dentro del rango 10.6 a 23.3%, supone aumentos de 4.64 y 3.2 g vaca día en los intensivos y semiintensivos respectivamente. El Surplus de N ha^{-1} es otra variable relacionada con el NH_3 perdido por hectárea y año ($r^2=0.55$); si bien, el mejor ajuste es de tipo cuadrático, con incrementos lineales hasta 750 kg N ha^{-1} en los intensivos y 500 kg los semiintensivos. Para el conjunto de explotaciones, incrementos de una tonelada de cuota láctea, las pérdidas de NH_3 UGM $^{-1}$ y año aumentan 0.00055 kg; una hectárea de superficie total pueden aumentarla 0.14 kg y disminuirla en 0.13 kg ha^{-1} y año una hectárea de maíz. El incremento en una unidad porcentual de la NUE puede reducir el NH_3 perdido en el establo y estercolero en 0.89 kg.

La producción de CH_4 entérico (kg vaca y año), los litros de CH_4 por kilogramo de leche corregida al 4% graso y los g CH_4 vaca día, es mayor en las explotaciones intensivas con medias de 133-18.0 y 366 y, 126-21.9 y 345 las semiintensivas. En ambos sistemas la ingestión de materia seca está bien relacionada con la producción de CH_4 vaca año ($r^2=0.58$ los intensivos) y $r^2=0.63$ los semiintensivos. El número de partos reduce la producción de CH_4 , con emisiones medias de 137 ± 14 kg las vacas de menos de 2 lactaciones; 131 ± 12 kg de 2 a 3 lactaciones y 123 ± 8 mayor de tres. Sin embargo, las relaciones que se obtienen entre el número de partos y la producción de leche corregida al 4% graso es baja ($r^2=0.20$) en los intensivos y $r^2=0.19$ los semiintensivos. Aumentos del 10% en la producción de leche corregida al 4% graso puede reducir un 6.3% las pérdidas de CH_4 . Las variables nutricionales más relacionadas con la producción de CH_4 entérico en kilogramos vaca y año es la ingestión de (ENL; $r=0.89$, $P<0.01$); (CNF, $r=0.63$, $P<0.01$), (PB; $r=0.60$, $P<0.01$), y (FAD; $r=-0.33$, $P<0.01$).

La producción de CH_4 entérico y del estiércol kg ha^{-1} difiere entre sistemas de producción ($P<0.001$), con emisiones medias de 578 y 493 kg los intensivos y semiintensivos respectivamente. Los kilogramos de N_2O ha^{-1} año procedentes del purín más fertilizantes y

del suelo son 7.71 y 6.04 en los intensivos y semiintensivos, mientras, su equivalencia en CO₂ ha⁻¹ a3o del pur3n, fertilizantes y combustible es de 3575 y 2937 kg respectivamente.

Los kilogramos totales de CO₂-eq ha⁻¹ a3o; UGM ha⁻¹ a3o y vaca lechera a3o son 18102-4440 y 7338 kg en los intensivos y, 15155-3990 y 6144 kg los semiintensivos. Los kilogramos de CO₂-eq kg⁻¹ de leche; los kilogramos de CO₂-eq del CH₄ t⁻¹ leche; los kilogramos de CO₂-eq del CO₂ t⁻¹ leche al 4% graso y los kilogramos de CO₂-eq del N₂O por t⁻¹ de leche al 4% graso no difiere entre sistemas de producci3n, con valores medios de 0.67; 461; 125 y 82 kg para el conjunto de explotaciones. El total de gases efecto invernadero por tonelada de leche corregida al 4% graso, no difiere entre sistemas de producci3n, pero es num3ricamente menor en los intensivos (654 kg en los intensivos) y 702 kg los semiintensivos. Para el conjunto de explotaciones el porcentaje de gases efecto invernadero (CH₄, CO₂ y N₂O) son 67.5%, 19.5% y 12.9% respectivamente.

La producci3n de leche por hect3rea est3 negativamente relacionada con los kilogramos de CO₂ del CH₄ t⁻¹ de leche al 4% graso ($r^2=0.71$ los intensivos) y $r^2=0.42$ los semiintensivos. Positivamente las emisiones de N₂O con la concentraci3n de N total del suelo ($r^2=0.89$) y el contenido de amon3aco en kilogramos por hect3rea ($r^2=0.98$), y con el Surplus N ha⁻¹, $r^2=0.72$ los intensivos y $r^2=0.85$ los semiintensivos.

La valoraci3n del impacto medioambiental expresada en kg SO₂ (Acidificaci3n Potencial) y PO₄⁻ (Eutrofizaci3n Potencial) es mayor en los intensivos (131 y 439 kg ha⁻¹) y 103-291 kg los semiintensivos.

Palabras clave: acidificaci3n potencial, eutrofizaci3n potencial, gases efecto invernadero, sistema producci3n, vacas lecheras.

Abstract

For the average operating rate (80 ± 37 milking cows, 127 ± 61 LU; 4.29 ± 1.34 LU ha⁻¹, 31 ± 15 ha⁻¹ and 798 ± 486 t⁻¹ of milk quota, the estimated production of NH₃, N₂O and NO per hectare were 86.6, 8.29 and 0.18 kg, 3.6, 0.34 and 0.0075 kg per ton of milk quota and 20.1, 1.93 and 0.042 kg per LU respectively and different between production systems ($P<0.001$). The variable most related to the loss of NH₃ in dairy cows is the concentration of protein in the diet, where a unit percentage increases within the range 10.6 to 23.3%, it increases 4.64 and 3.2 g cow day in the intensive semiintensive respectively. The Surplus of N ha⁻¹ is another related variable NH₃ lost per hectare per year ($r^2=0.55$), although, the best fit is quadratic type, with linear increments up to 750 kg N ha⁻¹ in the intensive 500 kg semiintensive. For all farms, increases in milk quota ton of losses of NH₃ LU⁻¹ and year increase 0.00055 kg, a total hectare 0.14 kg can increase and decrease by 0.13 kg ha⁻¹ and year an hectare of corn. The increased percentage of the unit can reduce NH₃ NUE lost in the barn and manure heap at 0.89 kg.

Enteric CH₄ production (kg cow and year), the liters of CH₄ per kilogram of milk corrected to 4% fat, and CH₄ g cow's day is more intensive farms with average and 366 and 133-18.0, 126-21.9 and 345 the semiintensive. In both systems, dry matter intake is well connected with the production of CH₄ cow year ($r^2=0.58$ intensives) and the semiintensives $r^2=0.63$. The number of lactations reduces the production of CH₄, with average emissions of 137 ± 14 kg of cow less than 2 lactations, 131 ± 12 kg for 2 to 3 lactations and 123 ± 8 greater than three. However, the relations that obtain between parity and milk production corrected to 4% fat is low ($r^2=0.20$) in the intensive and the semiintensive $r^2=0.19$. Increase of 10% in milk production corrected to 4% fat CH₄ losses can be reduced by 6.3%. The nutritional variables most related to enteric CH₄ production in kilograms per year is cow intake (ENL, $r=0.89$, $P<0.01$) (CNF, $r=0.63$, $P<0.01$), (PB, $r=0.60$, $P<0.01$), and (FAD; $r=-0.33$, $P<0.01$).

Enteric CH₄ production and manure kg ha⁻¹ differs between production systems ($P<0.001$), with average emissions of 578 and 493 kg respectively and semiintensive units. The N₂O kg ha⁻¹ year of manure, fertilizer and soil are 7.71 and 6.04 in the semiintensive and, while its equivalent in CO₂ ha⁻¹ year of manure, fertilizer and combustile is of 3,575 and 2,937 kg respectively.

The total kilograms of CO₂-eq ha⁻¹ year; LU ha⁻¹ year and cow year are 18,102-4,440 and 7,338 kg in the intensive and 15,155-3,990 and 6,144 kg of semiintensive. The kg CO₂-eq kg⁻¹ milk; the kg CO₂-eq t⁻¹ CH₄ milk kilograms of CO₂ t⁻¹ CO₂-eq to 4% milk fat and the kilograms of CO₂-eq of N₂O t⁻¹ by 4% milk fat did not differ between production systems, with average values of 0.67, 461; 125 and 82 kg for all farms. The total greenhouse gas emissions from t⁻¹ of milk corrected to 4% fat did not differ between production systems, but numerically lower in the intensive (654 kg in therapy) and 702 kg of semiintensive. For all farms the percentage of greenhouse gases (CH₄, CO₂ and N₂O) are 67.5%, 19.5% and 12.9% respectively.

Milk production per hectare is negatively related to the pounds of CO₂ from CH₄ t⁻¹ 4% milk fat ($r^2=0.71$ intensives) and the semiintensives $r^2=0.42$. N₂O emissions positively with the concentration of total soil N ($r^2=0.89$) and ammonia content in kilograms per hectare ($r^2=0.98$) and with the Surplus N ha⁻¹, $r^2=0.72$ intensives and $r^2=0.85$ semiintensives.

The environmental impact assessment in kg SO₂ (Acidification Potential) and PO₄⁻ (Eutrophication Potential) is higher in the intensive (131 and 439 kg ha⁻¹) and 103-291 kg of semiintensive.

Keywords: acidification potential, eutrophication potential, greenhouse gases, production system, dairy cows.

1. Introducción

Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4) procedentes de la actividad ganadera contribuyen al aumento de los gases de efecto invernadero, afectando a la salud humana (Knobeloch *et al.*, 2000) y a los ecosistemas marinos (Burkart y James, 1999). En los humanos, los problemas están asociados a bronquitis crónicas y ataques de asma (McCubbin *et al.*, 2002). Los compuestos de N en el agua afectan a su calidad y contribuyen con el crecimiento de algas.

El amoníaco se produce por la descomposición de los compuestos nitrogenados del estiércol. Su liberación está afectada por diversos factores: i) número y tamaño de los animales; ii) superficie donde son expuestas las heces y orina; iii) tiempo de almacenaje en el estercolero; iv) tasa de ventilación; v) movimiento del aire alrededor el estiércol; vi) técnicas de ventilación; vii) temperatura ambiente; viii) pH del estiércol; ix) relación C:N del estiércol; x) composición de los alimentos (Freney *et al.*, 1983; Carr, 1990; Aarmink *et al.*, 1993; Gustafsson *et al.*, 1994; Anderson, 1995 y Gustafsson, 1998).

El N orgánico y el amonio son las mejores fuentes de N del estiércol (Van Horn *et al.*, 1994), formando parte de la fracción indigestible del alimento, proteína microbiana, N endógeno, urea y NH_3 excretado en la orina. Entre el 40 al 50% del N total del estiércol se encuentra en forma de urea y N amoniacal (Van Horn *et al.*, 1994). La urea es rápidamente convertida a NH_3 en presencia de ureasa. En un medio ácido el NH_3 reacciona con el H^+ a ión amonio no gaseoso (NH_4), esta reacción evita la pérdida de NH_3 a la atmósfera. Aunque la mayoría del estiércol de las vacas proporciona pequeña acidez para convertir NH_3 a NH_4 y libera grandes cantidades de NH_3 a la atmósfera. De hecho, entre el 50 al 75% del N presente en el estiércol puede perderse como NH_3 antes de la nitrificación a nitrato (NO_3^-) (Van Horn *et al.*, 1994). Grandes concentraciones de NH_3 en las estabulaciones cerradas puede ocasionar descensos de producción animal y promover un riesgo potencial en la salud de las vacas, personas y sobre el medio ambiente en forma de lluvia ácida.

De los principales compuestos nitrogenados excretados que tienen mayor potencial de volatilización de NH_3 por orden descendiente es la urea, la alantoína, ácido úrico y creatinina, mientras la creatina, xantina y la hipoxantina tienen un bajo potencial. La reducción más importante en la excreción de urea, por añadidura la volatilización de NH_3 , es la optimización y retención del N ingerido. El contenido de urea de la orina en el ganado lechero es 93%

aproximadamente, mientras que la materia fecal sólida contiene el 25% de las formas solubles de N (Whitehead *et al.*, 1986).

La mejora es posible gracias a que el 20% del N ingerido es retenido. La segunda solución sería reducir las pérdidas de NH_3 por medios técnicos como la incorporación directa de los purines, la acidificación o el rociado con agua el estiércol fresco generado diariamente en el establo.

La mejor herramienta para disminuir la excreción de nutrientes es la manipulación de la dieta (Vertvegt y Rutgers, 1988; Consejo para la Agricultura, Ciencia y Tecnología, 2002). La proteína absorbida en forma de aminoácidos que son digeridos y absorbidos en el intestino delgado, los sintetizados en tejido o leche se eliminan a través de la orina en forma de urea, convertida a forma volátil (principalmente NH_3). Las modificaciones digestivas y metabólicas que mejoran la eficiencia del N en el rumen (ej.: ionóforos, Bergen y Bates, 1984; Chen y Russell, 1989) puede reducir el aporte proteico necesario para la producción de carne o leche, disminuyendo al mismo tiempo la producción de CH_4 procedente de la fermentación entérica, de gran efecto invernadero (Moss, 1993).

Los ionóforos son moléculas de diferente estructura química que tienen la facilidad de atrapar cationes, principalmente sodio. Ellos actúan sobre la capa de la pared celular de bacterias y protozoos gram-positivas (Chow *et al.*, 1994), facilitando el cambio neto de potasio extracelular por protones extracelulares y sodio en la membrana (Russell y Strobel, 1989). Estas fuerzas expulsan el sodio (Na) a expensas de adenosin trifosfato (ATP), causando depleción en la reserva energética, mejorando la salud y división celular de los microorganismos (Russell y Strobel, 1989). Esta mayor disponibilidad de energía favorece una captura mayor de N y menos formación de NH_3 en rumen. Los ionóforos más utilizados son el lasalocid y la monensina.

La adición de ionóforos mejora la eficiencia en la fermentación ruminal, reduciendo la proporción molar de acético a expensas de propiónico, disminuyendo así la producción de CH_4 en el rumen, reduciendo la degradación de la proteína (Raun, 1990). También proporciona beneficios medioambientales como menor producción de estiércol por incrementar la digestibilidad a expensas de reducir el consumo.

Durante la fermentación anaerobia de la glucosa se produce hidrógeno en el rumen, que puede ser usado para síntesis de ácidos grasos volátiles (AGV) y materia orgánica microbiana. El exceso de H forma (NADH – nicotinamide adenina dinucleotide) que es

eliminado por la formación de CH_4 a través de la metanogénesis. El balance estequiométrico de AGV, CO_2 y CH_4 indica que el acetato y el butirato promueve producción de CH_4 mientras que el propionato conserva la formación de H reduciendo así la producción de CH_4 (Wolin, 1960).

En las vacas lecheras, la tasa de CH_4 procedente de la fermentación entérica depende del nivel de consumo (Smink *et al.*, 2005), cantidad de energía y composición del alimento (IPCC, 1997). Los factores más importantes son: (i) tasa de fermentación de la materia orgánica; (ii) tipo de ácidos grasos volátiles producidos, quienes determinan el exceso de hidrógeno producido en el tracto gastrointestinal y la necesidad de que la producción de CH_4 sirva como sumidero del exceso de H, y (iii) la eficiencia de la biosíntesis microbiana.

Factor (i). La tasa de fermentación de la materia orgánica está estrechamente influenciada por el nivel de consumo y las características de degradación de los carbohidratos. En un estudio teórico, Mills *et al.* (2001) demostraron que la producción de CH_4 reduce de 6.6 a 6.0% el consumo de energía bruta cuando las vacas son alimentadas con ensilado de hierba y concentrado al 50% al aumentar la ingesta de 10 a 24 kg día. Aunque la producción de CH_4 aumenta, al menos linealmente a consumos elevados, la fracción de la energía bruta perdida en forma de CH_4 se reduce. Esto es una consecuencia del descenso de digestibilidad en panza al incrementar el consumo de alimento (factor 1), y particularmente, una causa de los turnos diarios en el patrón de la fermentación ruminal y tipo de AGV producidos (factor 2).

Factor (ii). Recientemente Bannink *et al.* (2000), actualizan los coeficientes de producción de los AGV en diferentes sustratos fermentados en rumen. Con aquellos nuevos coeficientes, Mills *et al.* (2001) demuestran que al reemplazar azúcares por almidón en el concentrado, la producción de CH_4 se ve reducida un 14.7%; de igual modo, con la tasa de fermentación de la materia orgánica del rumen se conoce el efecto del tipo de AGV producido. Cuando la tasa de producción y el pH ruminal aumentan, se produce un cambio hacia una mayor producción de propiónico, modificándose principalmente al cambio de microorganismos presentes en la fermentación de cada sustrato. Como una alternativa en la producción de CH_4 , también el propiónico actúa como un sumidero de H^+ y consecuentemente, menos CH_4 es producido por unidad de MO fermentada (Pitt *et al.*, 1996; Baldwin, 1995). Por lo tanto, vacas de alta producción con elevados consumos de materia seca están expuestas a un pH ruminal mayor; el efecto de incrementar el almidón de la dieta en CH_4 se espera que sea aún mayor.

Factor (iii). Los sistemas de alimentación asumen una tasa constante para la síntesis en eficiencia microbiana de 150 g de proteína por kilogramo de materia orgánica fermentada. Dijkstra *et al.* (1992) demuestran que las condiciones medioambientales del rumen tienen un mayor impacto en esta eficiencia. Por lo tanto, las mediciones de la dieta y su consecuencia para la fermentación del rumen pueden condicionar un gran impacto en la eficiencia de crecimiento microbiano y consecuentemente, en las cantidades de MO convertidas en AGV y CH₄ producido.

2. Resultados y discusión

2.1. NH₃, N₂O y NO del purín

La producción anual de estiércol y el volumen de las fosas para el conjunto de explotaciones son de 2424 y 597 m³; 2864 y 647 m³ los intensivos y 1435 y 341 m³ los semiintensivos. Estos volúmenes permiten un almacenaje de 122 días para el conjunto de explotaciones, transfiriéndoles un tiempo de madurez razonable.

Las pérdidas de NH₃, N₂O y NO originadas en el establo y estercolero por año, cuota de leche (t⁻¹), hectárea y UGM vienen representadas en la Tabla 1. El NH₃ estimado de las excretas (heces y orina) representan el 12-17.9% respecto al N total ingerido en el conjunto de explotaciones, 12.5-17.9% los intensivos y 12.2-18.8% los semiintensivos. Monteny y Erisman (1998), señalan emisiones de amoníaco procedentes del establo y estercolero próximo a 28%, superiores a las estimadas por métodos indirectos en el presente trabajo.

En la situación de la ganadería lechera actual, entre otras, las diferencias se producen por el sistema de explotación, tipo de suelo, recogida y almacenaje del estiércol. Los niveles de amoníaco en los sistemas estabulados con cubículos son mayores (20-45 g vaca día por vaca) que los de estabulación libre 5-27 gramos (Monteny y Erisman, 1998). Para el conjunto de explotaciones, la pérdida diaria de NH₃ es de 63.9 g vaca y diferentes entre sistemas de producción P<0.001, mayor en los intensivos 67.8 y 55.06 g día en los semiintensivos.

Tabla 1.- Pérdidas de NH₃, emisiones de N₂O y NO de los animales presentes en la explotación por año, cuota, hectárea y UGM

	C	I	S	Std	P
N ingerido, kg año ⁻¹	20946	24874	12109	11430	***
N excretado, kg año ⁻¹	14557	17371	8228	7891	***
NH ₃ establo, kg año ⁻¹	1815	2161	1036	972	***
NH ₃ estercolero, kg año ⁻¹	798	950	455	427	***
NH ₃ establo + estercolero, kg año ⁻¹	2613	3112	1492	1400	***
NH ₃ , kg t ⁻¹ Cuota	3.6	3.49	3.85	0.85	***
NH ₃ , kg ha ⁻¹	86.6	92.9	72.4	32	***
NH ₃ , kg UGM ⁻¹	20.1	20.9	18.3	3.4	***
N ₂ O establo y estercolero, kg año ⁻¹	250	298	143	134	***
N ₂ O, kg t ⁻¹ Cuota	0.34	0.33	0.37	0.08	***
N ₂ O, kg ha ⁻¹	8.29	8.89	6.93	3.0	***
N ₂ O, kg UGM ⁻¹	1.93	2.0	1.75	0.32	***
NO establo y estercolero, kg año ⁻¹	5.44	6.48	3.11	2.9	***
NO, kg t ⁻¹ Cuota	0.0075	0.0092	0.0080	0.001	***
NO, kg ha ⁻¹	0.18	0.19	0.15	0.06	***
NO, kg UGM ⁻¹	0.042	0.043	0.038	0.007	***

C: conjunto explotaciones; I: intensivas; S: semiintensivas; Std: desviación estándar; P: nivel de significación, *** P<0.001



Fosa de purín abierta

En el presente trabajo, la mayor pérdida de NH₃ se localiza en el establo 66.6% (45.2 g vaca día en los intensivos y 36.7 g los semiintensivos) y el 33.4% restante en el estercolero, debido a la mayor susceptibilidad de la orina en volatilizarse e íntimamente relacionada con el consumo de nitrógeno.

La modificación de la dieta es una buena herramienta para minimizar la concentración de urea en orina. Smits *et al.* (1995) comparan el efecto de la emisión de NH₃ de dos dietas (bajo contenido en proteína degradable 40 g y alta 1060 g). Los volúmenes de orina fueron similares, pero la concentración de N ureico se redujo aproximadamente un 42%, mientras la

pérdida de NH_3 lo hizo un 39% en la dieta de menor contenido de proteína degradable en rumen.

Powell *et al.* (2006) señalan pérdidas por volatilización en purines frescos o almacenados en función del porcentaje de proteína bruta de la dieta del 31% y 12% en dietas que contienen el 13.6% y, 68% y 29% para porcentajes de 19.4% de proteína respectivamente. En el presente trabajo, el volumen estimado de estiércol fresco por vaca y año es de 23659 kg que contiene 124 kg de nitrógeno. Asumiendo pérdidas de NH_3 en purines frescos y almacenados de 21.5% y 48.5% (36.3% valor medio) para las dietas del 13.6% y 19.4% de proteína (Powell *et al.*, 2006); el NH_3 perdido en las explotaciones de Cantabria en dietas que contienen el 16.14% de proteína bruta, las pérdidas serían del 33.3%, muy similares al 36.3% señalado por Powell *et al.* (2006).

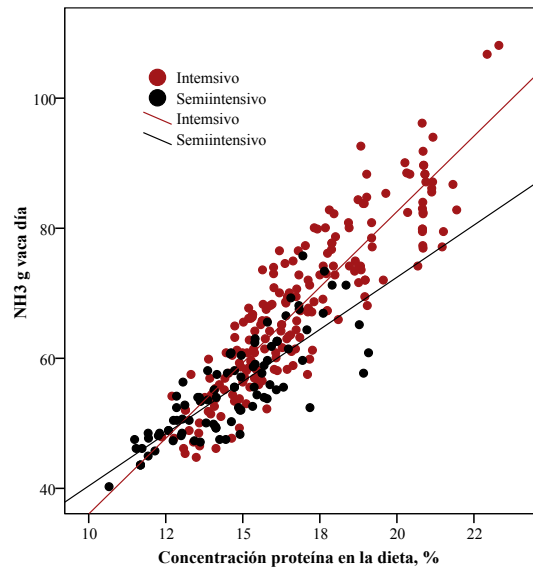


Fosa de purín cerrada

No obstante y para las vacas lecheras, la variable más directamente relacionada con las pérdidas de NH_3 es la concentración de proteína de la dieta (Figura 1). De la misma se desprende que el incremento en una unidad porcentual de proteína dentro del rango 10.66 a 23.3%, se pierden 4.5; 4.6 y 3.2 g NH_3 vaca día para el conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente. La menor en los semiintensivos es atribuida a la inferior concentración proteica (14.5% vs. 16.8%). Por tanto, reducir el porcentaje proteico de

la dieta puede ser una herramienta válida para minimizar las pérdidas de NH₃ del estiércol procedentes del establo y estercolero.

Figura 1.- Relación entre concentración proteica de la dieta y las pérdidas de NH₃ g vaca día en las vacas de leche



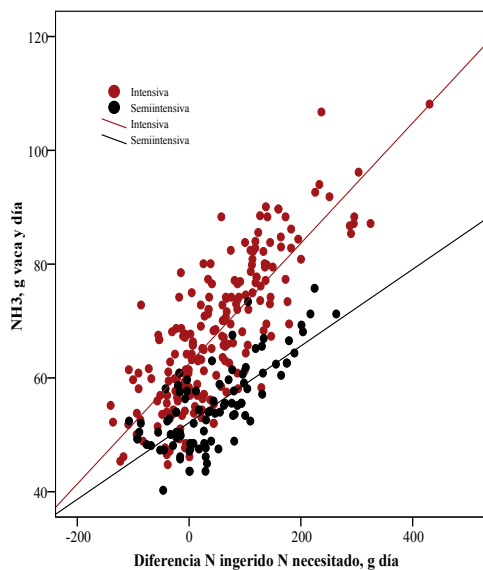
$$\text{Conjunto} = -9.87 (2.09) + 4.5 (0.12) \% PB; \pm 5.4 r^2=0.81$$

$$\text{Intensivos} = -10.4 (2.7) + 3.2 (0.16) \% PB; \pm 5.5 r^2=0.80$$

$$\text{Semiintensivos} = 8.29 (3.5) + 3.2 (0.24) \% PB; \pm 4.3 r^2=0.66$$

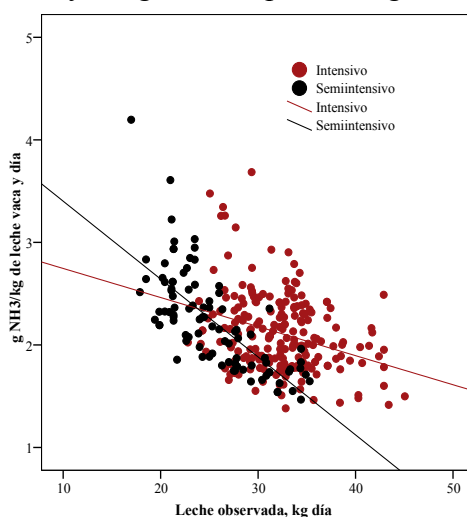
Las relaciones representadas en la Figura 1 corroboran aquellas obtenidas a partir de la diferencia de N ingerido y el correspondiente teórico, de acuerdo a la producción de leche real observada. De este modo, cada incremento de un gramo de N por encima de las necesidades dentro del rango -140 a 430 g, el NH₃ perdido por vaca y día incrementa 0.098 g para el conjunto de explotaciones; 0.106 g en los intensivos y 0.067 g los semiintensivos (Figura 2). De acuerdo con Ghandler (1996) y St-Pierre y Thraen (1999), los gramos de N en heces y orina por kilogramo de leche disminuyen al incrementar la producción de leche al igual que las pérdidas de NH₃ por kilogramo de leche (Figura 3), a un ritmo de 0.195 g para el conjunto de explotaciones. El descenso es mayor en los sistemas semiintensivos (-0.42 g NH₃ por kilogramo de leche) y -0.158 gramos los intensivos.

Figura 2.- Relación entre la diferencia del N ingerido y el necesitado con las pérdidas de NH₃ g vaca y día



$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 59.1 (0.58) + 0.098 (0.066) \text{ Dif } N_{\text{ingerido}} - N_{\text{necesitado}}; \pm 8.9 \text{ } r^2=0.49 \\ \text{Intensivos} &= 62.5 (0.58) + 0.106 (0.066) \text{ Dif } N_{\text{ingerido}} - N_{\text{necesitado}}; \pm 7.4 \text{ } r^2=0.64 \\ \text{Semiintensivos} &= 52.1 (0.60) + 0.067 (0.007) \text{ Dif } N_{\text{ingerido}} - N_{\text{necesitado}}; \pm 5.07 \text{ } r^2=0.54 \end{aligned}$$

Figura 3.- Relación entre la producción de leche (kg d⁻¹) y los g de NH₃ perdido kg⁻¹ leche



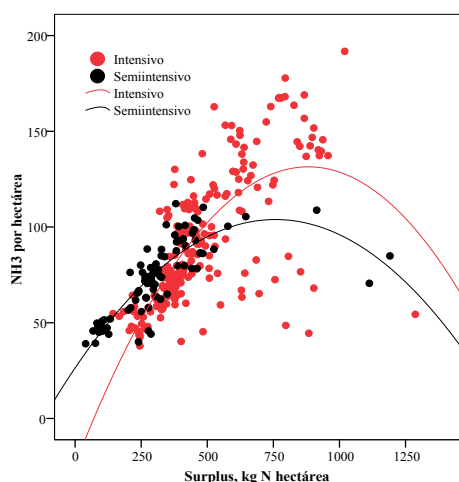
$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 17.8 (0.67) - 0.195 (0.022) \text{ kg leche } d^{-1}; \pm 8.9 \text{ } r^2=0.49 \\ \text{Intensivos} &= 16.8 (1.06) - 0.158 (0.033) \text{ kg leche } d^{-1}; \pm 2.01 \text{ } r^2=0.10 \\ \text{Semiintensivos} &= 23.1 (1.07) - 0.42 (0.04) \text{ kg leche } d^{-1}; \pm 1.8 \text{ } r^2=0.53 \end{aligned}$$

Las pérdidas diarias de NH₃ en el establo y estercolero por UGM y vaca lechera equivalen a 56.3-63.9 g para el conjunto de explotaciones; 58-67 g los intensivos y 50-55 g los semiintensivos. En cualquier caso, las mayores pérdidas por año corresponden a los

sistemas intensivos ($P < 0.001$), atribuido al superior número de UGM y menores $P < 0.001$ en los semiintensivos. Las pérdidas por tonelada de leche son menores ($P < 0.001$) en los intensivos (3.49 kg) y 3.85 kg los semiintensivos. Por el contrario, las originadas por hectárea y UGM son mayores $P < 0.001$ en los intensivos, con valores medios de 92.9-72.4 y 20.9-17.3 kg respectivamente (Tabla 1).

Ross *et al.* (2001) señalan que la mayoría de los purines producen pérdidas de 107 kg $\text{NH}_3 \text{ ha}^{-1}$ y año, pudiendo reducirse hasta 27 kg en purines convencionales usando combinaciones de diferentes estrategias. En la mayoría de las explotaciones, la pérdida de NH_3 del purín varía de 33 y 86 kg $\text{NH}_3 \text{ ha}^{-1}$ año. Los resultados del presente trabajo muestran valores medios de 86.6 kg para el conjunto de las explotaciones, diferentes entre sistemas de producción ($P < 0.001$), mayor en los intensivos (92.9 kg) y 72.4 kg los semiintensivos (Tabla 1). El Surplus de N ha^{-1} y año se relaciona cuadráticamente con las pérdidas de $\text{NH}_3 \text{ ha}^{-1}$ y año (Figura 4), siendo lineales hasta 750 kg de N en los intensivos y 500 kg los semiintensivos.

■ ■ ■ **Figura 4.-** Relación entre el Surplus N ha^{-1} y el NH_3 perdido por hectárea (kg)



$$\text{Conjunto} = 10 (5.26) + 0.24 (0.021) \text{ Surplus} - 0.0013 (0.000018) \text{ Surplus ha}^2; \\ \pm 21.5 \text{ r}^2=0.55$$

$$\text{Intensivos} = -23.8 (10.4) + 0.35 (0.039) \text{ Surplus} - 0.0019 (0.000031) \text{ Surplus ha}^2; \\ \pm 21.5 \text{ r}^2=0.55$$

$$\text{Semiintensivos} = 10 (5.26) + 0.24 (0.021) \text{ Surplus} - 0.00013 (0.000012) \text{ Surplus ha}^2; \\ \pm 21.5 \text{ r}^2=0.55$$

La Figura 5 representa el flujo de N por UGM y año desde la ingestión de alimento, el excretado en leche y el perdido en forma de NH_3 , N_2O y NO del estiércol, y la Figura 6, por vaca lechera y año. Las del NH_3 originadas en el establo y estercolero por UGM y año respecto al N total ingerido son 12.4 %; 1.2% el N_2O y 0.026% el NO y 17.9%, 1.7% y

0.037% en relación al N total excretado respectivamente. Para las vacas lecheras dentro de cada sistema de producción, la ingestión de N por año es de 213 kg en los intensivos y 175 kg los semiintensivos; de ellos 61 y 45.8 kg son excretados en leche y 137 y 111 kg en forma de estiércol respectivamente. De éste, las pérdidas en NH_3 son de 24.7 y 20.1 kg año en las explotaciones intensivas y 2.2 y 1.8 kg N_2O y 0.047 y 0.04 kg el NO las semiintensivas. En ambos casos, del estiércol total excretado el contenido de N del “estiércol útil” es de 110 y 89 kg vaca y año. Los resultados de NH_3 vaca y año obtenidos por métodos indirectos se sitúan dentro del rango señalado por Bussink y Oenema (1998) 17 a 46 kg.

■ **Figura 5.-** Flujo de N y p3rdidas de NH₃, N₂O y NO por UGM y a3o presente en la explotaci3n por sistema de producci3n

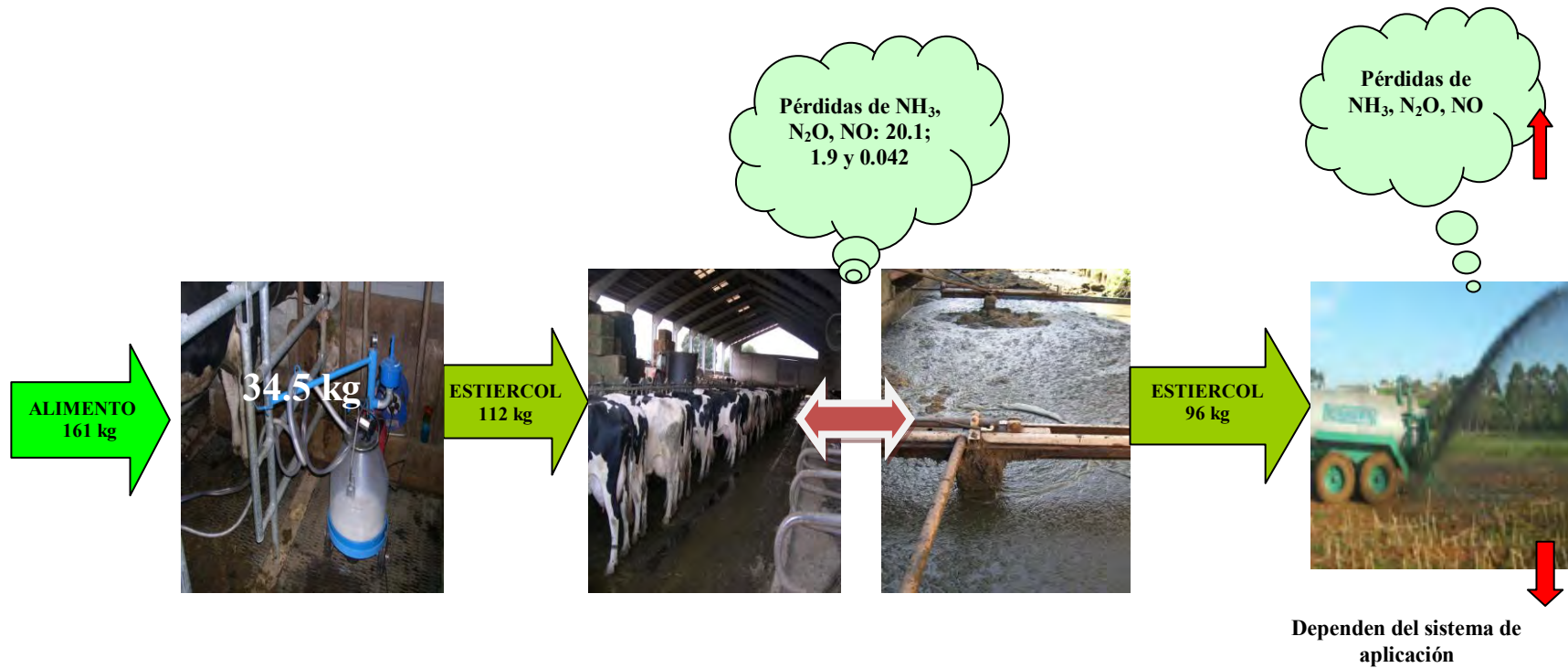
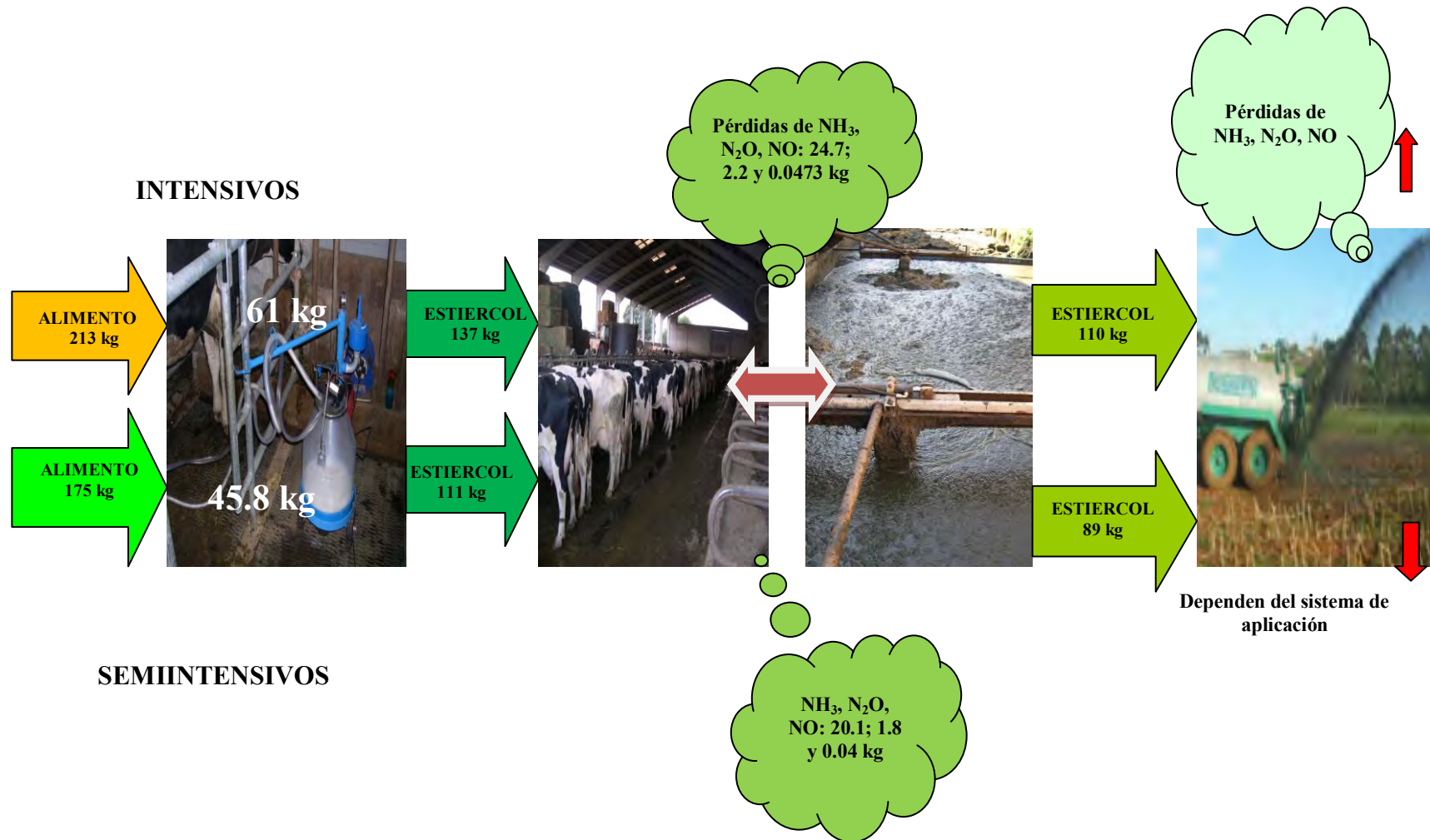
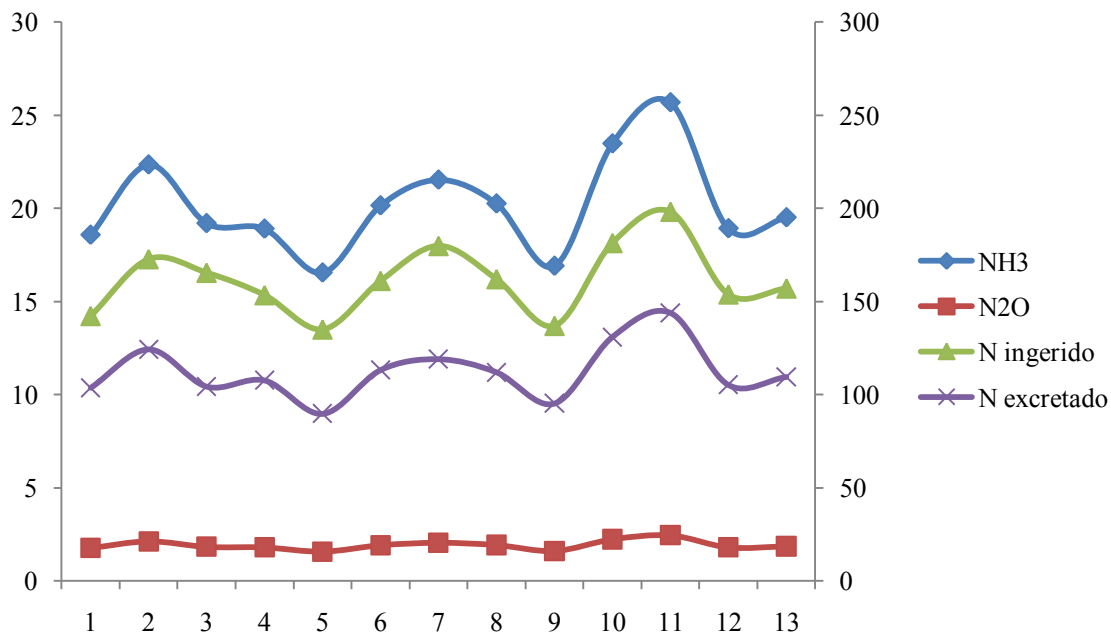


Figura 6.- Flujo de N y p3rdidas de NH_3 , N_2O y NO por vaca en orde3o y a3o entre sistemas de producci3n



La Figura 7 representa la diferencia de N ingerido, el del estiércol y las pérdidas de NH_3 y el N_2O por UGM y año entre explotaciones.

Figura 7.- Consumo, excreción de N, pérdidas de NH_3 , N_2O en el establo y estercolero por UGM y año entre explotaciones



Para el conjunto de explotaciones, incrementos de 1 tonelada de cuota y 1 hectárea de superficie total, la pérdida de NH_3 UGM⁻¹ año aumenta 0.002 y 0.16 kg; por el contrario, una hectárea de maíz la disminuye en 0.15 kg ha⁻¹ y año. El que la pendiente de la cuota y de la superficie total tengan signo positivo son debidas a razones productivas; es decir, más cuota mayor consumo de materia seca ($r=0.38$, $P<0.01$) y más superficie, mayor número de vacas ($r=0.69$, $P<0.01$). En la actualidad, incrementos de cuota no llevan aparejados aumentos de superficie, sino de vacas. El signo negativo para la superficie de maíz se debe a su bajo contenido en proteína, pues, como se demostró anteriormente (Figura 1), existe una estrecha relación entre el porcentaje de proteína de la dieta y las pérdidas de NH_3 .

NH_3 UGM¹:

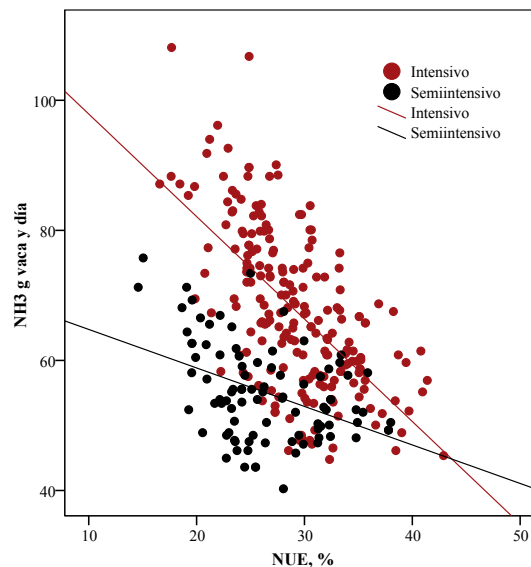
$$\text{Conjunto} = 15.6 (0.52) + 0.002 (0.0004) \text{ Cuota} + 0.16 (0.027) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.157 (0.02) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 2.9 \text{ } r^2=0.26$$

$$\text{Intensivos} = 16.8 (0.76) + 0.001 (0.001) \text{ Cuota} + 0.157 (0.03) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.16 (0.02) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 3.17 \text{ } r^2=0.19$$

$$\text{Semiintensivos} = 14.3 (0.96) + 0.004 (0.002) \text{ Cuota} + 0.123 (0.054) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.072 (0.04) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 2.0 \text{ } r^2=0.19$$

Entre sistemas, incrementos de una tonelada de cuota, las p3rdidas de NH_3 por UGM se reducen -0.001 y -0.002 kg al igual que la superficie de ma3z en -0.053 y -0.007 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente. Por el contrario, la incrementa 0.50 kg la superficie total para el conjunto de explotaciones. El que la superficie de ma3z presente signo negativo, cabe atribuirlo a una mayor eficiencia en la conversi3n de N alimenticio en N leche [NUE] (Figura 8), mayor en los intensivos. Por lo tanto, incrementar la NUE puede reducir el NH_3 perdido en el establo y estercolero en 0.89 kg por aumento de una unidad porcentual la NUE. Estas conclusiones son coincidentes con Bussink y Oenema (1998), quienes se3alan que incrementar la eficiencia de conversi3n del N alimenticio en leche, es una herramienta 3til para minimizar las p3rdidas de amon3aco.

Figura 8.- Relaci3n entre la NUE (%) y las p3rdidas de NH_3 (g vaca d3a)



$$\text{Conjunto} = 89.2 (3.7) - 0.89 (0.13) \text{ NUE } \%; \pm 11.6 \text{ } r^2=0.13$$

$$\text{Intensivos} = 113.6 (4.05) - 1.57 (0.13) \text{ NUE } \%; \pm 9.6 \text{ } r^2=0.39$$

$$\text{Semiintensivos} = 70.6 (3.6) - 0.59 (0.13) \text{ NUE } \%; \pm 6.7 \text{ } r^2=0.18$$

NH_3 Cuota (t^1)

$$\text{Conjunto} = 3.41 (0.12) - 0.001 (0.0001) \text{ Cuota} + 0.50 (0.006) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.04 (0.005) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 0.7 \text{ r}^2=0.34$$

$$\text{Intensivos} = 3.11 (0.17) - 0.001 (0.0001) \text{ Cuota} + 0.064 (0.008) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.053 (0.006) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 0.72 \text{ r}^2=0.40$$

$$\text{Semiintensivos} = 4.4 (0.27) - 0.002 (0.001) \text{ Cuota} + 0.003 (0.01) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.007 (0.01) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 0.59 \text{ r}^2=0.13$$

El volumen de NH_3 por hect3rea incrementa 0.066 kg por tonelada de leche y en -1.43 kg una hect3rea de superficie. Por el contrario, la superficie de ma3z lo disminuye en -0.26 kg ha^{-1} para el conjunto de explotaciones, m3s en los intensivos (-0.32) que los semiintensivos (-0.013).

 NH_3 ha⁻¹

$$\text{Conjunto} = 82.5 (3.4) + 0.066 (0.003) \text{ Cuota} - 1.43 (0.16) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.26 (0.14) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 18 \text{ r}^2=0.68$$

$$\text{Intensivos} = 91.7 (4.5) + 0.059 (0.003) \text{ Cuota} - 1.42 (0.19) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.32 (0.16) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 18.9 \text{ r}^2=0.70$$

$$\text{Semiintensivos} = 71.7 (4.7) + 0.13 (0.01) \text{ Cuota} - 2.59 (0.26) \text{ Superficie total (ha}^{-1}) - 0.013 (0.22) \text{ Superficie ma3z (ha}^{-1}); \pm 10.4 \text{ r}^2=0.72$$

La Tabla 2 se3ala el orden de acci3n para cada una de las variables representado por los coeficientes β , incrementando o disminuyendo la p3rdida de NH_3 UGM^{-1} ; NH_3 t^{-1} cuota y el NH_3 ha^{-1} en el conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos. Para el NH_3 UGM^{-1} , la variable m3s relevante que lo incrementa es la superficie total ($\beta=0.70$) y la decrece, la superficie de ma3z ($\beta=-0.68$) en el conjunto de explotaciones. El coeficiente estandarizado para la variable independiente superficie total en los intensivos es mayor que en los semiintensivos. Posiblemente, m3s superficie dedicada a ma3z en los semiintensivos origine descensos de NH_3 UGM^{-1} . El NH_3 por tonelada de cuota es la variable que m3s lo incrementa ($\beta=0.86$) en el conjunto de explotaciones, mayor en los sistemas intensivos que en los semiintensivos (Tabla 2). Mientras en ambos modelos de producci3n, la cuota y la superficie de ma3z lo descenden.

La variable m3s influyente que disminuye la p3rdida de amon3aco por hect3rea en todos los casos es la superficie total ($\beta=-0.66$) con similares coeficientes β entre sistemas, y lo incrementa en todos los casos la cuota (Tabla 2).

Tabla 2.- Orden de acción de mayor a menor de los coeficientes β

Orden acción	Incrementa	Decrece
	$\text{NH}_3 \text{ UGM}^{-1}$	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Superficie total (0.70)	Superficie maíz (-0.68)
2	Cuota (0.22)	
	<u>Intensivos</u>	
1	Superficie total (0.69)	Superficie maíz (-0.77)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Superficie total (0.27)	Superficie maíz (-0.16)
	$\text{NH}_3 \text{ Cuota (t}^{-1}\text{)}$	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Superficie total (0.86)	Cuota (-0.67)
2		Superficie maíz (-0.73)
	<u>Intensivos</u>	
1	Superficie total (0.84)	Superficie maíz (-0.96)
2		Cuota (-0.64)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Superficie total (0.02)	Cuota (-0.34)
		Superficie maíz (-0.064)
	$\text{NH}_3 \text{ ha}^{-1}$	
	<u>Conjunto explotaciones</u>	
1	Cuota (0.87)	Superficie total (-0.66)
2		Superficie maíz (-0.12)
	<u>Intensivos</u>	
1	Cuota (0.85)	Superficie total (-0.64)
2		Superficie maíz (-0.15)
	<u>Semiintensivos</u>	
1	Cuota (0.89)	Superficie total (-0.67)
2		Superficie maíz (-0.004)

2.2 CH₄ entérico (vacas de leche)

El metano (CH₄) tiene su origen en los procesos de fermentación anaeróbica microbiana del tracto gastrointestinal de los rumiantes, principalmente en el rumen. El volumen ruminal de una vaca adulta ocupa más de 100 litros, de los cuales, del 85% al 90% corresponde a la fracción líquida. Su elevado contenido en humedad y temperatura constante (37°C), favorece el crecimiento microbiano, utilizando el sustrato como alimento, dando lugar a una amplia gama de productos finales. La condición anaeróbica del rumen e intestino grueso, limita la oxidación de sustratos orgánicos en dióxido de carbono (CO₂) y agua, pero una reorganización interna del carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) presentes en la alimentación entre la biomasa microbiana y los productos finales, mantiene el sistema, generándose H₂ durante este proceso. Para evitar su acumulación, por sí mismo venenoso para los microbios, necesita un sumidero. Éste convierte el H₂ y CO₂ en CH₄, eliminándose a través de la eructo cuando se almacena en grandes cantidades. Otros productos importantes de la fermentación microbiana son los ácidos grasos volátiles.

La producción de metano está influenciada por: (1) características de las dietas, (2) proporción de concentrados y (3) composición y ritmo de degradación de los hidratos de carbono y proteína. Factores como las condiciones de fermentación (pH) del rumen (1); la presencia de ácidos grasos insaturados de cadena larga (2); el tipo de población microbiana en el rumen (3); la dinámica del paso del fluido ruminal, partículas y microorganismos (4); el flujo de saliva (5) y la capacidad de absorción de la pared ruminal (6) también favorecen incrementos o descensos en la formación de metano. El efecto combinado de aquellos factores están representados en las condiciones que caracterizan a los rumiantes como nivel de producción (1); estado de lactación (2) y la gestión de la alimentación (3) como tipo de suplementación; cantidad de concentrados; clase de estabulación y ordeño.

Diferentes modelos mecanísticos se han propuesto para estimar la producción metano, entre ellos Baldwin *et al.* (1987) y Mills *et al.* (2001), basados en el de Dijkstra *et al.* (1992). Este último ha sido adaptado recientemente por Bannink *et al.* (2005a) y de nuevo aplicado por Dijkstra *et al.* (2006).

En contraste con los modelos empíricos anteriores, éstos tienen en cuenta las consecuencias de la ingestión de alimento, sustrato en el rumen y clase de microorganismo que convive en el rumen (Bannink *et al.*, 2006b). Mills *et al.* (2001) demostraron que aumentos de 10 a 25 kg de materia seca vaca y día, la producción de metano expresado en porcentaje del total de la energía bruta, disminuía casi un 10%.

En la actualidad, las pérdidas de energía en forma de CH₄ respecto a la total ingerida, son estimadas el 6% (IPCC, 1996), equivalentes a 15 g CH₄ kg⁻¹ leche (Tamminga, 1997). Se espera que la producción de leche por vaca aumente en el futuro con la consiguiente reducción de CH₄ kg⁻¹ leche.

Las estimaciones obtenidas muestran que el 5.42% del total de energía bruta ingerida se pierde en forma de metano para el conjunto de las explotaciones, con diferencias significativas entre sistemas de producción (P<0.001), mayor en los semiintensivos (5.82%) que los intensivos (5.25%) (Tabla 3). Esta estimación es ligeramente inferior al 7% señalado por Johnson *et al.* (1997) en condiciones experimentales usando cámaras metabólicas, posiblemente debido a la utilización de dietas restringidas. Por su parte Johnson y Johnson (1995), obtienen rangos de producción de CH₄ amplios (2-12%) para digestibilidades de 50 a 90% procedentes de 118 experimentos, quienes concluyen que el CH₄ aumenta cuando lo hace la digestibilidad.

Los resultados del presente trabajo muestran que incrementar un punto la digestibilidad de la materia seca, la energ3a bruta p3rdida en forma de CH₄ aumenta 0.15 unidades porcentuales (Figura 9) para el conjunto de explotaciones. Entre sistemas, las mayores p3rdidas se registran en los semiintensivos de menor aporte de concentrado, debido posiblemente a la inferior tasa de paso de alimento a trav3s del r3ticulo rumen. Sin embargo, otros factores como tipo de hidratos de carbono en la dieta, nivel y consumo de alimento, presencia o no de ion3foros, grado de saturaci3n de los l3pidos en la dieta, factores medioambientales como temperatura (McAllister *et al.* 1996) y eficiencia de conversi3n de alimento en leche (Boadi *et al.* 2004), pueden modificar la formaci3n de metano.

La eficiencia de utilizaci3n de la energ3a metabolizable estimada como la relaci3n entre la ingest3n de energ3a metabolizable (MJ d⁻¹) y la energ3a bruta excretada en leche (MJ d⁻¹) (Tyrrel y Reid, 1965), explica el 56.4% de la variaci3n del CH₄ emitido respecto a la energ3a total ingerida (Figura 10). As3, cada incremento de un punto en la eficiencia de utilizaci3n de la energ3a, la p3rdida de energ3a en forma de metano disminuye 0.102 unidades porcentuales, registr3ndose la mayor pendiente en los sistemas semiintensivos (-0.116), imputable a la menor producci3n de leche (Figura 11).

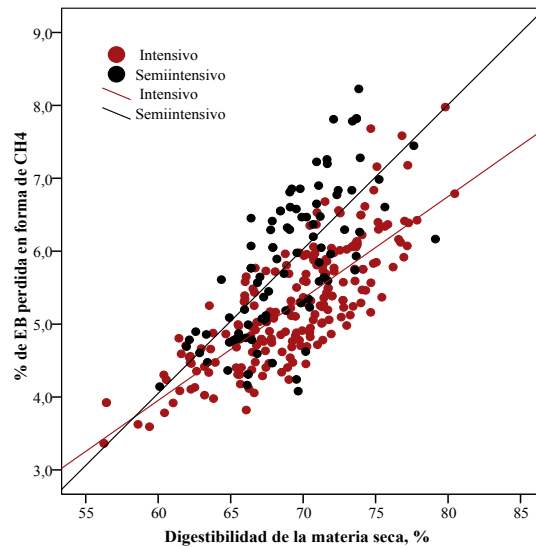
Por su parte Johnson y Johnson (1995), obtienen relaciones negativas entre la p3rdida de CH₄ y la ingest3n de alimento, mayores en dietas con superior digestibilidad. En el presente trabajo, no se observaron relaciones significativas entre el CH₄ perdido y el consumo de materia seca, posiblemente debido a la similar ingest3n de materia seca entre sistemas, aunque estad3sticamente diferente (ver Tabla 6, Cap3tulo 1 "**Alimentaci3n y producci3n de leche**"). Hindrichsen *et al.* (2006) presentan reducciones del 14% de la energ3a bruta en forma de CH₄ en dietas basadas en forraje, comparadas con las formuladas al 50% de forraje y concentrado; ligeramente superior al 12% indicado por (Benchaar *et al.*, 2001).

Tabla 3.- Ingesti3n de energ3a, producci3n de leche y metano ent3rico vaca lactante

	Conjunto	Intensivo	Semiintensivo	Std	P
MS _i , kg a ^o - ¹	7908	8028	7638	830	***
EB _i , MJ a ^o - ¹	137008	143322	122801	18173	***
FCM, kg a ^o - ¹	10541	11300	8833	1894	***
CH ₄ , g d ⁻¹	359	366	345	32.7	***
CH ₄ , g kg ⁻¹ MS	16.8	16.9	16.7	0.95	NS
CH ₄ , g kg ⁻¹ leche	12.2	11.4	14	2.2	***
CH ₄ , g kg ⁻¹ leche FCM	12.8	11.9	14.6	2.3	***
CH ₄ , g kg ⁻¹ PB leche	386	356	456	79	***
CH ₄ , g kg ⁻¹ GB leche	332	311	379	63	***
CH ₄ , MJ a ^o - ¹	7296	7429	6998	663	***
CH ₄ , kg a ^o - ¹	131	133	126	11.9	***
MJ CH ₄ MJ ⁻¹ EB _i , %	5.42	5.25	5.82	0.91	***
CH ₄ , L d ⁻¹	540	550	518	49	***
CH ₄ , L kg ⁻¹ FCM	19.2	18.0	21.9	3.46	***
CH ₄ , MJ t ⁻¹ cuota	829	765	974	202	***
CH ₄ , MJ ha ⁻¹ a ^o	20090	20719	18674	7768	*
CH ₄ , kg ha ⁻¹ a ^o	361	372	336	39	*

MS_i: materia seca ingerida; EB_i: energ3a bruta ingerida; FCM: leche corregida al 4% graso; Std: desviaci3n estandar; P: nivel de significaci3n, * P<0.05, *** P<0.001, NS: no significativo

Figura 9.- Relaci3n entre la digestibilidad de la dieta (%) y las p3rdidas de energ3a bruta (%)

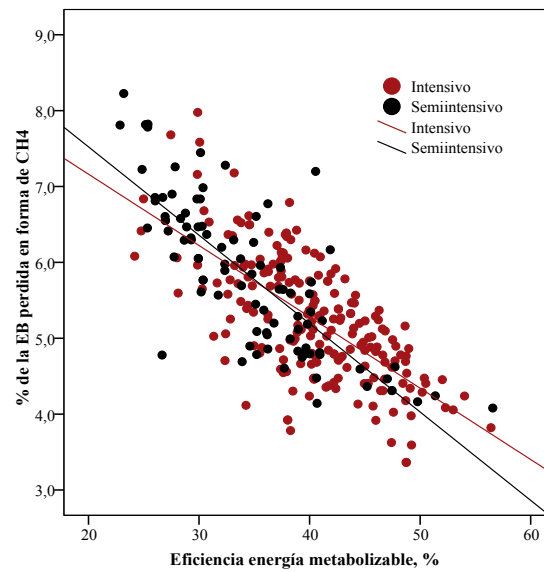


$$\text{Conjunto} = -4.91 + 0.15 \text{ dMS } (\%); \pm 0.64 \text{ } r^2=0.50$$

$$\text{Intensivo} = -4.43 + 0.14 \text{ dMS } (\%); \pm 0.49 \text{ } r^2=0.63$$

$$\text{Semiintensivo} = -7.82 + 0.198 \text{ dMS } (\%); \pm 0.71 \text{ } r^2=0.49$$

Figura 10.- Relación entre la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (%) y las pérdidas de energía bruta (%)

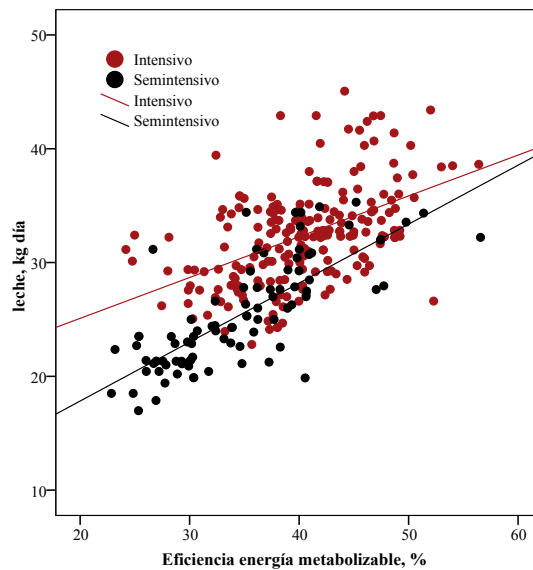


$$\text{Conjunto} = 9.36 - 0.102 \text{ Eficiencia EM (\%)}; \pm 0.60 \text{ } r^2=0.56$$

$$\text{Intensivo} = 9.02 - 0.094 \text{ Eficiencia EM (\%)}; \pm 0.60 \text{ } r^2=0.46$$

$$\text{Semiintensivo} = 9.85 - 0.116 \text{ Eficiencia EM (\%)}; \pm 0.60 \text{ } r^2=0.64$$

Figura 11.- Relación entre la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (%) y la producción de leche (kg d^{-1})



$$\text{Conjunto} = 13.6 + 0.82 \text{ Leche (kg d}^{-1}\text{)}; \pm 5.01 \text{ } r^2=0.45$$

$$\text{Intensivo} = 18.7 + 0.66 \text{ Leche (kg d}^{-1}\text{)}; \pm 5.12 \text{ } r^2=0.24$$

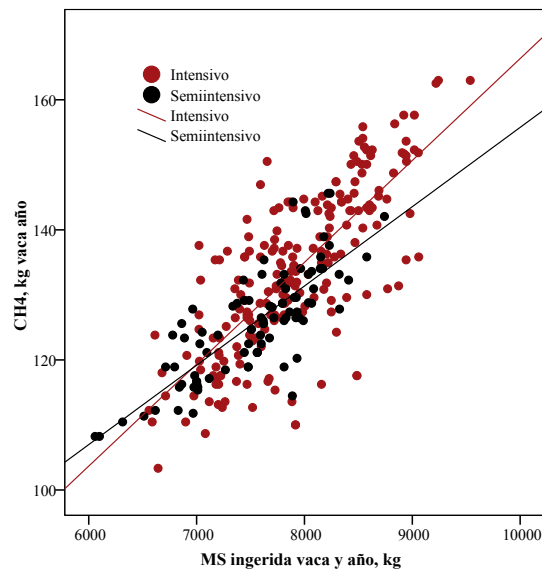
$$\text{Semiintensivo} = 5.67 + 1.13 \text{ Leche (kg d}^{-1}\text{)}; \pm 4.4 \text{ } r^2=0.59$$

La ingestión de materia seca, energía bruta y la producción de leche corregida al 4% graso vaca año en el conjunto de explotaciones son 7908 kg, 137008 MJ y 10541 kg respectivamente (Tabla 3), ligeramente superior a 6411 kg; 117497 MJ y 7977 kg en Holanda (Smink *et al.*, 2005).

Las pérdidas de CH_4 (g d^{-1}) son de 359 g en el conjunto de explotaciones y entre sistemas, mayor en las intensivos 366 g ($P < 0.001$) y 345 g las semiintensivas. Valores similares a 346 y 349 g señalado por Lovett *et al.* (2005), quienes aprecian pérdidas mayores cuando las vacas reciben superior aporte de concentrado. Posiblemente, la diferencia en +2.25 kg de concentrado vaca y día a favor de los intensivos (ver Tabla 6, Capítulo 1 “*Alimentación y producción de leche*”), no sea suficiente para alcanzar pH_s ruminales más bajos. En cualquier caso, los valores de pH estimados a partir del porcentaje graso de la leche (Allen, 1997) son similares, 6.14 ± 0.18 en los intensivos y 6.14 ± 0.19 los semiintensivos. La acidez ruminal influye en la fermentación de dos maneras. En primer lugar, pH_s inferiores a 6.2 reducen la actividad fibrolítica de los microorganismos que degradan fibra (Argyle y Baldwin, 1988; Dijkstra *et al.*, 1992), determinantes sobre la degradabilidad de la pared celular, producción de ácidos grasos volátiles y metano. Segundo, el pH determina el perfil de ácidos grasos volátiles producidos por separado dependiendo del tipo de sustrato y dieta. Un aumento de la tasa de fermentación del sustrato, como resultado del incremento de la ingestión debido a concentrar las comidas, lleva aparejado aumentos en las tasas de producción de ácidos grasos volátiles, favoreciendo la del propionato. Esta circunstancia favorece una menor formación de H_2 e inferior rendimiento en metano. Estudios desarrollados *in vivo* sobre la fermentación ruminal (Bannink *et al.*, 2005a y 2005b), observaron descensos del 15% de CH_4 cuando se reduce de 6.5 a 5.5 el pH ruminal.

En Cantabria, el consumo medio diario de alimento en vacas de alta producción varía de 20 a 24 kg de materia seca, por lo que el potencial de reducir las emisiones de CH_4 por aumentos de concentrado parece limitado. No obstante, se observan relaciones lineales entre la producción de CH_4 y el consumo de materia seca (kg vaca año) (Figura 12), coincidente con O'Mara (2004).

Figura 12.- Relación entre la producción de CH₄ (kg año⁻¹) y el consumo de materia seca



$$\text{Conjunto} = 12.2 + 0.015 \text{ kg MS año}; \pm 7.44 \text{ } r^2=0.61$$

$$\text{Intensivo} = 9.66 + 0.016 \text{ kg MS año}; \pm 8.11 \text{ } r^2=0.58$$

$$\text{Semiintensivo} = 33.8 + 0.012 \text{ kg MS año}; \pm 5.14 \text{ } r^2=0.63$$

La concentración de CH₄ g⁻¹ materia seca ingerida no difiere entre sistemas de producción, con valores medios de 16.8, 16.9 y 16.7 g en el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente.

El número de lactación es otra variable asociada con la producción de metano (O'Mara, 2004). En el presente trabajo, la mayor producción se registra en vacas con menos de dos lactaciones (137±14 kg año⁻¹); 131±12 kg entre la segunda y tercera lactación y 123±8 kg las mayores de tres (Figura 13), imputable a la producción de leche (Figura 14). De esta forma, entre la 1ª y 2ª lactación, el CH₄ por kilogramo de leche al 4% graso aumenta 0.005 kg; 0.003 kg las vacas de 2ª a 3ª lactación y disminuye -0.003 kg kg⁻¹ las vacas de más de tres lactaciones.

Las investigaciones desarrolladas por Van Laar y Van Straalen (2004) citado por Tamminga *et al.* (1997) con vacas en media lactación, produciendo 31 kg de leche y alojadas en cámaras de respiración, demostraron reducciones de 12.7 g de CH₄ por kilogramo de leche, a 11.9 g estimado por métodos indirectos (Ellis *et al.*, 2007) en las explotaciones intensivas mediando 177±21 días de lactación y 32.3±4.3 kg de leche por día. Por el contrario, los gramos de CH₄ por kilogramo de leche corregido al 4% graso, fue superior (P<0.001) en los semiintensivos (Tabla 3), imputable a la menor producción de leche, coincidente con O'Mara (2004), quien señala reducciones de metano al aumentar la producción de leche.

Figura 13.- Producci3n anual de CH₄ por vaca seg3n el n3mero de lactaci3n

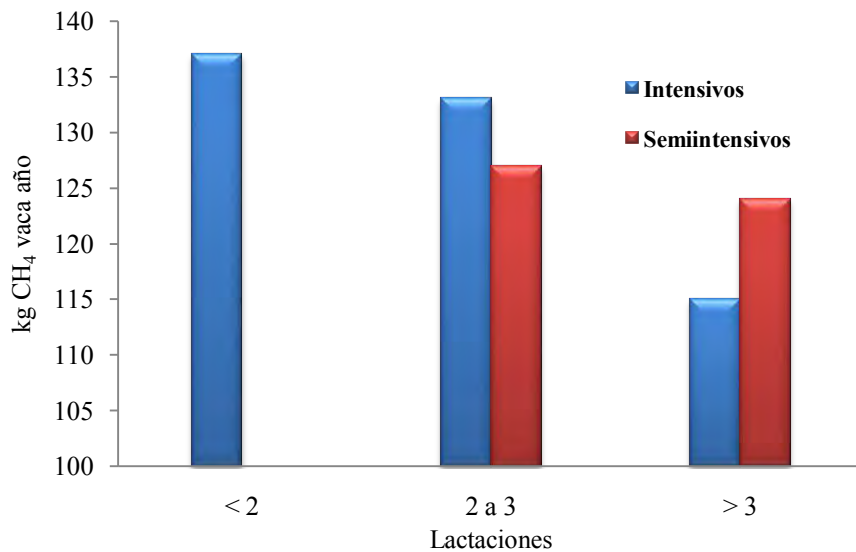
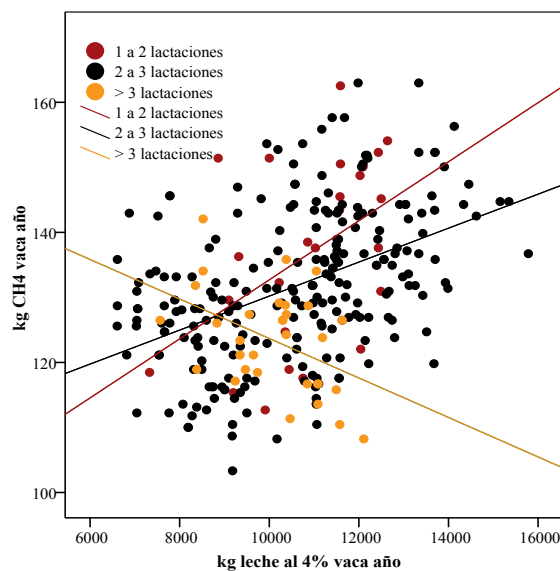


Figura 14.- Relaci3n entre la producci3n anual de leche corregida al 4% graso y el CH₄ vaca lactante, seg3n el n3mero de lactaci3n



$$(CH_4 \text{ vaca a3o, kg } 1^a \text{ a } 2^a \text{ lactaci3n}) = 87.3 + 0.005 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a3o}; \pm 12.6 \text{ } r^2=0.21$$

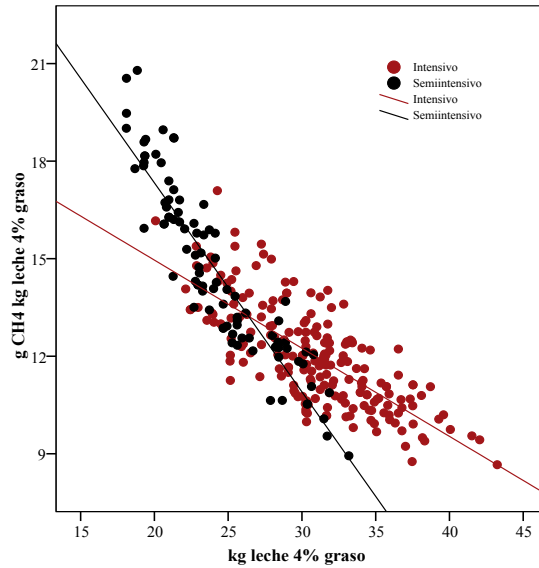
$$(CH_4 \text{ vaca a3o, kg } 2^a \text{ a } 3^a \text{ lactaci3n}) = 104 + 0.003 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a3o}; \pm 10.4 \text{ } r^2=0.20$$

$$(CH_4 \text{ vaca a3o, kg } > 3 \text{ lactaciones}) = 154 - 0.003 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a3o}; \pm 7.19 \text{ } r^2=0.19$$

Para los semiintensivos, los resultados aqu3 obtenidos son inferiores a los se3alados por Lovett *et al.* (2005) en vacas lecheras alimentadas con hierba de prado y suplementadas con 0.87 y 5.24 kg de concentrado, observ3ndose reducciones de 0.62 g de CH₄ por kilogramo de leche corregido al 4% graso. En cualquier caso, el m3todo adoptado (g CH₄ por kilogramo de leche tal cual o g de CH₄ por kg de leche corregido al 4% graso), es una herramienta 3til para estimar la producci3n de metano. Con un aumento del 10% en la producci3n de leche corregida al 4% de 25 a 27.5 kg d3a, puede

reducirse un 6.3% de CH₄. Este porcentaje es similar a 5% señalado por Tamminga *et al.* (2007), al incrementar la producción de leche corregida al 4% graso desde 21.9 a 24.1 kg día. Estos autores presentan relaciones inversas en la emisión de CH₄ entérico al incrementar la producción de leche del tipo: 27.5 - 0.436 (kg leche FCM), $r^2=0.81$. En el presente trabajo, la relación observada es: 23.6 -0.376 (kg leche FCM), ± 1.22 $r^2=0.72$ (Figura 15) para el conjunto de explotaciones.

Figura 15.- Relación entre producción de leche corregida al 4% graso (kg d⁻¹) y el CH₄ entérico (g CH₄ kg⁻¹ leche 4% graso)



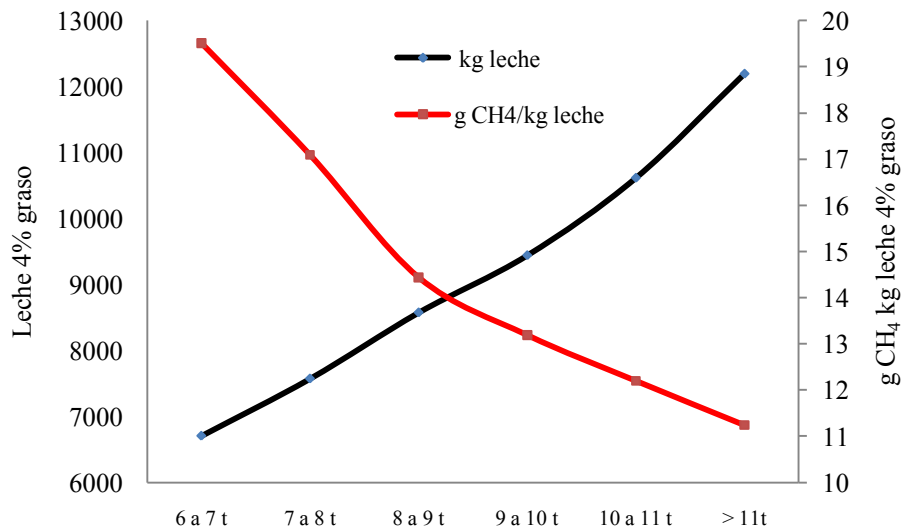
$$\text{Conjunto} = 23.6 (0.4) - 0.37 (0.014) \text{ kg leche 4\% graso}; \pm 1.22 \text{ } r^2=0.72$$

$$\text{Intensivo} = 20.3 (0.51) - 0.27 (0.17) \text{ kg leche 4\% graso}; \pm 1.01 \text{ } r^2=0.57$$

$$\text{Semiintensivo} = 30.1 (0.7) - 0.64 (0.029) \text{ kg leche 4\% graso}; \pm 1.03 \text{ } r^2=0.85$$

La Figura 16 señala la evolución de metano por kilogramo de leche corregida al 4% a diferentes estratos de producción unitaria.

Figura 16.- Producci3n de leche y CH₄ por kilogramo de leche corregido al 4% graso a diferentes estratos de producci3n l3ctea por a1o



La producci3n de metano expresado en MJ es menor en los sistemas semiintensivos, imputable a la inferior producci3n de leche ($P < 0.001$). En ambos casos (kg o MJ de CH₄) son similares a 125 kg y 6934 MJ obtenidos en Holanda (Tamminga *et al.*, 1997) y superiores a 99.8 (Roc3o *et al.*, 2005). La producci3n de metano para una vaca de 8000 kg de leche es estimada en 130 kg a1o⁻¹ (Schills *et al.*, 2005) mediante modelos lineales. Dicho modelo contempla como variable dependiente la producci3n de leche ($50 + 0.01 x$), siendo x los kilogramos de leche vaca a1o. Seg3n el mismo criterio, la ecuaci3n obtenida en el presente trabajo es del tipo: kg CH₄ vaca a1o = $106.2 + (0.002 \text{ kg leche})$ en vacas mediando 11247 ± 2030 kg de leche a1o.

La producci3n media de CH₄ (L vaca d3a) es de 540 L (Tabla 3), mayor en los intensivos, con valores medios de 550 y 518 L los semiintensivos, coincidente con Vermorel (1995) en el sentido que el volumen de CH₄ emitido por vaca y d3a es mayor cuando la producci3n de leche aumenta. Por el contrario, disminuye cuando se expresa en litros de metano por kilogramo producido. Las relaciones obtenidas entre la producci3n de leche corregida al 4% graso y el volumen de metano vaca y d3a son del tipo:

$$\begin{aligned} \text{Conjunto} &= 30.6 - 0.0011 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 1.53 \text{ } r^2=0.57 \\ \text{Intensivo} &= 45.3 - 0.0026 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 1.56 \text{ } r^2=0.85 \\ \text{Semiintensivo} &= 35.5 - 0.0015 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 1.84 \text{ } r^2=0.72 \\ \text{Conjunto} &= 426.5 - 0.011 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 44.7 \text{ } r^2=0.17 \\ \text{Intensivo} &= 379.7 - 0.015 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 45.8 \text{ } r^2=0.21 \\ \text{Semiintensivo} &= 573 - 0.006 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso a1o}^{-1}; \pm 33.6 \text{ } r^2=0.06 \end{aligned}$$

Las pendientes obtenidas en este trabajo son inferiores a $-0.0052 \text{ L kg}^{-1}$ leche y $+0.0193 \text{ L día}$ señaladas por Vermorel (1995), imputable a la mayor producción de leche observada en este trabajo.

El enfoque de la modelización del CH_4 en el modelo de Schils *et al.* (2005, 2006a y 2006b) viene presentado en la Tabla 4. Otros modelos, (IPCC, 1996; Oudendag y Kuikman, 2004; Kuikman *et al.*, 2005), contabilizan las emisiones de gases de efecto invernadero, pero todos adoptan los factores de emisión, considerándose similar al de Schils *et al.* (2005). Este tipo de modelos normalmente adoptan el concepto de un factor de emisión de CH_4 constante y específico para un tipo de alimentación, dieta o sistema de producción.

Tabla 4.- Modelos y variables usadas para explicar la producción de CH_4 en rumiantes

Modelo empírico estático	Consumo alimento	Digestibilidad	Tipo de carbohidrato	Proporción forraje	Producción leche	Peso vivo
<i>Relaciones lineales</i>						
Axelsson, 1949	X	-	-	-	-	-
Blaxter y Claoperton, 1965	X	X	-	-	-	-
Moe y Tyrrell, 1979	X	X	X	-	-	-
Holter y Young, 1992	X	X	X	X	X	X
Kirchgeßner <i>et al.</i> 1994	X	X	X	-	-	-
Kirchgeßner <i>et al.</i> 1995	-	-	-	-	X	X
Johnson y Ward, 1996	X	X	X	-	-	-
Yan <i>et al.</i> 2000	X	X	-	X	-	-
Corre, 2002	-	-	-	-	X	-
Mills <i>et al.</i> 2003	X	-	-	-	-	-
Hindrichsen <i>et al.</i> 2004	X	X	X	-	-	-
Schils <i>et al.</i> 2006a	X	-	X	-	-	-
<i>Relaciones no lineales</i>						
Mills <i>et al.</i> 2003	X	X	X	-	-	-

2.2.1. Estimación del CH_4 a partir de la dieta

La mayor producción de leche en los sistemas intensivos de Suecia (9240 kg vaca año), producen un 50% menos de emisiones en forma de CH_4 que las ecológicas (7127 kg año⁻¹), imputable a la mayor digestibilidad de la dieta (Coderberg y Flysjo, 2004).

La producción de CH_4 vaca y año está positivamente relacionada con la concentración de carbohidratos no fibrosos (CNF) ($r=0.43$, $P<0.01$); $r=0.32$, $P<0.01$ la proteína bruta (PB); $r=0.55$, $P<0.01$ la energía neta leche (ENL) y el total de nutrientes digestibles (TDN) $r=0.63$, $P<0.01$, y negativamente con la fibra ácido detergente (FAD) $r=-0.66$, $P<0.01$. Por el contrario, superiores coeficientes de correlación respecto al consumo de nutrientes para CNF= 0.63 , $P<0.01$; PB= 0.60 , $P<0.01$; ENL= 0.89 , $P<0.01$ y TDN= 0.95 , $P<0.01$ y menor con la ingestión de FAD= -0.33 , $P<0.01$.

El modelo propuesto por Holter y Young (1992) sin considerar el tipo de

carbohidrato fue desarrollado para estimar los g CH₄ vaca d3a; g CH₄ kg de leche corregido al 4% graso y los litros de CH₄ d3a (Tabla 5).

■ ■ ■ **Tabla 5.** An3lisis de regresi3n m3ltiple de los gramos de CH₄ d3a

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-224.3***	11.3				
MS d ⁻¹ , kg	14.0***	0.35	0.72	0.98	1.01	
TDN, %	4.11***	0.13	0.54	0.98	1.01	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza; **MS**: kg de materia seca; **TDN**: total nutrientes digestibles

$$\text{g CH}_4 \text{ d}^{-1} = -224.3 + 14.0 \text{ MS} + 4.11 \% \text{ TDN}; \pm 10.1 \text{ } r^2 = 0.90$$

■ ■ ■ **Tabla 6.** An3lisis de regresi3n m3ltiple de los gramos de CH₄ kg⁻¹ leche 4% graso

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	3.6***	1.25				
MS d ⁻¹ , kg	0.49***	0.036	0.36	0.90	1.11	
Forraje, %	0.018**	0.007	0.067	0.90	1.1	
TDN, %	0.14***	0.014	0.26	0.94	1.05	
Leche, kg d ⁻¹	-0.39***	0.011	-0.93	0.83	1.19	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{g CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ FCM} = 3.6 + 0.49 \text{ MS} + 0.018 \% \text{ Forraje} + 0.14 \% \text{ TDN} - 0.39 \text{ Leche}; \pm 0.98 \text{ } r^2 = 0.82$$

■ ■ ■ **Tabla 7.** An3lisis de regresi3n m3ltiple de los litros de CH₄ d⁻¹

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-333.1***	16.3				
MS d ⁻¹ , kg	20.2***	0.52	0.69	0.91	1.09	
TDN, %	5.98***	0.20	0.53	0.95	1.05	
Leche, kg d ⁻¹	0.87***	0.11	0.09	0.88	1.13	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{L CH}_4 \text{ d}^{-1} = -333.1 + 20.2 \text{ MS} + 5.988 \% \text{ TDN} + 0.87 \text{ kg leche}; \pm 10.1 \text{ } r^2 = 0.90$$

■ ■ ■ **Tabla 8.** An3lisis de regresi3n m3ltiple de los gramos de CH₄ d⁻¹ en funci3n del consumo de alimento fresco

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	286.3***	11.8				
Ensilado hierba, kg d ⁻¹	0.90**	0.36	0.18	0.69	1.44	
Ensilado ma3z, kg d ⁻¹	0.71*	0.33	0.15	0.77	1.28	
Concentrado, kg d ⁻¹	5.0***	0.77	0.52	0.58	1.70	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{g CH}_4 \text{ d}^{-1} = 286.3 + 0.9 \text{ EH} + 0.71 \text{ EM} + 5.0 \text{ C}; \pm 26.5 \text{ } r^2 = 0.28$$

Tabla 9. Análisis de regresión simple de los gramos de CH₄ kg⁻¹ leche 4% graso en función del consumo de concentrado

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	15.9***	0.46	
Concentrado, kg d ⁻¹	-0.28***	0.039	0.36

*** P<0.001

$$\text{g CH}_4 \text{ kg FCM} = 15.9 - 0.28 \text{ kg concentrado}; \pm 2.08 \text{ } r^2=0.15$$

Tabla 10. Análisis de regresión múltiple de los litros de CH₄ d⁻¹ en función del consumo de alimento en fresco

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	430.3***	17.4			
Ensilado hierba, kg d ⁻¹	1.35**	0.54	0.18	0.69	1.44
Ensilado maíz, kg d ⁻¹	1.07*	0.50	0.15	0.77	1.28
Concentrado, kg d ⁻¹	7.62***	1.1	0.52	0.58	1.7

*** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{L CH}_4 \text{ d}^{-1} = 430.3 + 1.35 \text{ EH} + 1.07 \text{ EM} + 7.62 \text{ C}; \pm 39.9 \text{ } r^2=0.28$$

Entre modelos, los que incluyen consumo de materia seca, porcentaje de forraje en la dieta, concentración de TDN y producción de leche, presentan mejor correlación (Tablas 5 a 7), frente a los que incorporan los alimentos mayoritariamente usados en la explotación (Tablas 8 a 10) para cada una de las variables dependientes analizadas (g CH₄ día; g CH₄ kg leche al 4% graso y litros de CH₄ día).

Aumentar la digestibilidad de la pared celular de los forrajes ha sido sugerido como herramienta orientada a minimizar las pérdidas de CH₄, pero en la hierba fresca y el ensilado de hierba, el ámbito de aplicación de este enfoque parece ser más bien limitado. En el presente trabajo, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica de los ensilados de hierba (ver Tabla 4: Capítulo 1 “*Alimentación y producción de leche*”) presenta un valor medio de 56.3%, considerados como forrajes de mediana calidad, con elevados contenidos de fibra neutro detergente (59.6±7.2%) y baja concentración de N (2.11±0.47%) en la materia seca. En este estudio, el ensilado de hierba mostró mayor producción diaria de CH₄ por kg de forraje en fresco (0.90 vs. 0.71 el ensilado de maíz (Tabla 8); sin embargo, los coeficientes beta estandarizados presentan correlaciones y error estándar de las variables independientes similares. Ni el ensilado de hierba ni el de maíz, manifiestan correlación respecto a la producción de CH₄ por kilogramo de leche

corregida al 4% graso, pero sí, una reducción de 0.28 g de CH₄ por kilogramo de leche, imputable a factores de fermentación ruminal discutidos anteriormente.

Por su parte Tamminga *et al.* (1997) especulan sobre el uso del ensilado de maíz como alimento para minimizar las emisiones de metano entérico frente a los ensilados de hierba, pese a la menor digestibilidad de la pared celular de aquellos (53.4% vs. 72.5%).

2.3. Equivalentes de CO₂-eq por hectárea y consecuencias medioambientales (conjunto explotación)

2.3.1. Metano (CH₄)

El metano (CH₄) es el segundo gas de efecto invernadero (GEI) en importancia después del CO₂, contribuyendo con el 20% del calentamiento global (Dragosits *et al.*, 2008). Principalmente, procede de la fermentación entérica y del manejo del estiércol, como subproducto de la fermentación bacteriana anaerobia de los carbohidratos presentes en el alimento y excretas. Para la primera, entre otras, el tipo y tamaño del animal, consumo y digestibilidad de la dieta son factores que afectan directamente sobre el metano.

En términos absolutos la producción de CH₄ UGM⁻¹ año para cada sistema de producción estudiado es de 145±56 en los intensivos y 132±44 los semiintensivos, con un valor medio para el conjunto de las explotaciones de 141±53 kg (Figura 17), ligeramente superiores a 114 kg en los sistemas convencionales intensivos del Reino Unido (Dragosits *et al.*, 2008). Variables como la superficie de la explotación ($r=0.30$, $P<0.01$), la dedicada a pradera ($r=-0.22$, $P<0.01$) y maíz ($r=0.35$, $P<0.01$) presentan moderada correlación y robusta respecto a la carga ganadera de la explotación y signo negativo ($r=-0.75$, $P<0.01$) con las emisiones de CH₄ UGM⁻¹.

Para el N₂O, los valores obtenidos por UGM año son 1.86 kg en los intensivos y 1.56 kg los semiintensivos (12.9% del total de CO₂-eq ha⁻¹) y dentro del rango 0.4 a 12.2 kg (Dragosits *et al.*, 2008). Por el contrario, los kilogramos de NH₃ procedente del manejo del estiércol son de 14 kg UGM año⁻¹ y 24.7 y 20.1 kg vaca lechera año en los intensivos y semiintensivos respectivamente, ligeramente inferior a 33 kg señalado por (Dragosits *et al.*, 2008).

La producción media de CH₄ ha⁻¹ y UGM en las trece explotaciones es 552±142 kg (Figura 17) y diferentes entre ellas ($P<0.05$), con mínimos de 333±15 kg en la explotación número 1 (semiintensiva) y máximos de 880±41 kg en la 6 (intensiva), sin relaciones significativas entre la superficie total, la dedicada a pradera o maíz, número

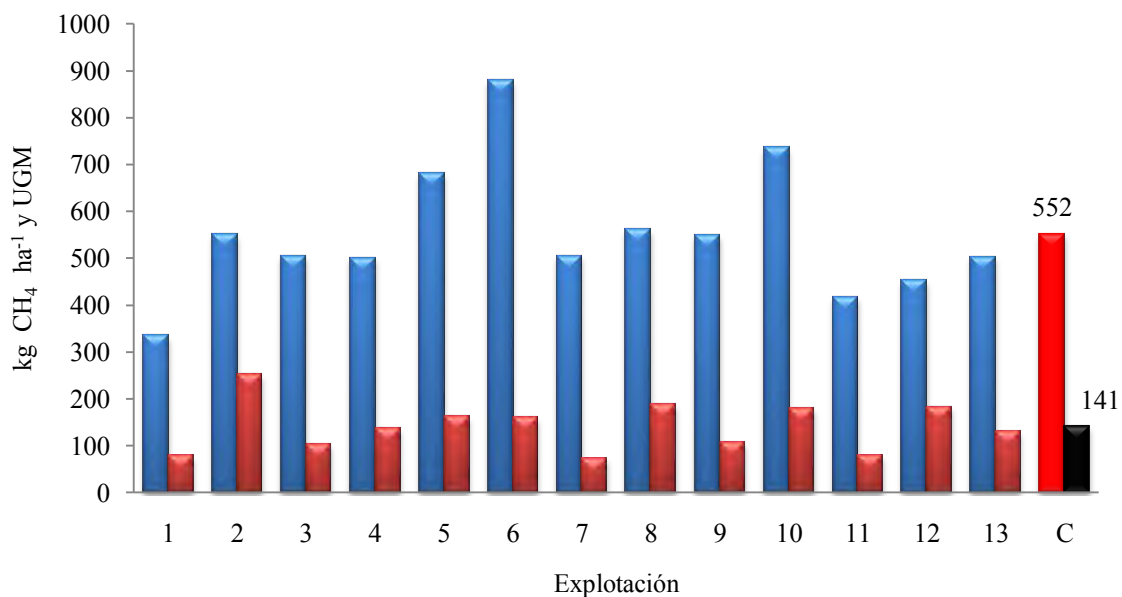
de vacas de leche en ordeño y número de UGM ha⁻¹. Por el contrario, sí se observan diferencias (P<0.001) entre sistemas de producción, registrándose los valores mayores en los intensivos, (Tabla 11).

Tabla 11.- Emisiones de gases efecto invernadero (GEI) entre sistemas de producción

	C	I	S	Std	P
CH₄ ha⁻¹ año, kg					
Entérico, kg	434	456	384	142	***
Estiércol, kg	118	122	108	39.6	***
TOTAL kg CH ₄	552	578	492	142	***
TOTAL, kg CO ₂ -eq	11583	12134	10342	3000	***
CO₂ ha⁻¹ año, kg					
N ₂ O, kg CO ₂	149	161	123	57	***
Purín + Fertilizantes, kg CO ₂	2176	2325	1839	1045	***
Gas-oil, kg CO ₂	1054	1089	975	330	***
TOTAL, kg CO ₂ -eq	3379	3575	2937	4778	***
N₂O ha⁻¹ año, kg					
Estiércol, kg	0.48	0.51	0.39	0.18	***
Fertilizante, kg	0.00046	0.00043	0.00047	0.0018	NS
Suelo, kg	6.72	7.19	5.65	2.64	***
TOTAL, kg N ₂ O	7.20	7.71	6.04	2.79	***
TOTAL, kg CO ₂ -eq	2232	2391	1875	886	***
Total CO₂-eq UGM⁻¹ año, kg	4302	4440	3990	1367	***
Total CO₂-eq VL⁻¹ año, kg	6971	7338	6144	2582	***
Total CO₂-eq ha⁻¹ año, kg	17195	18102	15155		
Mínimo		12965	10610	3814	***
Máximo		28036	28433		
Kg CO₂-eq kg⁻¹ leche 4% graso	0.67	0.65	0.70	0.22	NS
Mínimo		0.22	0.41		
Máximo		1.61	1.37		
Kg CO₂-eq del CH₄ t⁻¹ leche 4% graso	461	451	486	182	NS
Mínimo		134	256		
Máximo		1046	1042		
Kg CO₂-eq del CO₂ t⁻¹ leche 4% graso	125	121	132	47	NS
Mínimo		49	79		
Máximo		498	382		
Kg CO₂-eq del N₂O t⁻¹ leche 4% graso	82	81	84.3	29.3	NS
Mínimo		29	46		
Máximo		301	225		
Total gases efecto invernadero t⁻¹ leche	669	654	702	220	NS
Mínimo		223	407		
Máximo		1605	1373		
% de CO₂-eq					
CH ₄	67.5	67.2	68.1	9.2	NS
CO ₂	19.5	19.6	19.4	5.44	NS
N ₂ O	12.9	13.1	12.4	3.8	NS

C: conjunto; I: sistemas intensivos; S: sistemas semiintensivos; VL: vaca lechera; Std: desviación estándar; P: nivel de significación, *** P<0.001; NS: no significativo

Figura 17.- Producción de CH₄ ha⁻¹ y UGM entre explotaciones



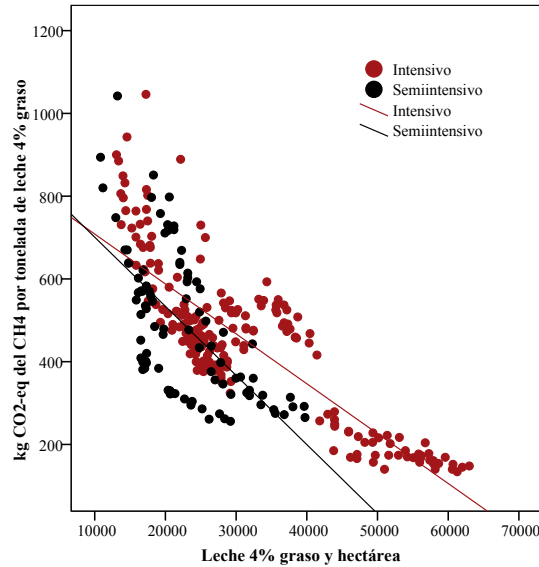
La similar producción de CH₄ expresada en kg de CO₂-eq por tonelada de leche corregida al 4% graso en ambos sistemas (Tabla 11), cabe imputarla a consumos similares de nutrientes, aunque con diferencias en algunos parámetros (Tabla 6: ver Capítulo 1 *“Alimentación y producción de leche”*) a sistemas de recogida, almacenamiento y equipos de distribución del purín, obteniéndose valores medios de 486±175 kg en los semiintensivos y 451±184 kg los intensivos. En cualquier caso, similares a 510 kg señalados por Cederberg y Mattson (2000) y ligeramente inferiores a 414 kg en Suecia (Cederberg y Flyjö, 2004), ambos en condiciones de pastoreo intensivo. Por su parte Thomassen *et al.* (2007), señalan para explotaciones medioambientalmente no agresivas menos kg CH₄ de CO₂-eq por tonelada de leche (365 kg) que las intensivas (425 kg) y 488 kg las ecológicas. Estos autores concluyen que reducir el uso de concentrado de alto impacto ambiental y disminuir los excedentes de nutrientes en la explotación, contribuye a minimizar las emisiones de CH₄ en kg de CO₂-eq.

Los sistemas de producción de leche en pastoreo como los de Nueva Zelanda emiten grandes sumas de metano debido a la baja digestibilidad del forraje y producción de leche por vaca; sin embargo, la emisiones de CH₄ en estos sistemas son relativamente bajas (479 kg CO₂-eq t⁻¹ leche) comparadas con los sistemas intensivos de Europa.

El análisis de regresión (Figura 18) mostró que incrementos de un kilogramo de leche corregido al 4% graso por hectárea, se reduce 0.012 kg de CO₂-eq tonelada para el

conjunto de explotaciones; -0.012 los intensivos y -0.017 kg t⁻¹ los semiintensivos (Figura 18). Por el contrario, las relaciones obtenidas con la producción de leche al 4% UGM⁻¹ ha⁻¹ son inferiores, con pendientes muy similares y bajos coeficientes de determinación entre sistemas de producción (Figura 19).

Figura 18.- Relación entre la producción de leche ha⁻¹ y las emisiones de CO₂-eq t⁻¹ leche

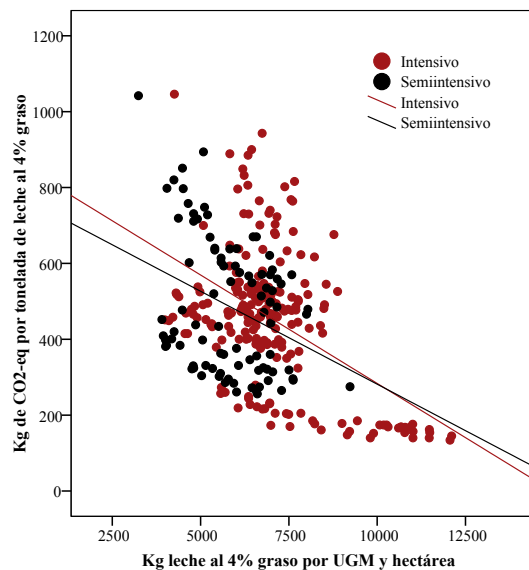


$$\text{Conjunto} = 797 - 0.012 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso ha}^{-1}; \pm 116 \text{ } r^2=0.59$$

$$\text{Intensivo} = 828.9 - 0.012 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso ha}^{-1}; \pm 98 \text{ } r^2=0.71$$

$$\text{Semiintensivo} = 867.8 - 0.017 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso ha}^{-1}; \pm 134 \text{ } r^2=0.42$$

Figura 19.- Relación entre la producción de leche UGM⁻¹ hectárea y las emisiones de CO₂-eq t⁻¹ leche



$$\text{Conjunto} = 809 - 0.052 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso UGM ha}^{-1}; \pm 162 \text{ } r^2=0.20$$

$$\text{Intensivo} = 855 - 0.057 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso UGM ha}^{-1}; \pm 160 \text{ } r^2=0.25$$

$$\text{Semiintensivo} = 771 - 0.049 \text{ kg leche } 4\% \text{ graso UGM ha}^{-1}; \pm 166 \text{ } r^2=0.11$$

2.3.2. Óxido nitroso (N_2O)

La intensificación de las explotaciones cántabras ha originado elevados inputs de N en forma de alimentos comprados (93%) y empleo de fertilizantes (5.34%) principalmente, recuperándose el 27.5% en forma de leche y animales. Parte del N (72.5%) puede ser incorporado al suelo en forma de materia orgánica, pero una gran parte se pierde en forma de nitrato (NO_3^-) por lixiviación y volatilización como amoníaco (NH_3), dinitrógeno (N_2), óxidos de N (NO_x) y óxido nitroso (N_2O). El óxido nitroso es un gas de gran efecto invernadero involucrado en los procesos de destrucción de la capa de ozono estratosférico, producido durante las reacciones de oxidación-reducción de los compuestos nitrogenados (Houghton *et al.*, 1996).

El Surplus de N ha^{-1} obtenido en ambos sistemas de producción lechera es elevado, ver más adelante capítulo **“Balance y modelización del N y P de las explotaciones lecheras en Cantabria”** (489 kg las explotaciones intensivas y 314 kg las semiintensivas). Éste se relaciona con la concentración de N total del suelo (Figura 20), observándose que incrementos de Surplus, la concentración de N en el suelo aumenta, lo que cabe pensar en grandes pérdidas de NH_3 y emisiones en forma de N_2O .

■ ■ ■ **Figura 20.-** Relación entre el Surplus ($kg N ha^{-1}$) y el N total del suelo (%)

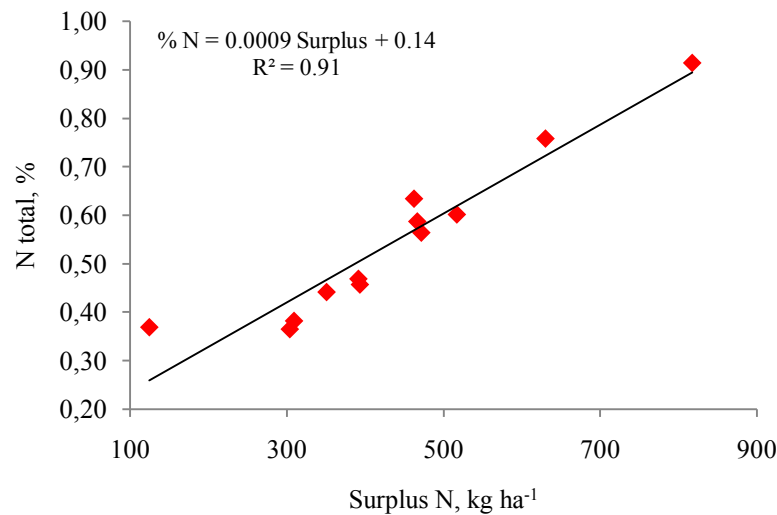


Figura 21.- Relación entre el N total del suelo (%) y el N₂O (kg N ha⁻¹)

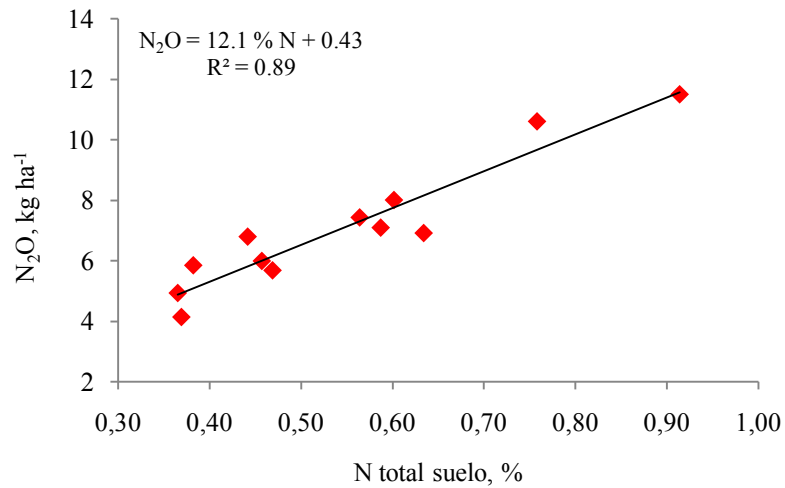


Figura 22.- Relación entre el contenido de N total del suelo (%) y el NH₃ (kg N ha⁻¹)

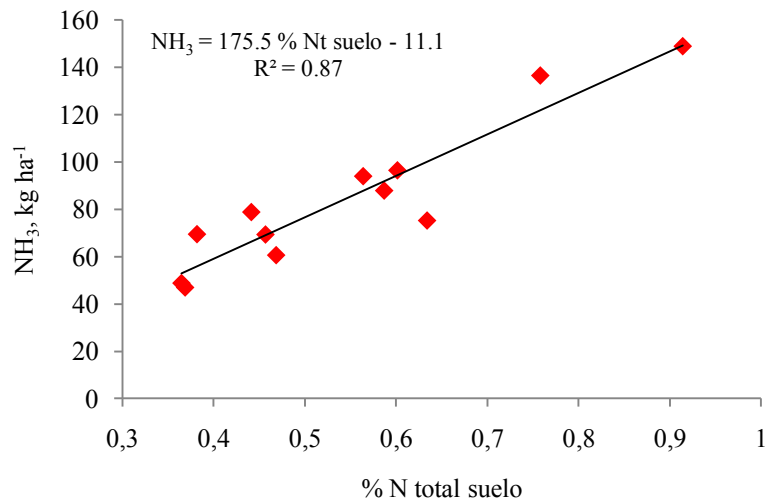
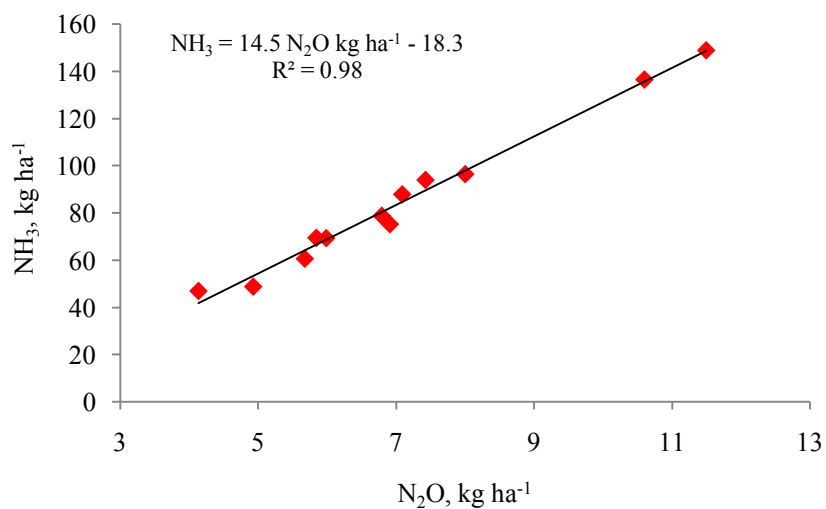


Figura 23.- Relación entre el N₂O (kg ha⁻¹) y el NH₃ (kg N ha⁻¹)

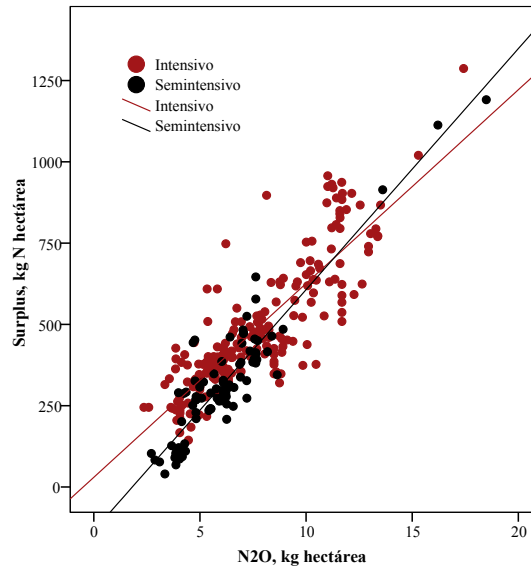


Las mayores fuentes de N_2O son los procesos de nitrificación y desnitrificación del suelo (Egginton y Smith, 1986; McTaggart *et al.*, 1994; Velthof *et al.*, 1996) y, directamente influenciadas por el tipo de suelo, clase de ganado, carga ganadera, manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes e indirectamente, respaldado por la composición del alimento, el N excretado y los lixiviados de nitrato (no determinado en este trabajo). Las emisiones casuales de N_2O en los sistemas de producción lechera no están bien definidas, puesto que las condiciones en las que el N_2O se produce no se comprenden totalmente (Thomassen *et al.* 2007).

La gestión del estiércol mediante el almacenamiento y sistema de aplicación son alternativas de manejo que contribuyen a minimizar las emisiones de N_2O en comparación con los sistemas exclusivamente a pastoreo, donde no existe gestión del purín producido. Por otra parte, suelos saturados de N con elevado porcentaje de nitrato lixiviado, contribuyen indirectamente al aumento de N_2O . Actualmente, los factores de emisión que se utilizan en los sistemas intensivos son mayores que en los medioambientalmente sostenibles (Thomassen, 2007), atribuido al mayor uso de fertilizantes (532 kg de CO_2 -eq por tonelada de leche). Esto explicaría por qué las emisiones de N_2O expresadas en CO_2 -eq por tonelada de leche son mayores. Por el contrario, los sistemas pastoriles de Nueva Zelanda producen menos emisiones de N_2O (258 kg de CO_2 -eq por tonelada de leche) debido al bajo input de fertilizantes.

En términos absolutos (kg N_2O ha^{-1} y kg UGM⁻¹ año) para cada sistema de producción analizados son diferentes ($P < 0.001$) con valores medios de 7.71 ± 2.8 - 1.80 ± 0.7 kg en los intensivos y 6.04 ± 2.3 - 1.54 ± 0.49 kg los semiintensivos (Tabla 11). Los kilogramos de N_2O ha^{-1} representan el 1.65%, 1.57% y 1.92% del total del Surplus N ha^{-1} ; valores inferiores a 3.2% señalado por Velthof y Oenema (1997) en Holanda, quienes señalan rangos de 5.3 a 15.4 kg ha^{-1} año. Estos autores indican que las emisiones de N_2O equivalen al 3.2 al 4.6% del Surplus de N ha^{-1} . En el presente trabajo, el porcentaje de N_2O del Surplus representa el 1.2%, imputable al menor aporte de fertilizantes (Figura 24).

Figura 24.- Relaci3n entre las emisiones de N₂O (kg ha⁻¹) y el Surplus (kg N ha⁻¹)



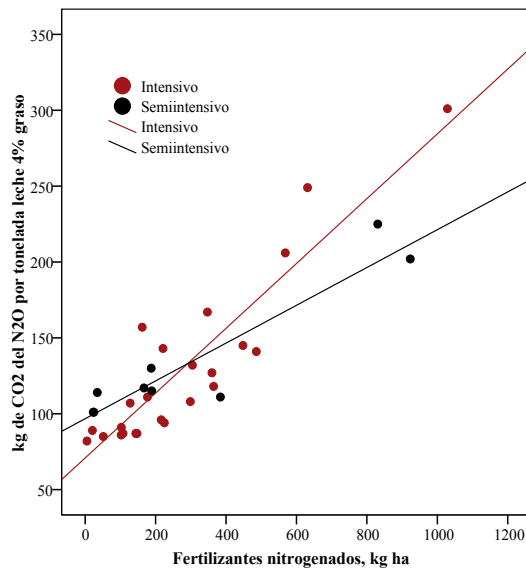
$$\text{Conjunto} = 2.15 + 0.012 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Surplus}; \pm 1.34 \text{ } r^2=0.77$$

$$\text{Intensivo} = 1.76 + 0.012 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Surplus}; \pm 1.48 \text{ } r^2=0.72$$

$$\text{Semiintensivo} = 2.45 + 0.011 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Surplus}; \pm 0.92 \text{ } r^2=0.85$$

Las emisiones de N₂O en kilogramos de CO₂-eq por tonelada de leche corregida al 4% graso, son similares entre sistemas de producci3n, con valores medios de 81±29 y 84±28 kg en los sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente (Tabla 11), imputable al similar aporte de fertilizantes de origen sint3tico (32 y 30 kg N ha⁻¹ los intensivos y semiintensivos). La variable m3s relevante que afecta a las emisiones de N₂O en kilogramos de CO₂-eq por tonelada de leche corregida al 4% graso es la compra de fertilizantes (Figura 25, *suprimi3ndose las explotaciones que no utilizan abonos nitrogenados*). El an3lisis de regresi3n mostr3 que la aplicaci3n de un kilogramo de N en forma de fertilizante incrementa 0.178 kg la emisi3n de CO₂, mayor en los intensivos (0.214 kg kg⁻¹) y 0.125 kg los semiintensivos.

Figura 25.- Relación entre el aporte de fertilizantes nitrogenados (kg ha^{-1}) y las emisiones de N_2O en forma de $\text{CO}_2\text{-eq}$ tonelada de leche al 4% graso



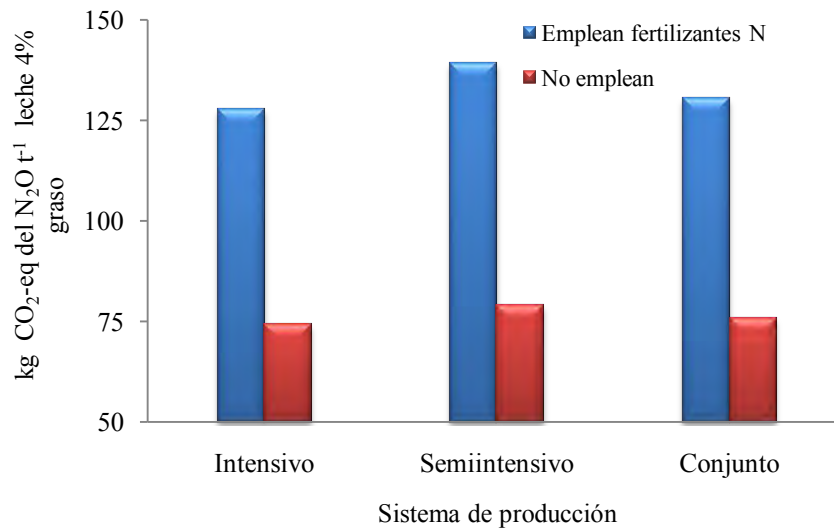
$$\text{Conjunto} = 79.9 + 0.178 \text{ kg N ha}^{-1}; \pm 24.4 \text{ } r^2=0.79$$

$$\text{Intensivo} = 70.8 + 0.214 \text{ kg N ha}^{-1}; \pm 23.0 \text{ } r^2=0.83$$

$$\text{Semiintensivo} = 96.9 + 0.125 \text{ kg N ha}^{-1}; \pm 18.8 \text{ } r^2=0.86$$

No obstante y contrario a lo que cabía esperar, la compra de N en forma de alimentos (615 kg ha^{-1} los intensivos y 400 los semiintensivos) presenta un bajo coeficiente de correlación respecto al $\text{CO}_2\text{-eq t}^{-1}$ leche para el N_2O ($r=-0.19$, $P<0.01$) y ($r=-0.17$, $P<0.01$) el N ingerido por hectárea. Los valores observados para $\text{CO}_2\text{-eq t}^{-1}$ leche dentro de cada sistema de producción, aporten o no fertilizantes nitrogenados, fueron de 127 kg en los intensivos y 139 los semiintensivos (Figura 26), sin diferencias entre ambos sistemas, y 74.4 y 79.5 kilogramos respectivamente cuando no aplican fertilizantes nitrogenados.

Figura 26.- Diferencia de N₂O en forma de CO₂-eq t⁻¹ leche dentro de cada sistema



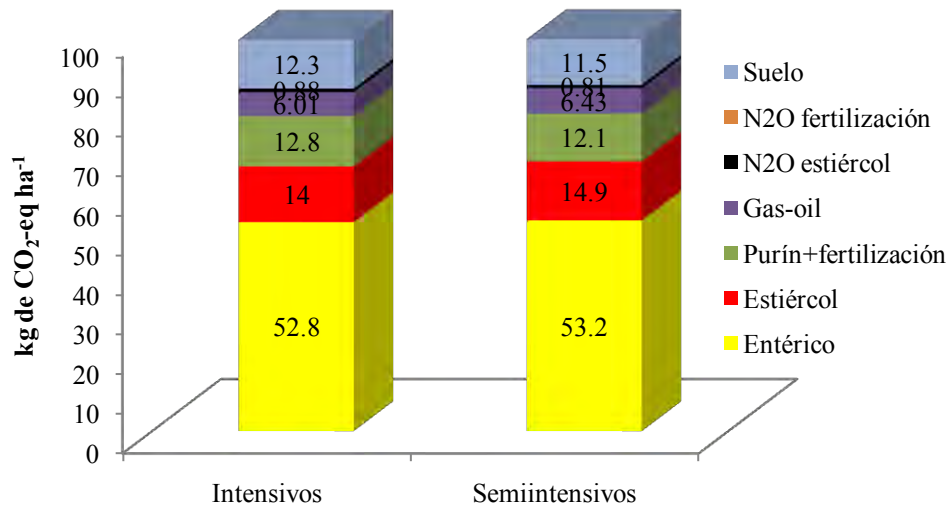
2.3.3. CO₂ total

La producción media de CO₂ por hectárea en el conjunto de explotaciones es de 17195±3814 kg y entre sistemas, mayor en los intensivos (P<0.001) (Tabla 11). Los valores aquí estimados son superiores a 7600 kg ha⁻¹ señalados por Casey y Holden (2005) en Irlanda, imputable a la menor producción individual por vaca (5263 kg leche corregida al 4% graso) e inferior carga ganadera (1.83 UGM ha⁻¹). En el presente trabajo, la producción de leche por UGM ha⁻¹ es de 6686±1589 kg para el conjunto de explotaciones, mayor (P<0.001) en los intensivos 7065±1602 kg y 5832±1181 kg los semiintensivos y carga ganadera de 4.43±1.46 y 3.97±0.97 UGM ha⁻¹ respectivamente. Extrapolando la producción de 7600 kg CO₂ ha⁻¹ señalada por Casey y Holden (2005) con el número de UGM ha⁻¹ para las condiciones de Cantabria, la producción media estimada sería de 18113 kg, similar a 17195 kg señalados anteriormente.

Del total de CO₂-eq por hectárea procedentes de la fermentación entérica y manejo del estiércol (Tabla 11), la primera representa el 52.8% y 14% el segundo para los intensivos y el 53.2% y 14.9% los semiintensivos respectivamente (Figura 27). Estos porcentajes son superiores al 39% y 15% señalado por Dragosits *et al.* (2008) en el Reino Unido. Posiblemente, las diferencias observadas entre las señaladas por aquellos autores y las del presente trabajo, tengan su origen en el sistema de explotación más o menos intensivo, producción de leche, consumo de concentrado vaca y año, carga ganadera, climatología, etc. En cualquier caso, se observa una baja relación entre la producción de leche por hectárea corregida al 4% graso y el ΣCO₂ ha⁻¹ (r=0.37, P<0.01) y r=0.21, P<0.01, respecto al número de UGM ha⁻¹, sin relaciones significativas con la

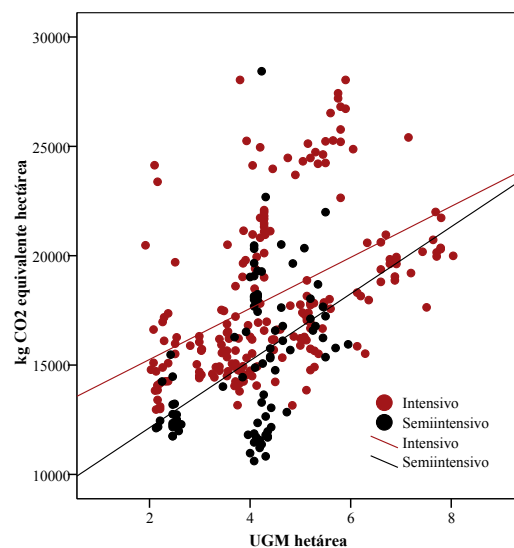
cuota o la superficie total.

Figura 27.- Distribución porcentual de las emisiones de gases efecto invernadero (kg de CO₂-eq hectárea)



Por su parte Casey y Holden (2005), encuentran relaciones positivas ($r^2=0.78$) entre la carga ganadera y los kilogramos de CO₂-eq ha⁻¹, con pendientes de 3128 kg CO₂-eq vaca lechera. La Figura 28 representa la relación obtenida entre la carga ganadera (UGM ha⁻¹) y la producción de CO₂-eq (kg ha⁻¹), observándose en ambos sistemas de producción pendientes y coeficientes de determinación inferiores a los señalados por Casey y Holden (2005), atribuido a la diferencia de unidad usada (UGM vs. vaca lechera).

Figura 28.- Relación entre la carga ganadera (UGM ha⁻¹) y los kg de CO₂-eq hectárea



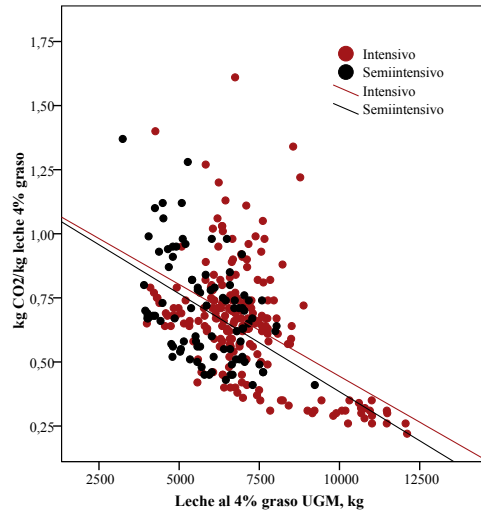
$$\text{Conjunto} = 11364 + 1357 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 3351 \text{ } r^2=0.23$$

$$\text{Intensivo} = 12922 + 1166 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 3243 \text{ } r^2=0.22$$

$$\text{Semiintensivo} = 9073 + 1531 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 3018 \text{ } r^2=0.20$$

Las Figuras 29 y 30 se~alan la relaci3n entre la producci3n de leche al 4% graso (kg UGM⁻¹ a~o) y por hect3rea, respecto a la producci3n de CO₂-eq (kg kg⁻¹ leche al 4% graso), obteni3ndose un ligero coeficiente de correlaci3n para la primera y elevado cuando se expresa por hect3rea.

Figura 29.- Relaci3n entre la producci3n de leche al 4% graso (kg UGM⁻¹ a~o) y el CO₂-eq (kg kg⁻¹ leche al 4% graso)

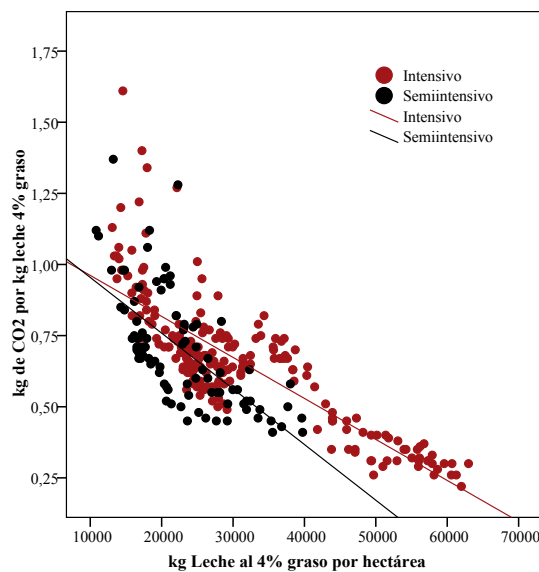


$$\text{Conjunto} = 1.12 - 0.000068 \text{ Leche 4\% graso UGM}^{-1}; \pm 0.19 \text{ } r^2=0.24$$

$$\text{Intensivo} = 1.16 - 0.000072 \text{ Leche 4\% graso UGM}^{-1}; \pm 0.19 \text{ } r^2=0.25$$

$$\text{Semiintensivo} = 1.14 - 0.000076 \text{ Leche 4\% graso UGM}^{-1}; \pm 0.18 \text{ } r^2=0.20$$

Figura 30.- Relaci3n entre la producci3n de leche al 4% graso (kg ha⁻¹) y el CO₂-eq (kg kg⁻¹ leche al 4% graso)



$$\text{Conjunto} = 1.07 - 0.000014 \text{ Leche 4\% graso ha}^{-1}; \pm 0.14 \text{ } r^2=0.58$$

$$\text{Intensivo} = 1.10 - 0.000014 \text{ Leche } 4\% \text{ graso } \text{ha}^{-1}; \pm 0.13 \text{ } r^2=0.67$$

$$\text{Semiintensivo} = 1.15 - 0.00002 \text{ Leche } 4\% \text{ graso } \text{ha}^{-1}; \pm 0.15 \text{ } r^2=0.44$$

El CO₂ procedente de la fermentaci3n ent3rica por UGM a3o no difiere entre sistemas de producci3n, con emisiones medias de 2465±1189 y 2197±929 kg y s3, (P<0.001) el de las vacas lecheras, 4127±2214 kg y 3389±1542 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente. Para 3stos 3ltimos, superiores al rango se3alado por Casey y Holden, (2005) de 1785 a 2625 kg en Irlanda, atribuido a la mayor producci3n de leche corregia al 4% graso (5263±1084 kg vaca a3o vs. 10451±1894 kg en Cantabria) y consumo de concentrado (3841±237 vs. 602±237 kg vaca a3o).

Los kilogramos totales de CO₂ UGM⁻¹ y vaca lechera a3o difiere entre sistemas de producci3n, con valores medios de 4440 y 7338 los intensivos y 3990 y 6144 kg los semiintensivos (Tabla 11), observ3ndose diferencias (P<0.05) entre explotaciones (Figura 31, 32 y 33) en los kilogramos de CO₂ kg leche 4% graso.

Figura 31.- Kilogramos de CO₂ UGM a3o y explotaci3n

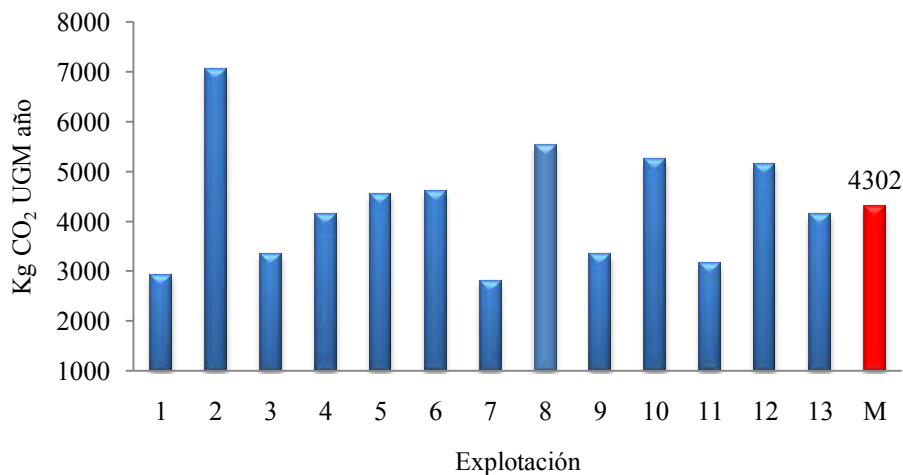
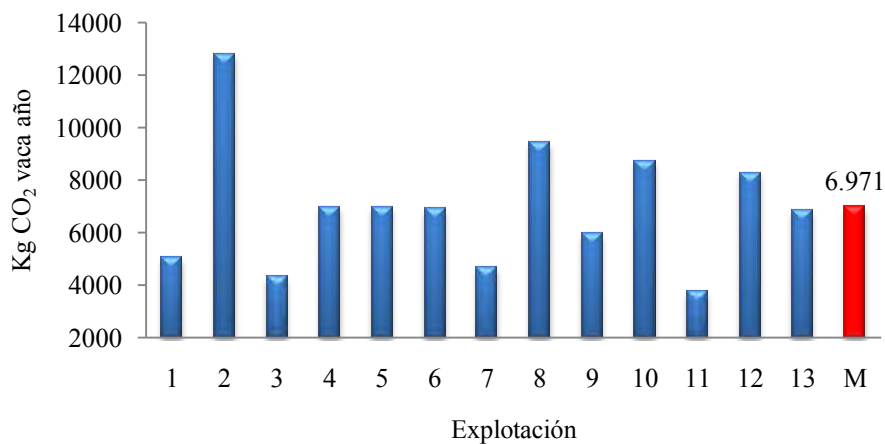
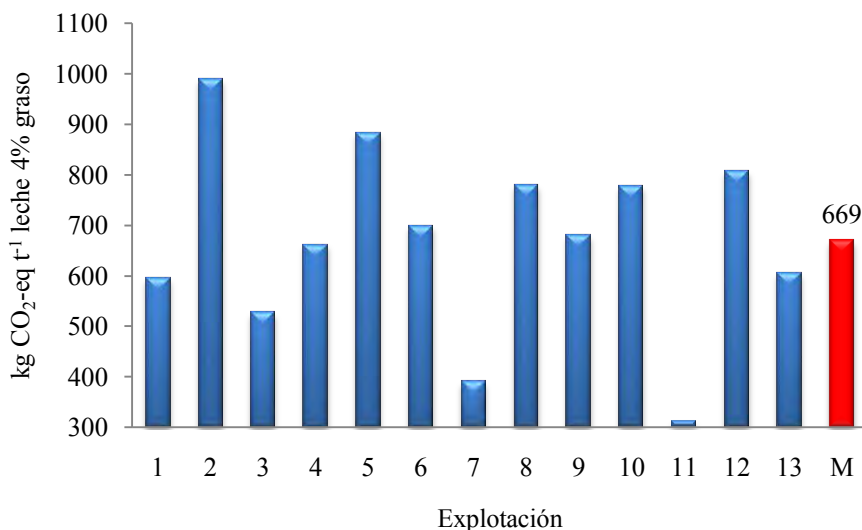


Figura 32.- Kilogramos de CO₂ vaca lactante a3o y explotaci3n



La producci3n total de CO₂-eq por litro de leche corregido al 4% graso (Tabla 11) es de 0.67 para el conjunto de explotaciones, sin diferencias significativas entre sistemas de producci3n, con valores medios de 0.65 los intensivos y 0.70 kg los semiintensivos; ligeramente inferiores a 1 en Nueva Zelanda, similares a 0.7 en Australia y superiores a 0.4 en Canada (Barnett y Russell, 2007).

Figura 33.- Total Gases de Efecto Invernadero (kg de CO₂-eq por tonelada de leche corregida al 4% graso) entre explotaciones



2.4. Acidificaci3n y eutrofrizaci3n

2.4.1. Acidificaci3n

La acidificaci3n es la emisi3n de gases como el 3xido de azufre (SO₂), 3xido de nitr3geno (NO_x), 3xido clorh3drido (HCl), y amon3aco (NH₃) al aire, que combinados con otras mol3culas en la atm3sfera causan acidez en los ecosistemas (Audsley *et al.*, 1997). Por ejemplo, el NH₃ neutraliza el 3xido sulf3rico y 3xido n3trico, transformado en NH₄⁺ deposit3ndose en el suelo. Durante la nitrificaci3n del NH₄⁺ en el suelo, se libera NO₃⁻ e H⁺. En una situaci3n excedentaria de N, la liberaci3n de H⁺ causa acidificaci3n eventual. 3sta puede causar elevadas concentraciones de aluminio en el agua del suelo, afectando a las plantas y crecimiento de las ra3ces, incrementando el daaio sobre la vegetaci3n por sequ3as y enfermedades, siendo t3xico para los animales (Lekkerkerk *et al.*, 1995).

Los factores usados para estimar la acidificaci3n potencial en los sistemas de producci3n de leche son el SO₂-eq: 1 para SO₂; 0.7 el NO_x y 1.88 el NH₃ (Heijungs *et al.* 1992).

La volatilizaci3n de NH₃ contribuye con el 91.8% a la acidificaci3n potencial de la producci3n en las explotaciones de Cantabria (Tabla 12). El NH₃ emitido procede

principalmente del establo, la fosa y de la aplicación de purín; a su vez depende de cuatro factores: i) la dieta de la vaca; ii) diseño del estercolero; iii) condiciones climáticas en el interior y exterior y, iv) manejo de la explotación (De Boer *et al.*, 2002).

La acidificación media por hectárea para el conjunto de explotaciones es de 123 kg SO₂⁻ (Tabla 12) y en la Figura 34 por explotación, equivalentes a 4.90 kg SO₂⁻ por tonelada de leche. Entre sistemas, las mayores corresponden a los intensivos (P<0.001), con emisiones medias de 131 y 103 kg SO₂⁻ los semiintensivos, pero menor en los intensivos por tonelada de leche, con relaciones medias de 4.92 y 5.29 kg SO₂⁻ para los primeros y segundos respectivamente (Tabla 12). Estos resultados muestran similares tendencias a los señalados por De Boer (2003) cuando compara explotaciones convencionales y ecológicas, con emisiones de 52 kg por hectárea en las ecológicas y 131 kg en las convencionales; por el contrario, menor en estas últimas cuando se expresa por tonelada de leche, 18 vs. 16 kg respectivamente.

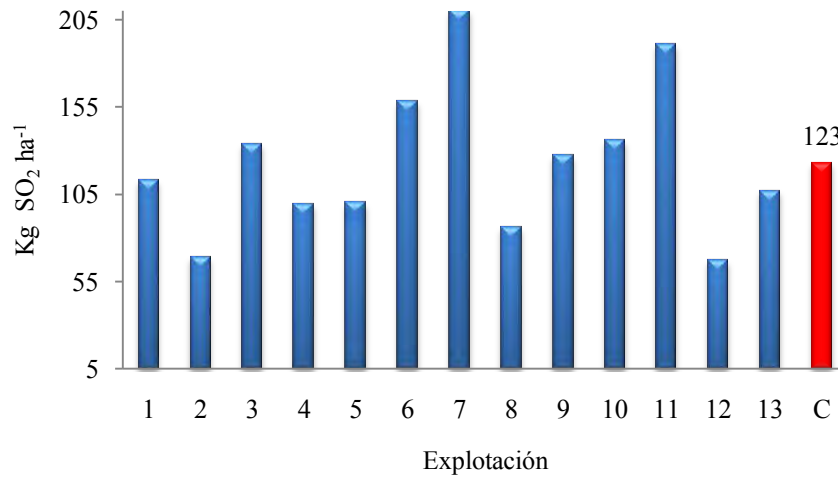
La acidificación potencial por UGM y año (Tabla 12) es mayor en los sistemas intensivos (P<0.001), con valores medios de 29.7 y 26.1 kg los semintensivos, similares a 24.6 kg UGM⁻¹ señalado por Haas *et al.* (2001) en las explotaciones intensivas de la región de Allgäu del estado de Bavaria (Alemania) en las explotaciones intensivas, con similar superficie a los sistemas intensivos de Cantabria (32.7 ha⁻¹), pero menor producción de leche, 6758 kilogramos vaca año.

Tabla 12.- Valoración del impacto medioambiental “Acidificación potencial (AP)”, kg SO₂ ha⁻¹, t⁻¹ cuota y UGM⁻¹

	NH ₃	NO _x	SO ₂	AP ha ⁻¹	AP t ⁻¹ leche	AP UGM ⁻¹
Intensivos	122	9.2	0.27	131	4.92	29.7
Semiintensivos	95	8.2	0.26	103	5.29	26.1
Conjunto	113	8.9	0.26	123	4.90	28.6
Std	42	2.8	0.09	44.6	0.9	4.4
P	***	***	NS	***	***	***

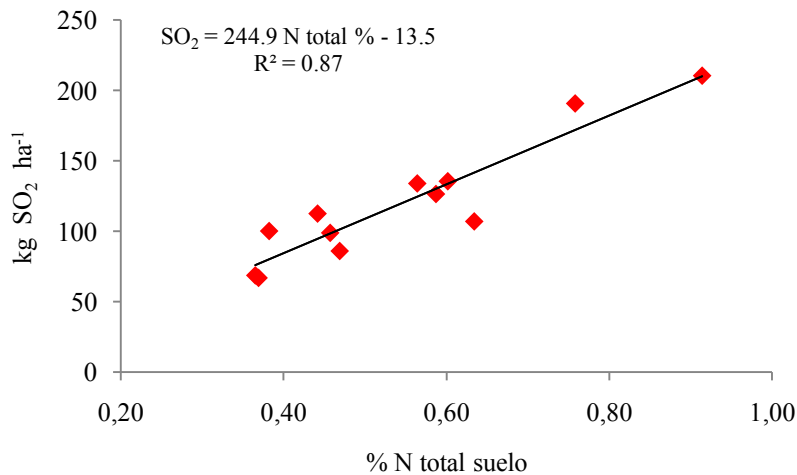
Std: desviación estándar; P: nivel de significación, *** P<0.001

Figura 34.- Potencial de Acidificaci3n ($\text{kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}$) por explotaci3n



La concentraci3n de N total en el suelo muestra buena correlaci3n con el potencial de acidificaci3n del suelo (Figura 35). Estos resultados corroboran de nuevo el grado de intensificaci3n de las explotaciones de Cantabria, con elevados contenidos de N en el suelo.

Figura 35.- Relaci3n entre el N total del suelo (%) y el SO_2 (kg ha^{-1})



2.4.2. Eutrofizaci3n

La eutrofizaci3n incluye las emisiones de gases al agua y aire afectando al patr3n de crecimiento de los ecosistemas. La eutrofizaci3n del N (por producci3n animal, principalmente NO_x , NH_x , NO_3^-) tiene tres efectos principales: primero, los cambios en la composici3n de la vegetaci3n hacia especies nitr3filas; segundo, el balance de nutrientes en el suelo se ve perturbado, poniendo en riesgo la vegetaci3n; tercero, incrementos de nitrato en aguas profundas por lixiviados (Lekkerkerk *et al.*,

1995). Altos contenidos de nitratos en los alimentos o en el agua de bebida pueden causar deficiencia de oxígeno en la sangre (metahemoglobinemia), especialmente en los niños pequeños (Davis, 1990) y en rumiantes que consumen hierba joven muy fertilizada, o aquellas que han estado sometidas a estrés hídrico, como ocurre en verano.

La eutrofización por fósforo (principalmente PO_4^-) causa crecimiento excesivo de algas y plantas superiores. Cuando éstas últimas abundan y después de su muerte, consumen el oxígeno disuelto en el agua, como consecuencia de la degradación microbiana, reduciendo la capacidad de vida de los animales acuáticos (Sawyer, 1996).

Los resultados medios estimados de eutrofización para los diferentes sistemas de producción en Cantabria Figuran en la Tabla 13 y en la Figura 36 por explotación, con valores medios de 276 kg PO_4^- ha⁻¹ o 9.78 kg PO_4^- por tonelada de leche. Entre sistemas, los mayores corresponden a los intensivos ($P < 0.001$), con emisiones de 309 y 203 los semiintensivos kg hectárea. Los kg de PO_4^- por tonelada de leche son menores en los semiintensivos ($P < 0.001$), 8.5 y 10.3 kg de PO_4^- los intensivos (Tabla 13). Similares tendencias a las señaladas por De Boer (2003) al comparar explotaciones convencionales y ecológicas en Suecia (Caderberg y Mattson, 2000), Holanda (Iepema y Pijnenburg (2001) y Alemania (Haas *et al.*, 2001), menor en las ecológicas. Estos autores presentan datos para PO_4^- ha⁻¹ y por tonelada de leche en las explotaciones convencionales y ecológicas de Suecia de 433-218 y 58-66 kg respectivamente; 820-396 y 69-34 en Holanda y 54-7.5 y 14-2.8 en Alemania para los mismos índices.

Los resultados del impacto medioambiental de la eutrofización debidos al Surplus de N y P, representan el 66.3% y 33% respectivamente para el conjunto de explotaciones.

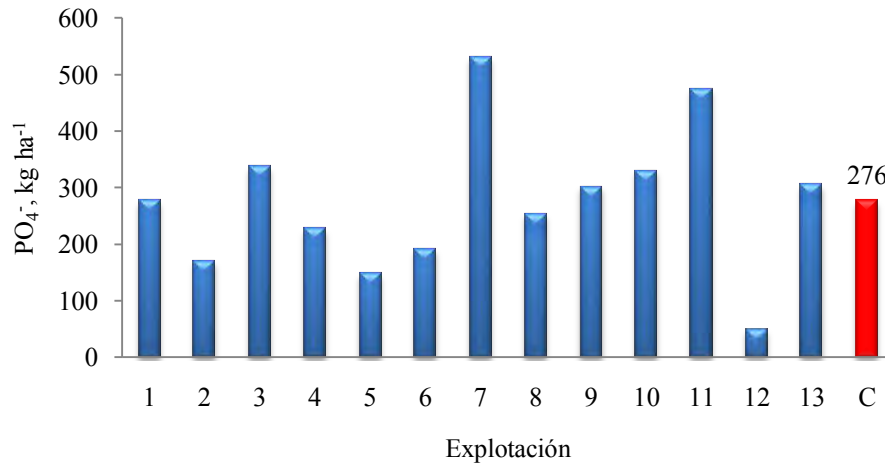
La eutrofización potencial por UGM y año (Tabla 13) es mayor en los sistemas intensivos ($P < 0.001$), con valores medios de 71 y 47 kg los semintensivos, similares a 61.8 kg UGM⁻¹ señalado por Haas *et al.* (2001) en la región de Allgäu en el estado de Bavaria (Alemania) para los semiintensivos.

■ ■ ■ Tabla 13.- Valoración del impacto medioambiental “Eutrofización, (EP)”, kg PO_4^- ha⁻¹, t⁻¹ cuota y UGM⁻¹

	NO _x	N	P	EP ha ⁻¹	EP t ⁻¹ leche	EP UGM ⁻¹
Intensivos	1.72	205	102	309	10.3	71
Semiintensivos	1.5	132	69.7	203	8.5	47
Conjunto	1.66	183	92.1	276	9.78	64
Std	0.52	88.8	69	145	4.5	31
P	***	***	***	***	***	***

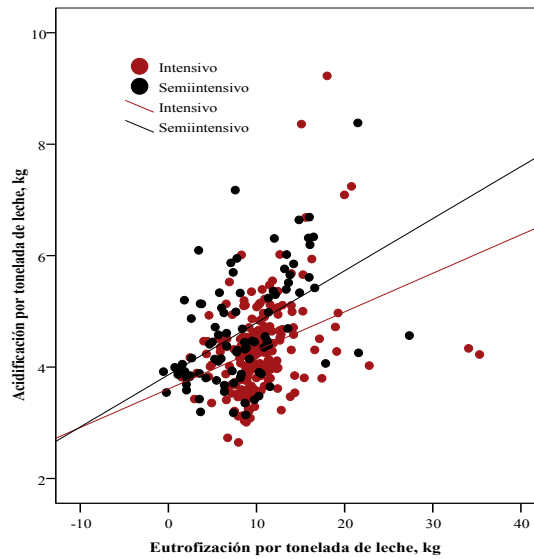
Std: desviación estándar; **P:** nivel de significación *** $P < 0.001$

Figura 36.- Potencial de Eutrofización ($\text{kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$) por explotación



Las Figuras 37 y 38 representan la relación entre la eutrofización y acidificación potencial por tonelada de leche y por hectárea.

Figura 37.- Relación entre la Eutrofización y la Acidificación por tonelada de leche

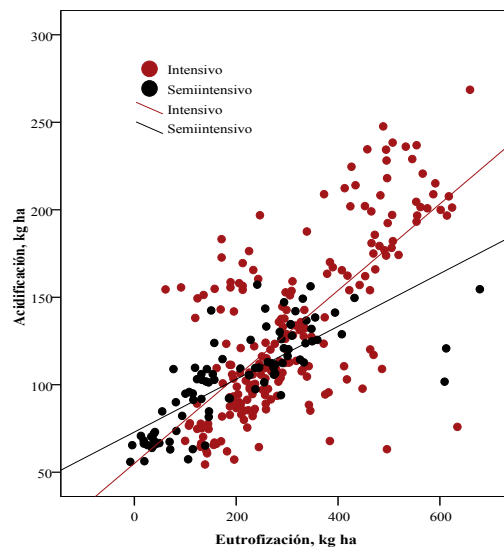


$$\text{Conjunto} = 1.91 + 1.73 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ t}^{-1} \text{ leche}; \pm 4.27 \text{ r}^2=0.12$$

$$\text{Intensivo} = 3.35 + 1.61 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ t}^{-1} \text{ leche}; \pm 3.81 \text{ r}^2=0.11$$

$$\text{Semiintensivo} = -3.59 + 2.6 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ t}^{-1} \text{ de leche}; \pm 4.6 \text{ r}^2=0.24$$

Figura 38.- Relación entre la Eutrofización y la Acidificación (kg ha^{-1})



$$\text{Conjunto} = -12.4 + 2.35 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}; \pm 100 \text{ } r^2 = 0.52$$

$$\text{Intensivo} = 49.7 + 1.97 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}; \pm 97 \text{ } r^2 = 0.49$$

$$\text{Semiintensivo} = -206.6 + 3.95 \text{ Acidif. kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}; \pm 88 \text{ } r^2 = 0.59$$

2.4.3. Modelización de la Acidificación y Eutrofización

Análisis estadístico del modelo

Las relaciones existentes entre la “Acidificación, $\text{kg SO}_2 \text{ N ha}^{-1}$ ”, “Eutrofización, $\text{kg PO}_4^- \text{ kg ha}^{-1}$ ” y las diferentes variables independientes vienen indicadas en las Tablas 14 y 15. Previo al análisis de regresión Stepwise (paso a paso), se realizó el diagnóstico de colinealidad de las variables independientes utilizando el factor inflado de la varianza (FIV). Este estadístico es un indicador que mide la independencia de una variable respecto a las otras variables independientes de la ecuación de regresión, calculándose con la siguiente ecuación (Etxeberría, 1999):

$$FIV = \frac{1}{1 - R_{i1}^2}$$

donde R_{i1}^2 es el coeficiente de determinación múltiple entre la variable cuya multicolinealidad se está calculando y el resto de las variables independientes. El valor de corte del FIV es 10. Asimismo, se analizaron los residuales una vez realizadas las regresiones, con el fin de evaluar si los datos se ajustaron a los supuestos de estos análisis, comprobándose que éstos siguen una distribución normal.

Una vez definido el modelo con un FIV inferior a 10, el estadístico Dubrin-Watson usado fue próximo o menor de 2 y el valor pronosticado típico de los residuos fuese 0.10 la desviación típica. Posteriormente, se realiza un análisis de correlación

múltiple con las variables detectadas como buenas incluyendo el efecto “Random” (30% de las explotaciones). Por último este modelo es analizado para cada sistema de producción “intensivos vs. semiintensivos”.

Tabla 14. Coeficiente de correlación entre la variable dependiente “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, grupo de cada variable

Variable independiente	Acidificación, kg SO ₂ ha ⁻¹
N excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0.93**
UGM, ha ⁻¹ (3)	0.88**
Leche, kg ha ⁻¹ (4)	0.86**
Vacas leche ha ⁻¹ (3)	0.85**
Purín + fertilizante, kg N ha ⁻¹ (1)	0.74**
N ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0.69**
Surplus, kg N ha ⁻¹ (2)	0.69**
N comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0.66**
Vacas ordeño (3)	0.60**
N explotación, kg ha ⁻¹ (2)	0.55**
UGM totales (3)	0.50**

(1) Modelo fertilizantes; (2) Modelo N alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche

Tabla 15. Coeficiente de correlación entre la variable dependiente “Eutrofización, kg PO₄ ha⁻¹” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, grupo de cada variable

Variable independiente	Eutrofización, kg PO ₄ ha ⁻¹
Purín + fertilizante, kg N ha ⁻¹ (1)	0.80**
P excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0.72**
N excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0.69**
Vacas ordeño (3)	0.68**
P comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0.68**
N comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0.68**
Leche, kg ha ⁻¹ (4)	0.66**
N ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0.65**
UGM, ha ⁻¹ (3)	0.65**
Eficiencia global P, % (5)	-0.65**
UGM totales (3)	0.64**
P ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0.62**
Eficiencia global N, % (5)	-0.56**
N explotación, kg ha ⁻¹ (2)	0.42**

(1) Modelo fertilizantes; (2) Modelo N alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche; (5) Modelo eficiencia

a1) Desarrollo de modelos acidificación

a₁₁) Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹

La Tabla 16 señala el estadístico descriptivo de las variables utilizadas en la modelización para el conjunto de explotaciones.

■ ■ ■ **Tabla 16.** Estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización

	Mínimo	Máximo	Rango	Media	Std	Varianza
Leche, kg ha ⁻¹	9309	68394	59084	30588	12886	166053359
N ingerido, kg ha ⁻¹	232	3118	2886	758	492	242292
Vacas ordeño	26	172	146	79	37	1386
UGM, ha ⁻¹	1.91	8.04	6.13	4.29	1.34	1.81
N comprado, kg ha ⁻¹	60	2572	2511	569	424	180194
N explotación, kg ha ⁻¹	9.2	1013	1004	188	161	26019
Leche, kg ha ⁻¹	9309	68394	59084	30588	12886	166053359
N excretado, kg ha ⁻¹	155	1110	958	482	186	34812
P ingerido, kg ha ⁻¹	32	577	544	117	81	6640
P compra, kg ha ⁻¹	9.9	390	380	82	68	4631
UGM totales	48	300	252	127	62	3812
P explotación, kg ha ⁻¹	0	273	320	35.4	30	896
Surplus, kg N ha ⁻¹	40	1287	1247	435	211	44746
Surplus, kg P ha ⁻¹	0	217	273	68	51	2620
Eficiencia global N, %	7	70	63	27.4	8.37	70.1
Eficiencia global P, %	23	163	140	60.7	25.6	658
Purín + fertilizante, kg N ha ⁻¹	152	1414	1262	513	211	44684

a₁₁₁) Desarrollo de diferentes modelos dentro de cada grupo

Las variables del **Grupo 1** modelo fertilizantes (Tabla 14), manifiestan una buena y positiva correlación con el “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹”. Las del **Grupo 2** modelo alimentos, también presentan un coeficiente de correlación discreto y bajo ($r=0.55$) el N producido en la explotación. Las del **Grupo 3** representadas por el modelo carga ganadera presentan una correlación moderada (valor medio $r=0.66$) y las del **Grupo 4**, personalizadas por la producción de leche hectárea, expresa un buen coeficiente de correlación ($r=0.86$), similar a las del Grupo 1 ($r=0.83$).

El Modelo del **Grupo 1** estimado por regresión múltiple con las variables independientes “kg de N excretado ha⁻¹” y “kg N purín +fertilizantes ha⁻¹”, porque son variables con elevado coeficiente de correlación $r=0.93$ y $r=0.74$ respectivamente (Tabla 14). En este modelo los kilogramos de N purín + fertilizantes ha⁻¹ no resulta significativo ($P<0.061$), mostrando un bajo coeficiente beta (-0.065). Esta circunstancia obligó a obviar dicha variable, donde una ecuación lineal de primer grado fue desarrollada incluyendo los kilos de N excretado ha⁻¹ [1]. Posiblemente el bajo aporte de fertilizantes nitrogenados de origen inorgánico (30 kg ha⁻¹), que representan el 6.1% del total respecto al 93.9% los orgánicos.

Con las dos variables juntas, el coeficiente de determinación no mejora significativamente respecto al modelo de regresión simple con sólo la variable independiente “kg de N excretado ha⁻¹” (Tabla 17). Posiblemente debido al diferente

aporte de N a los cultivos, el 93.9% procede del purín producido, y el 6.1% de los fertilizantes químicos.

Tabla 17. Análisis de regresión simple de la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹”, con la excreción de N por hectárea

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	14.62***	2.48	
Excreción, kg N ha ⁻¹	0.225***	0.005	0.938

*** P<0.001

$$\text{Acidificación, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = 14.62 (2.48) + 0.225 (0.005) \text{ kg N excretado}; \pm 15.4 r^2=0.88 [1]$$

El modelo [2] con variables independientes del **Grupo 2** “kg de N ingerido ha⁻¹”, “Surplus N ha⁻¹”, “N comprado ha⁻¹” y el “N producido en la explotación ha⁻¹” calculado por regresión múltiple, presenta un aceptable coeficiente de determinación ($r^2=0.62$), pero serios problemas de colinealidad entre las variables “kg de N ingerido ha⁻¹” y “N comprado ha⁻¹”. Como modelo final se suprime la variable independiente “kg de N comprado ha⁻¹” (Tabla 18). En este modelo el error estándar de la regresión es mayor y menor el coeficiente de determinación que el obtenido en el modelo [1].

Tabla 18. Análisis de regresión múltiple de la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” con el N ingerido, el producido en la explotación y el Surplus (kg ha⁻¹)

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	54.09***	3.83			
N ingerido, kg N ha ⁻¹	0.034***	0.007	0.376	0.258	3.88
Surplus, kg N ha ⁻¹	0.09***	0.01	0.432	0.60	1.66
N explotación, kg N ha ⁻¹	0.017 ^{NS}	0.016	0.06	0.34	2.93

*** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Acidificación, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = 54.09 (3.83) + 0.034 (0.007) \text{ kg N ingerido ha}^{-1} + 0.091 (0.01) \text{ kg N Surplus ha}^{-1} + 0.017 (0.018) \text{ kg N explotación ha}^{-1}; \pm 28.5 r^2=0.59 [2]$$

El modelo [3] incluye las variables del **Grupo 3** “Vacas de leche ha⁻¹ y UGM ha⁻¹”, presenta un aceptable coeficiente de determinación ($r^2=0.82$), pero menor error estándar de la regresión (Tabla 19) y mayor que el modelo [2].

Tabla 19. Análisis de regresión múltiple de la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” con el número de vacas de leche y UGM ha⁻¹

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-2.57 ^{NS}	3.75	
Vacas leche ha ⁻¹	14.5***	2.31	0.327
UGM ha ⁻¹	19.9***	1.72	0.60

*** P<0.001

$$\text{Acidificación, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = 2.57 (3.75) + 14.5 (2.3) \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 19.9 (1.72) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 19.4 r^2=0.81 [3]$$

Posiblemente, el mejor coeficiente de correlaci3n obtenido con las UGM ha^{-1} respecto al n3mero de vacas lecheras por hect3rea (Tabla 14), tenga su origen en la mayor producci3n de esti3rcol, por a3adidura m3s nitr3geno; como lo corrobora la variable N excretado ha^{-1} ($r=0.93$). De este modo y para el conjunto de explotaciones incluidas en este trabajo, el N total excretado por las vacas de leche representa el 67.4% del total de la explotaci3n, 7.0% las vacas secas, 14.9 las novillas de 12 a 24 meses y 15.6 las novillas menores de un a3o (ver Tabla 4: Cap3tulo 3 “*Producci3n de esti3rcol, N y P*”).

El modelo [4] con la variable independiente del **Grupo 4** “Leche, kg ha^{-1} ” muestra un aceptable coeficiente de determinaci3n (Tabla 20) y un error est3ndar ligeramente mayor al modelo [1].

■ ■ ■ **Tabla 20.** An3lisis de regresi3n simple de la “Acidificaci3n, $\text{kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ” con la producci3n de leche ha^{-1}

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	31.6***	3.93	
Leche, kg ha^{-1}	0.003***	0.0001	0.86

*** $P < 0.001$

$$\text{Acidificaci3n, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = 31.6 (3.93) + 0.003 (0.0001) \text{ Leche, kg ha}^{-1}; \pm 22.7 r^2 = 0.74 \text{ [4]}$$

a₁₁₂) *Desarrollo de diferentes modelos con variables de cada grupo*

La Tabla 21 resume los modelos m1s interesantes desarrollados paso a paso, incluyendo las variables independientes de los diferentes grupos.

Tabla 21.- Desarrollo de diferentes modelos con las variables de todos los grupos

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad		±	R ²
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV			
Modelo 1a							12.7	0.92
Constante	-1.79 ^{NS}	2.46						
N excretado, kg N ha ⁻¹	1.55***	0.007	0.64	-	-			
UGM ha ⁻¹	11.62***	0.97	0.35	-	-			
Modelo 2a							11.5	0.93
Constante	-1.31 ^{NS}	2.24						
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.12***	0.007	0.53	0.24	4.13			
UGM ha ⁻¹	9.4***	0.93	0.28	0.28	3.49			
Leche ha ⁻¹	0.001***	0.000093	0.21	0.31	3.2			
Modelo 3a							11.5	0.93
Constante	-0.23 ^{NS}	2.28						
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.12***	0.007	0.52	0.23	4.22			
UGM ha ⁻¹	8.83***	0.96	0.27	0.26	3.77			
Leche ha ⁻¹	0.001***	0.000092	0.21	0.31	3.22			
N explotaci3n ha ⁻¹	0.011***	0.005	0.04	0.67	1.48			
Modelo 4a							11.4	0.93
Constante	-1.14 ^{NS}	2.29						
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.126***	0.07	0.53	0.23	4.24			
UGM ha ⁻¹	8.77***	0.095	0.26	0.26	3.77			
Leche ha ⁻¹	0.001***	0.000099	0.24	0.26	3.76			
N explotaci3n ha ⁻¹	0.02***	0.006	0.07	0.44	2.24			
N compra ha ⁻¹	-0.006***	0.003	-0.061	0.33	2.98			
Modelo 5a							11.1	0.94
Constante	-5.97**	2.51						
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.123***	0.007	0.51	0.23	4.29			
UGM ha ⁻¹	9.43***	0.94	0.28	0.25	3.88			
Leche ha ⁻¹	0.001***	0.000098	0.22	0.25	3.90			
N explotaci3n ha ⁻¹	0.026***	0.006	0.093	0.42	2.38			
N compra ha ⁻¹	-0.015***	0.003	-0.4	0.20	4.98			
Vacas ordeño	0.126***	0.03	0.10	0.33	3.02			

El modelo aceptado como candidato para estimar la “*Acidificaci3n, kg SO₂ ha⁻¹*” es el [2a] (Tabla 21), debido a que las variables son f1cilmente medibles, los coeficientes de determinaci3n y los errores est1ndar son similares sin observarse problemas de colinealidad. La variable “*N excretado, kg ha⁻¹*” aparece en todos los modelos con un coeficiente Beta elevado. 1sto era de esperar, puesto que es el primer agente contaminante de la explotaci3n (Tabla 14), imputable a la facilidad con que el NH₄ del esti3rcol se transforma en amon3aco. En este sentido, Zbigniew Corjan (2004) se1alan porcentajes del 31.7% de NH₃ volatilizado respecto al ingerido, inferiores a 23% estimado en el presente trabajo. Aquellos autores se1alan una estrecha relaci3n entre las tasas de amon3aco y la excreci3n de N por vaca lechera y a1o (r²=0.86),

ligeramente superior a $r^2=0.80$ en este trabajo expresado en kilogramos hectárea. Zbigniew Corjan (2004) señalan para 38 países de Europa ingestiones medias de N y NH_3 volatilizado en 81.8 y 25.9 kg vaca lechera año y, en el caso de Cantabria, la producción estimada es de 124 y 22.4 kilogramos.

En segundo lugar, el número de UGM ha^{-1} es otra variable directamente relacionada con la cantidad de estiércol producido ($r=0.92$, $P<0.01$); a su vez con el N excretado por hectárea ($r=0.83$, $P<0.01$). La pendiente obtenida para cada uno de los modelos presenta valores similares (mínimo 8.83 en el modelo [3a] y máximo de 9.43 en el modelo [5a]). Para la leche por hectárea las pendientes son idénticas en todos los modelos.

Para mejorar el modelo [2a], elegido como candidato, un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 22). Los coeficientes de regresión del modelo [2a] no difieren mucho del [2a_r] y por lo tanto, la interpretación de los modelo [2a] no varía.

Tabla 22. Modelo [2a_r] con efecto random “Explotación” del modelo [2a]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-0.424 ^{NS}	4.07	
N excretado, kg N ha^{-1}	0.129***	0.012	0.544
UGM ha^{-1}	9.07***	1.70	0.257
Leche ha^{-1}	0.001***	0.00013	0.233
$R^2=0.94$			
Std de la estima=11.7			
Nº grupos=84			

*** $P<0.001$

Interpretación del modelo [2a_r]:

$$\text{Acidificación, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = -0.424 + 0.129 \text{ N excretado, kg ha}^{-1} + 9.07 \text{ UGM ha}^{-1} + 0.001 \text{ Leche ha}^{-1}$$

Coeficientes de regresión no estandarizados

Los coeficientes no estandarizados (Tabla 22) indican que la reducción de 1 kg de N excretado en heces, 1 UGM ha^{-1} y 1 kg de leche ha^{-1} causan descenso de la “Acidificación, kg $\text{SO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ” de 0.129; 9.07 y 0.001 kg respectivamente. Las pendientes obtenidas para las tres variables independientes son similares a las del modelo [2a]. Para reducir el valor de 0.129 kg la acidificación por kilogramo de N excretado, es importante rebajar el aporte de proteína en la dieta, como ya quedó demostrado (ver Tabla 3, Capítulo 3 “Producción de estiércol, N y P”). Para las UGM ha^{-1} , mayor número de partos en las vacas lecheras favorece menor porcentaje de reposición, por añadidura menor número de UGM ha^{-1} , presentes en la explotación.

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes por la influencia de cada variable en la media de la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” y porque el rango de las variables también son diferentes (Tabla 16). El “N excretado, kg ha⁻¹” para el modelo [2a_r] varía de 324 a 543 kg de N excretado ha⁻¹; 26175 a 64625 kg leche ha⁻¹ y 4.5 a 5.3 UGM ha⁻¹.

Coeficientes de regresión estandarizados

Los coeficientes estandarizados beta son más útiles para comparar la importancia relativa de cada variable en el modelo, reflejando los inputs compartidos.

El valor de los coeficientes beta indica el cambio de las desviaciones medias estándar en la variable dependiente “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” asociados con un cambio de la desviación estándar en la variable independiente. Para las variables medidas el (N excretado, kg ha⁻¹) presenta un mayor coeficiente (0.544) y similares para las UGM ha⁻¹ (0.257) y (0.233) la leche por hectárea.

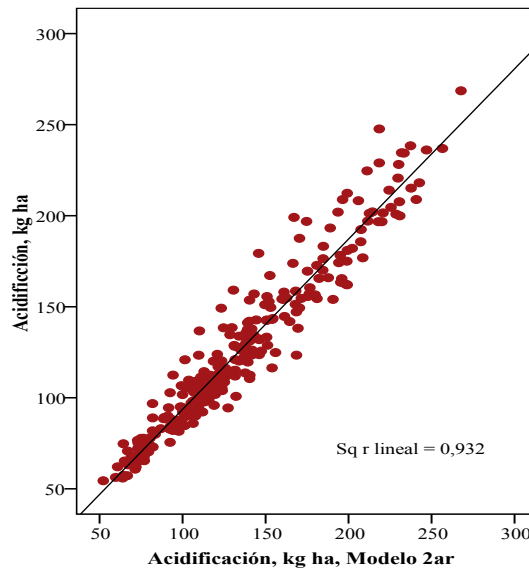
Las desviaciones estándar de cada variable del modelo [2a_r] vienen representadas en la Tabla 23, indicando que el “N excretado ha⁻¹” con un coeficiente beta más relevante del sistema (0.544). El signo del coeficiente beta es positivo, lo que corrobora que un incremento de 1 kg de N excretado origina un aumento en la media de la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹”.

Tabla 23. Desviaciones estándar de cada variable del modelo [2a_r]

	Rango	Min	Máx.	Media	Std	Coficiente beta
N excretado, kg N ha ⁻¹	958	152	1110	486	193	0.544
UGM ha ⁻¹	5.72	2.08	7.8	4.28	1.29	0.257
Leche ha ⁻¹	54528	13865	68394	30988	14062	0.233

La Figura 39 representa la relación entre la “Acidificación, kg ha⁻¹” observada y la obtenida en el modelo [2a_r].

■ ■ ■ **Figura 39.-** Relación entre la “Acidificación, kg ha⁻¹” observada y la obtenida en el modelo [2a_r] incluyendo el efecto random “Explotación”



a₁₁₃) Desarrollo de diferentes modelos dentro de cada grupo para los sistemas intensivos y semiintensivos

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Como señala la Tabla 24, diferencias significativas son observadas entre sistemas de producción para las variables “UGM ha⁻¹” y “Leche ha⁻¹”.

■ ■ ■ **Tabla 24.** Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Significación sistema producción	
N excretado, kg N ha ⁻¹	NS
UGM ha ⁻¹	***
Leche ha ⁻¹	***

*** P<0.001; NS: no significativo

El modelo [2a_r] de la “Acidificación, kg ha⁻¹” con idénticas variables independientes es aceptado como bueno, porque presenta un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.94$), bajo error estándar de la regresión (11.58); los residuos no están autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores próximos a 2 considerado como óptimo (Tabla 25).

Tabla 25. Estimación de la “Acidificación, kg N ha⁻¹” en los sistemas *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-1.02 ^{NS}	2.74				
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.125***	0.009	0.519	0.241	4.14	
UGM ha ⁻¹	9.23***	1.14	0.281	0.265	3.77	
Leche, kg ha ⁻¹	0.001***	0.00011	0.227	0.296	3.38	
R ² =0.94						
Std de la estima=12.3						
Durbin-Watson=1.53						
N=207						

*** P<0.001

$$\text{Acidificación, kg ha}^{-1} = -1.02 + 0.125 \text{ N excretado ha}^{-1} + 9.23 \text{ UGM ha}^{-1} + 0.001 \text{ Leche ha}^{-1}$$

Tabla 26. Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo intensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
N excretado, kg N ha ⁻¹	207	152	1110	519	200	40236
UGM ha ⁻¹	207	1.92	8.04	4.43	1.46	2.14
Leche, kg ha ⁻¹	207	9309	68344	33174	13527	183001427

El modelo [2a_r] “Acidificación, kg ha⁻¹” en los semiintensivos (Tabla 27), resulta menos efectivo que en los intensivos, si bien presenta un buen coeficiente de determinación (r²=0.88), menor dispersión (9.45, Tabla 25) y el estadístico de Durbin-Watson inferior a los intensivos. El análisis descriptivo de las variables independientes del modelo semiintensivo figura en la Tabla 28.

Tabla 27. Estimación del “Acidificación, kg ha⁻¹” en los sistemas *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	2.12 ^{NS}	4.17				
N excretado, kg N ha ⁻¹	0.116***	0.015	0.478	0.324	3.08	
UGM ha ⁻¹	11.39***	1.72	0.41	0.346	2.88	
Leche, kg ha ⁻¹	0.00041***	0.00015	0.135	0.525	1.90	
R ² =0.88						
Std de la estima=9.45						
Durbin-Watson=1.18						
N=92						

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Acidificación, kg ha}^{-1} = 2.12 + 0.116 \text{ N excretado ha}^{-1} + 11.39 \text{ UGM ha}^{-1} + 0.0004 \text{ Leche ha}^{-1}$$

Tabla 28. Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
N excretado, kg N ha ⁻¹	92	178	638	398	112	12651
UGM ha ⁻¹	92	2.13	5.95	3.97	0.97	0.95
Leche, kg ha ⁻¹	92	12792	64625	24769	8947	80065166

b₁) Desarrollo de modelos eutrofizaci3n

b₁₁) Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹

b₁₁₁) Desarrollo de diferentes modelos dentro de cada grupo

La eutrofizaci3n incluye el N y P, por formar parte del modelo elegido (PO₄⁻). Las variables del **Grupo 1** modelo fertilizantes (Tabla 15), presentan correlaciones aceptables y positivas con la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹”, valor medio r=0.73. Las del **Grupo 2** modelo alimentos, tienen un aceptable coeficiente de correlaci3n para la compra de N y P (valor medio r=0.68); r=0.63 la ingesti3n de N y P y, en menor medida, el N producido en la explotaci3n (r=0.42). Dentro de las variables independientes del **Grupo 3** representadas por el modelo carga ganadera, las vacas de ordeño, las UGM ha⁻¹ y las UGM totales presentan aceptable coeficiente de correlaci3n (r=0.68, r=0.65 y r=0.60) respectivamente. La variable del **Grupo 4** (leche ha⁻¹), presenta tambi3n un aceptable coeficiente de correlaci3n (r=0.66). Las variables incluidas en el **Grupo 5** (Eficiencia N y P %) presentan correlaciones aceptables pero con signo cambiado (r=-0.60); la eficiencia global de la explotaci3n del P presenta mayor coeficiente (r=-0.65) que la del N (r=-0.56).

El Modelo del **Grupo 1** estimado por regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹”, con las variables independientes “kg N pur3n+fertilizantes ha⁻¹”, “kg de N excretado ha⁻¹” y “kg de P excretado ha⁻¹” (Tabla 29) porque son variables con aceptable coeficiente de determinaci3n (Tabla 14). En cualquier caso, el coeficiente de determinaci3n es mayor para P que N.

Tabla 29. An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹” con “Pur3n + fertilizantes”, “P excretado” y “N excretado”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	-40.5***	13.6			
Pur3n + fertilizante, kg N ha ⁻¹	0.48***	0.03	0.70	0.339	2.95
P excretado, kg ha ⁻¹	2.48**	0.299	0.46	0.302	3.31
N excretado, kg ha ⁻¹	-0.20***	0.05	-0.26	0.187	5.33

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1} = 40.5 (13.6) + 0.48 (0.03) \text{ Pur3n + fertilizante, kg N ha}^{-1} + 2.48 (0.299) \text{ kg P excretado ha}^{-1} - 0.20 (0.05) \text{ kg N excretado ha}^{-1}; \pm 78 \text{ r}^2 = 0.71 \text{ [1]}$$

El modelo [2] con variables independientes del **Grupo 2** “kg de N comprado ha⁻¹”, “kg de P comprado ha⁻¹”, “N ingerido ha⁻¹”, “kg de P ingerido ha⁻¹” y el “N producido en la explotaci3n ha⁻¹” calculado por regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹” presenta serios problemas de colinealidad. De este modo, solo dos variables son incluidas “kg de P comprado ha⁻¹” y “N producido en la explotaci3n ha⁻¹”,

con aceptable coeficiente de determinaci3n ($r^2=0.47$) y un error estandar de 106 kg ha⁻¹ (Tabla 30), superiores en ambos casos al modelo [1].

Tabla 30. An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹” con “P comprado”, “N producido en la explotaci3n”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	162.3***	10.0	
P comprado, kg ha ⁻¹	1.58***	0.124	0.74
N explotaci3n, kg N ha ⁻¹	-0.079 ^{NS}	0.052	-0.087

*** P<0.001; FIV: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1} = 162.3 (10) + 1.58 (0.12) \text{ kg P comprado ha}^{-1} - 0.079 (0.05) \text{ kg N explotaci3n ha}^{-1}; \pm 106 r^2=0.47 [2]$$

El modelo [3] con variables independientes del **Grupo 3** “Vacas de leche”; “UGM ha⁻¹” y “UGM totales” (Tabla 30), tambi3n manifiesta colinealidad, elimin3ndose del modelo la variable “UGM totales”. En cualquier caso, el coeficiente de determinaci3n es inferior al modelo [1] y ligeramente superior al modelo [2], pero, el error estandar de la regresi3n es inferior al modelo [2] y superior al modelo [1].

Tabla 31. An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹” con “Vacas de leche” y “UGM ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	65.2***	18.2	
Vacas leche	1.90***	0.16	0.48
UGM ha ⁻¹	44.2***	4.5	0.41

*** P<0.001

$$\text{Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1} = -65.2 (18.2) + 1.90 (0.16) \text{ Vacas leche} + 44.2 (4.5) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 92 r^2=0.60 [3]$$

El modelo [4] con las variables independientes del **Grupo 4** “Leche ha⁻¹” (Tabla 32), es un modelo menos preciso que los anteriores, atribuido al elevado error estandar de la regresi3n, si bien presenta un moderado coeficiente de correlaci3n.

Tabla 32. An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eutrofizaci3n, kg PO₄⁻ ha⁻¹” con “Leche ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	48.9***	16.3	
Leche ha ⁻¹	0.007***	0.0005	0.66

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1} = 48.9 (16.3) + 0.0007 (0.0005) \text{ Leche ha}^{-1}; \pm 109 r^2=0.43 [4]$$

El modelo [5] incluye las variables independientes del **Grupo 5** “Eficiencia global de N y P, %”.

Tabla 33. Análisis de regresión múltiple de la “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹” con “Eficiencia N y P, % de la explotación”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	539.5***	21.7	
Eficiencia N, %	-2.96***	1.12	-0.171
Eficiencia P, %	-2.98***	0.36	-0.526

*** P<0.001

$$\text{Eutrofización, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1} = 539.5 (21.7) - 2.96 (1.12) \text{ Eficiencia N} - 2.98 (0.36) \text{ Eficiencia P}; \pm 109$$

$$r^2 = 0.44 \text{ [5]}$$

a₁₁₂) Desarrollo de diferentes modelos con variables de cada grupo

La Tabla 34 resume los modelos más interesantes desarrollados paso a paso, incluyendo las variables independientes de los diferentes grupos.

Tabla 34.- Desarrollo de diferentes modelos con variables de todos los grupos

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad		±	R ²
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV		
Modelo 1a						56	0.85
Constante	200.8***	13.4					
Purín + fertilizante	0.46***	0.01	0.675	-	-		
Eficiencia P	-2.67***	0.13	-0.472	-	-		
Modelo 2a						48	0.89
Constante	174.5***	11.65					
Purín + fertilizante	0.34***	0.018	0.49	0.543	1.84		
Eficiencia P	-2.73***	0.113	-0.48	0.926	1.08		
Leche ha ⁻¹	0.003***	0.00047	0.271	0.574	1.74		
Modelo 3a						43.5	0.91
Constante	159.5***	10.7					
Purín + fertilizante	0.33***	0.016	0.491	0.543	1.84		
Eficiencia P	-2.41***	0.11	-0.426	0.805	1.24		
Leche ha ⁻¹	0.002***	0.00046	0.166	0.435	2.3		
P compra ha ⁻¹	0.409***	0.050	0.191	0.542	1.84		
Modelo 4a						42.5	0.91
Constante	157.3***	10.48					
Purín + fertilizante	0.34***	0.01	0.50	0.529	1.88		
Eficiencia P	-2.32***	0.11	-0.41	0.763	1.31		
Leche ha ⁻¹	0.002***	0.00045	0.167	0.435	2.3		
P compra ha ⁻¹	0.78***	0.11	0.367	0.106	9.4		
P ingerido ha ⁻¹	-0.33***	0.089	-0.188	0.115	8.71		

El modelo aceptado como candidato para estimar la “*Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹*” es el [3a] (Tabla 34). Las variables utilizadas son fácilmente medibles, no existen grandes diferencias entre los coeficientes de determinación y los errores estándar respecto al modelo [4a] son bajos, sin manifestar problemas de colinealidad. En todos los modelos, la variable “**Purín más fertilizante**” aparece con similar coeficiente β al modelo [4a]. Para la variable “**Eficiencia de P, %**”, resulta similar en todos los modelos, excepto en el modelo [1a] que es mayor, explicando en este último cada una de ellas casi el 50% de la variabilidad. Posiblemente el que la variable “Eficiencia P”, presente un mayor coeficiente beta, tenga su origen al excesivo aporte de P en la dieta, por lo que el porcentaje no utilizado pasa como P al suelo a través del estiércol. La eficiencia de utilización del P ya fue discutida en el capítulo “*Balance y modelización del N y P de las explotaciones cántabras*”. Sin embargo, la compra de P por hectárea presenta un coeficiente bajo, atribuido a la escasa compra de P en forma de fertilizantes (Tabla 5) del capítulo señalado anteriormente.

Para mejorar el modelo [3a], elegido como candidato, un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 35). Los coeficientes de regresión del modelo [3a] no difieren mucho del [3a_r] y por lo tanto, la interpretación de los modelo [2a] no varía.

■ ■ ■ **Tabla 35.** Modelo [3a_r] con efecto random “Explotación” del modelo [3a]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	149.8***	16.4	
Purín + fertilizante	0.36***	0.025	0.54
Eficiencia P	-2.19***	0.167	-0.42
Leche ha ⁻¹	0.001***	0.0004	0.11
P compra ha ⁻¹	0.409***	0.086	0.19
R ² =0.92			
Std de la estima=40.9			
Nº grupos=84			

*** P<0.001

Interpretación del modelo [3a_r]:

$$\text{“Eutrofización, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 149.8 + 0.36 \text{ Purín + fertilizante, kg ha}^{-1} - 2.19 \text{ Eficiencia P} + 0.001 \text{ Leche ha}^{-1} + 0.409 \text{ Compra P}$$

Coeficientes de regresión no estandarizados

Los coeficientes no estandarizados (Tabla 35) indican que un descenso de 1 kilogramo de N del purín + fertilizantes, puede reducir la eutrofización en 0.36 kilogramo PO₄⁻ ha⁻¹ de la eutrofización; aumentos de una unidad porcentual en la eficiencia global de la explotación en la utilización del P, disminuye 2.19 los

kilogramos de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$ y un incremento de 1 kilogramo de leche por hectárea y 1 kilogramo de P comprado puede aumentar en 0.001 y 0.409 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$ respectivamente. Las pendientes obtenidas para las cuatro variables independientes son similares a las del modelo [3a].

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes por la influencia de cada variable en la media de la “Eutrofización, $\text{kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$ ” y porque el rango de las variables también son diferentes (Tabla 36). El “N del purín+fertilizante, kg ha^{-1} ”, “Eficiencia de P, %”, “Leche ha^{-1} ” y “P compra ha^{-1} ” para el modelo [3a_r] tienen un rango de 152 a 1343 kg ha^{-1} ; 23 a 163%; 13865 a 68394 kg y 10 a 390 kg respectivamente.

Coeficientes de regresión estandarizados

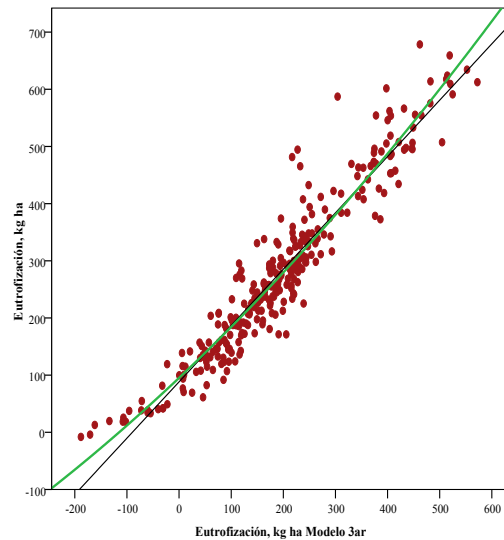
El valor de los coeficientes beta indica el cambio de las desviaciones medias estándar en la variable dependiente “Eutrofización, $\text{kg SO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ” asociados con un cambio de la desviación estándar en la variable independiente. Para las variables medidas los coeficientes beta son muy similares a los del modelo [3a] respecto al [3a_r] (Tabla 34). Las desviaciones estándar de cada variable del modelo [3a_r] vienen representadas en la Tabla 35, indicando que la variable “Purín + fertilizante” con un coeficiente beta más relevante del sistema (-0.54). El signo del coeficiente beta es positivo, lo que corrobora que un incremento de una unidad porcentual de P puede originar un incremento en $-2.19 \text{ kg P ha}^{-1}$.

Tabla 36. Desviaciones estándar de cada variable del modelo [2a_r]

	Rango	Min	Máx.	Media	Std	Coefficiente beta
Purín + fertilizante	1190	152	1343	522	215	0.54
Eficiencia P	140	23	163	61.2	27.7	-0.42
Leche ha^{-1}	54528	13865	68394	30988	14062	0.11
P compra ha^{-1}	380	10	390	79	67	0.19

La Figura 40 representa la relación entre la “Eutrofización, kg ha⁻¹” observada y la obtenida en el modelo [3a_r].

■ ■ **Figura 40.-** Relación entre la “Eutrofización, kg ha⁻¹” observada y la obtenida en el modelo [3a_r] incluyendo el efecto random “Explotación”



b₁₁₃) Desarrollo de diferentes modelos dentro de cada grupo para los sistemas intensivos y semiintensivos

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Como indica la Tabla 37, diferencias significativas son observadas entre sistemas de producción para las variables “Purín+fertilizante, kg N ha⁻¹”, “Eficiencia P, %” y “P compra ha⁻¹”.

■ ■ **Tabla 37.** Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

	Significación sistema producción
Purín + fertilizante	***
Eficiencia P	***
Leche ha ⁻¹	NS
P compra ha ⁻¹	***

*** P<0.001; NS: no significativo;

El modelo [3a_r] de la “Eutrofización, kg ha⁻¹” con idénticas variables independientes es aceptado como bueno, porque presenta un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.91$), bajo error estándar de la regresión (39.8); los residuos no están autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores de 1.73 (Tabla 38).

Tabla 38. Estimaci3n de la “Eutrofizaci3n, kg ha⁻¹” en los *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	204.6***	12.04				
Pur3n + fertilizante	0.32***	0.018	0.499	0.545	1.83	
Eficiencia P	-3.41***	0.165	-0.467	0.816	1.22	
Leche ha ⁻¹	0.003***	0.0003	0.268	0.411	2.43	
P compra ha ⁻¹	0.308***	0.049	0.17	0.562	1.77	
R ² =0.94						
Std de la estima=39.8						
Durbin-Watson=1.73						
N=207						

*** P<0.001

$$\text{“Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 204.6 + 0.32 \text{ kg N pur3n+fertilizante, ha}^{-1} - 3.41 \text{ Eficiencia P} + 0.003 \text{ Leche ha}^{-1} + 0.308 \text{ P compra ha}^{-1}$$

Tabla 39. An3lisis descriptivos de las variables independientes del modelo intensivo

	N	M3nimo	M3ximo	Media	Std	Varianza
Pur3n + fertilizante	207	152	1343	551	212	44956
Eficiencia P	207	28.5	148.7	55.8	18.6	346
Leche ha ⁻¹	207	9309	68394	33174	13527	183001427
P compra ha ⁻¹	207	30	390	96	75	5662

El modelo [3a_r] “Eutrofizaci3n, kg ha⁻¹” en los semiintensivos (Tabla 40), se suprimi3 la variable independiente “Leche ha⁻¹” por no manifestar diferencias significativas. As3, el modelo es menos efectivo que en los intensivos incluyendo dicha variable. Presenta un buen coeficiente de determinaci3n (r²=0.93), mayor dispersi3n y el estad3stico de Durbin-Watson es superior a los intensivos. El an3lisis descriptivo de las variables independientes del modelo semiintensivo Figura en la Tabla 41.

Tabla 40. Estimaci3n de la “Eutrofizaci3n, kg ha⁻¹” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	17.38***	25.4				
Eficiencia P	-1.23***	0.180	0.556	0.381	2.62	
Pur3n + fertilizante	0.42***	0.024	-0.306	0.775	1.29	
P compra ha ⁻¹	1.51***	0.21	0.304	0.409	2.44	
R ² =0.93						
Std de la estima=36.7						
Durbin-Watson=1.72						
N=92						

*** P<0.001

$$\text{“Eutrofizaci3n, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 37.38 + 0.42 \text{ kg N pur3n+fertilizante, ha}^{-1} - 1.23 \text{ Eficiencia P} + 1.51 \text{ P compra ha}^{-1}$$

Tabla 41.- An3lisis descriptivos de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	M3nimo	M3ximo	Media	Std	Varianza
Eficiencia P	92	23	163	71.7	34.5	1194
Pur3n + fertilizante	92	178	1414	428	184	33874
P compra ha ⁻¹	92	9.9	99.4	48.8	27.8	777

Conclusiones parciales

El objetivo de este experimento es desarrollar modelos de regresión múltiple que estimen la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹” y la “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹” en explotaciones lecheras en Cantabria de diferente sistema de producción.

El criterio principal para seleccionar las variables fueron:

1. Que las variables independientes elegidas sean de fácil medición, o al menos, se disponga de información en la explotación.
2. Las variables independientes elegidas estén señaladas en la literatura como influyentes sobre la “Acidificación, kg SO₅ ha⁻¹” y la “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹” consideradas como dependientes.
3. Controlar la mayoría de las variables y evitar estimadores sesgados.
4. Cumplir todas las hipótesis de regresión múltiple.
5. Lograr un bajo grado de multicolinealidad.
6. Obtener modelos con un mínimo aceptable capacidad de predicción.

Dos coeficientes diferentes son estudiados en orden a evaluar el impacto de cada variable independiente en la variable dependiente y la relativa importancia de las variables independientes:

1. Los coeficientes no estandarizados.
2. Los coeficientes estandarizados (beta).

a₁) Modelo “Acidificaci3n, kg SO₂ ha⁻¹”

Para el conjunto de explotaciones el modelo elegido como v3lido para estimar la “Acidificaci3n, kg ha⁻¹” es el [2a]:

$$\text{Acidificaci3n, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = -1.31 (2.24) + 0.12 (0.007) \text{ kg N excretado ha}^{-1} + 9.4 (0.93) \text{ UGM ha}^{-1} + 0.001 (0.000093) \text{ Leche ha}^{-1} \pm 11.58; r^2=0.93$$

En la Tabla 42 se se~alan los coeficientes Beta e indican c3mo y en qu3 prioridad las variables independientes afectan a la “Acidificaci3n, kg ha⁻¹”.

Tabla 42. Orden de acci3n para descender o incrementar la “Acidificaci3n, kg ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre par3ntesis del modelo [2a]

Orden de acci3n	Incrementa	Decrece
1	N excretado ha ⁻¹ (0.53)	-
2	UGM ha ⁻¹ (0.28)	-
3	Leche ha ⁻¹ (0.21)	-

Las tres variables elegidas incrementan la “Acidificaci3n, kg ha⁻¹”. En cualquier caso y para cada una de ellas, incrementos de 1 kg de N excretado; 1 UGM ha⁻¹ y 1 kg de leche ha⁻¹ puede aumentar 0.12, 9.4 y 0.001 kg de SO₂ ha⁻¹.

A partir del modelo [2a] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto random explotaci3n, 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos:

1. Modelo explotaciones intensivas:

$$\text{Acidificaci3n, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = -1.02 (2.74) + 0.125 (0.009) \text{ kg N excretado ha}^{-1} + 9.23 (1.14) \text{ UGM ha}^{-1} + 0.001 (0.00011) \text{ Leche ha}^{-1}$$

2. Modelo explotaciones semiintensivas:

$$\text{Acidificaci3n, kg SO}_2 \text{ ha}^{-1} = 2.12 (4.17) + 0.116 (0.015) \text{ kg N excretado ha}^{-1} + 11.39 (1.72) \text{ UGM ha}^{-1} + 0.00041 (0.00015) \text{ Leche ha}^{-1}$$

La Tabla 43 se~ala diferencias de orden de prioridad para las tres variables incluidas en el modelo. Para los dos sistemas de producci3n, la primera variable en orden de actuaci3n es el N excretado por hect3rea, le sigue las UGM ha⁻¹ y en 3ltimo lugar, la producci3n de leche por hect3rea. Para la primera variable (N excretado ha⁻¹) la pendiente obtenida es un 7.8% menos en los semiintensivos, pero con similar error est3ndar y coeficiente estandarizado. Por el contrario, la pendiente para la variable independiente UGM ha⁻¹ es 2.1 kg m3s de SO₂ ha⁻¹ en los semiintensivos y un coeficiente estandarizado mayor (45.9%) (Tabla 43); para la leche por hect3rea, los sistemas intensivos presenten un coeficiente mayor, imputable a la mayor producci3n de leche.

Tabla 43. Orden de acción para descender o incrementar la “Acidificación, kg SO₂ ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [2a] con efecto random dentro de cada sistema de producción

Orden de acción	Intensivos	Incrementa	Decrece
1		N excretado ha ⁻¹ (0.519)	-
2		UGM ha ⁻¹ (0.281)	-
3		Leche ha ⁻¹ (0.227)	-
Semiintensivos			
1		N excretado ha ⁻¹ (0.478)	-
2		UGM ha ⁻¹ (0.41)	-
3		Leche ha ⁻¹ (0.135)	-

b₁) Modelo “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹”

Para el conjunto de datos el modelo elegido como válidos para estimar la “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹” es el [3a]:

$$\text{“Eutrofización, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 195.5 (10.7) + 0.33 (0.016) \text{ kg N purín+fertilizantes} - 2.41 (0.11) \text{ Eficiencia P} + 0.002 (0.00046) \text{ Leche ha}^{-1} + 0.409 (0.050) \text{ Compra P ha}^{-1} \pm 43.5; r^2=0.91$$

En la Tabla 44 se señalan los coeficientes Beta e indican cómo y en qué prioridad las variables independientes afectan a la “Eutrofización”.

Tabla 44. Orden de acción para descender o incrementar la “Eutrofización, kg PO₄⁻ ha⁻¹” seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [3a]

Orden de acción	Incrementa	Decrece
1		Eficiencia P (-0.426)
2	N Purín+fertilizante (0.491)	
3	Leche ha ⁻¹ (0.166)	
4	Compra P ha ⁻¹ (0.19)	

A partir del modelo [3a] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto random explotación 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos.

1. Modelo explotaciones intensivas:

$$\text{“Eutrofización, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 204.6 + 0.32 \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 3.41 \text{ Eficiencia P} + 0.003 \text{ Leche ha}^{-1} + 0.308 \text{ P compra ha}^{-1}$$

2. Modelo explotaciones semiintensivas:

$$\text{“Eutrofización, kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}\text{”} = 37.38 + 0.42 \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 1.23 \text{ Eficiencia P} + 1.51 \text{ P compra ha}^{-1}$$

La Tabla 45 señala las diferencias en el orden de prioridad para las variables incluidas en cada modelo según sistema de producción. En ambos sistemas, la primera variable que puede descender los kilogramos de PO₄⁻ ha⁻¹, es la eficiencia global de fósforo en la explotación, imputable a factores alimenticios. Entre sistemas, el mayor coeficiente beta observado en los intensivos, indica mayor concentración de P en las dietas y más P excretado.

Así, para el conjunto de explotaciones, la concentración de fósforo y proteína bruta de la dieta se relacionan positivamente con los kilogramos de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$, ($r=0.35$, $P<0.01$) para P y ($r=0.29$, $P<0.01$) para N en el conjunto de explotaciones. Sin embargo, a nivel de sistema, la eutrofización está más directamente relacionada con la concentración de proteica de la dieta ($r=0.23$, $P<0.01$), sin relaciones significativas con el fósforo en los intensivos. En las explotaciones semiintensivas sucede el efecto contrario, la eutrofización está más directamente relacionada con la concentración de P en la dieta ($r=0.50$, $P<0.01$) y ($r=0.27$, $P<0.01$) con la proteína de la dieta, imputable a un mayor consumo de forraje (hierba o ensilado de hierba), lo que favorece una mayor eficiencia de fósforo en este tipo de explotaciones (ver Tabla 5: Capítulo 6 “*Balance y modelización del N y P de las explotaciones cántabras*”).

■ ■ ■ **Tabla 45.** Orden de acción para descender o incrementar la “Eutrofización, kg ha^{-1} ”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [3a] con efecto random dentro de cada sistema de producción

Orden de acción	Intensivos	Incrementa	Decrece
1			Eficiencia P (-0.467)
2		N Purín+fertilizante (0.499)	
3		Leche ha^{-1} (0.268)	
		Compra P ha^{-1} (0.17)	
Semiintensivos			
1			N Purín+fertilizante (-0.306)
2		Eficiencia P (0.556)	
3		Compra P ha^{-1} (0.358)	

Manejo de la explotación

Composición química y caracterización del purín

G. Salcedo y L. Martínez



CARACTERIZACIÓN DEL PURÍN DEL VACUNO LECHERO EN CANTABRIA

G. Salcedo y L. Martínez

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

3. Resultados y discusión

1.1. Cuantificación y caracterización analítica del purín

1.1.1. Almacenamiento

1.1.2. Parámetros físico-químicos

1.1.3. Formas nitrogenadas

1.1.4. Fósforo total

1.2. Correlación para la estima de nutrientes de los purines

1.2.1. Formas nitrogenadas

1.2.2. Fósforo total

1.3. Ecuaciones de regresión para la estima de nutrientes de los purines

1.4. Valoración económica del purín

1.5. Relaciones del contenido en nutrientes con el grado de intensificación

4. Conclusiones parciales

Resumen

A partir de dos años de muestreo y análisis de laboratorio se ha caracterizado la composición físico-química [pH; conductividad eléctrica, (CE); materia seca, (MS); cenizas; materia orgánica, (MO); nitrógeno, (N_t); amonio, (NH_4) y fósforo, (P)] del purín producido en las explotaciones de vacuno de leche de Cantabria, con el objetivo de ofrecer a los ganaderos cántabros una herramienta que les aporte información, aunque de forma aproximada, sobre las características del purín antes de su aplicación, reduciendo el peligro por contaminación ambiental asociada al aporte excesivo de nutrientes. Han sido 13 las explotaciones comerciales participantes en el ensayo y los resultados de campo y laboratorio han sido elaborados estadísticamente, tanto de forma global (conjunto de datos sin diferenciar), como en función del nivel de intensificación de las explotaciones, definida según el sistema de alimentación utilizado: *explotaciones intensivas* (al 50% de forraje y concentrado) y *semiintensivas* (65% ensilados y 35% concentrados). Las significativas diferencias ($P < 0.001$) observadas entre las 13 explotaciones estudiadas para todos los parámetros analizados señalan la gran heterogeneidad del purín de vacuno lechero. Entre sistemas de producción, sólo se verificaron diferencias significativas para la CE, el contenido de NH_4 y el porcentaje de NH_4 sobre el N_t , con valores de 16.96 y 13.88 $mS\ cm^{-1}$, 0.16 y 0.13 % NH_4 y 41.4 y 36.3 % NH_4/N_t , respectivamente para las explotaciones intensivas y semiintensivas. La medida de CE y contenido en MS han presentado niveles de correlación muy significativos con los contenidos de N_t y P en los diferentes escenarios planteados, destacando su potencial de predicción del contenido en N_t y P de los purines estudiados. La mejor regresión simple para estimar el contenido de NH_4 ha sido calculada con la CE, mientras que las de N_t y P han sido obtenidas con MS. Todas las ecuaciones han manifestado elevados niveles de significancia, aunque con bajos coeficientes de determinación, que han mejorado ligeramente al calcular las regresiones múltiples, teniendo en cuenta el resto de propiedades físico-químicas estudiadas.

Palabras clave: composición química, fósforo, nitrógeno, purín, vacuno lechero.

Abstract

After two years of sampling and laboratory analysis has characterized the physical and chemical composition (pH, EC, DM and ash content, percentage and concentration of N_t OM, NH_4 and P, and the percentage of NH_4 on N_t) in the slurry produced on dairy farms in Cantabria, with the aim of offering farmers a tool to Cantabria provide information, even approximately, the characteristics of the manure before application, reducing the danger of contamination associated environmental excessive input of nutrients. Have been 13 commercial farms participating in the trial and field and laboratory results were statistically processed, both overall (data set undifferentiated) as a function of level of intensification of farms, defined as the system nutrition used: *intensive farms* (50% forage and concentrate) and *semiintensive* (65% silage and 35% concentrates). Significant differences ($P < 0.001$) observed among the 13 farms studied for all parameters analyzed reveal the heterogeneity of dairy cattle slurry. Between production systems, significant differences were observed only for the EC, the content of NH_4 and NH_4 on the percentage of N_t , with values of 16.96 and 13.88 $mS\ cm^{-1}$, 0.16 and 0.13% NH_4 and 41.42 and 36.35% NH_4/N_t , respectively for semiintensive and intensive farms. The measurement of EC and MS content presented very significant levels of correlation with N_t and P content in the different scenarios raised, highlighting the potential for prediction of N_t and P content of slurry studied. The best simple regression to estimate the content of NH_4 has been calculated with the EC, while those of N_t and P have been obtained with DM. All equations have expressed high levels of significance, but with low coefficients of determination, which improved slightly when calculating multiple regressions, taking into account other physical and chemical properties studied.

Keywords: chemical composition, phosphorus, nitrogen, manure, dairy cattle.

1. Introducción

Tradicionalmente las deyecciones ganaderas generadas en las explotaciones de vacuno lechero de Cantabria han sido distribuidas al campo, proporcionando al prado elementos fertilizantes y materia orgánica. Desgraciadamente, la intensificación de la actividad agrícola y ganadera sufrida en las últimas décadas ha dado lugar a que las explotaciones de vacuno lechero generen grandes volúmenes de purín y dispongan de cada vez menor superficie agrícola, lo que acarrea grandes problemas de manejo, agronómicos y de contaminación medioambiental (Salcedo *et al.*, 2008e).

Durante los últimos años, el impacto ambiental de las actividades agrícolas y ganaderas ha centrado mucho interés y nuevas leyes y directivas han sido creadas, sentando las directrices sobre la correcta gestión de los purines y limitando su aplicación agronómica (Provolo, 2005). La utilización sostenible del purín en agricultura debe evitar la rápida pérdida de elementos fertilizantes y reducir al máximo el impacto ambiental (Vervoort *et al.*, 1998).

Por desgracia, las deyecciones ganaderas presentan una composición heterogénea, mostrando una gran variabilidad en el espacio y el tiempo (Van Kessel y Reeves, 2000). Además, en la gran mayoría de los casos, en Cantabria el purín se distribuye en agricultura sin ningún tipo de tratamiento previo y con un periodo de almacenamiento (maduración) demasiado breve por la falta de balsas mejor dimensionadas (Martínez-Suller *et al.*, 2008b). Este cúmulo de circunstancias favorece que el purín sea utilizado como fertilizante con un total desconocimiento de su contenido en nutrientes disponibles para los cultivos, aumentando de este modo el riesgo de contaminación ambiental.

Lógicamente, los análisis de laboratorio no son prácticos para la mayoría de los ganaderos, debido a su elevado coste y al tiempo que requieren. Por otro lado, existen métodos de análisis *in situ* basados en la correlación entre alguna propiedad físico-química relativamente sencilla de medir (contenido en materia seca, conductividad eléctrica, densidad, etc.) y la concentración de uno o varios elementos fertilizantes del purín (Martínez-Suller *et al.*, 2008a), pero en su mayoría, por un motivo u otro (están en fase de desarrollo, son muy costosos, sólo se comercializan en determinados países, etc.), su adquisición no es viable.

Con la finalidad de intentar aportar información real y actualizada sobre la composición de los purines generados por las explotaciones de vacuno lechero de Cantabria y, de esta manera, colaborar en la realización de una correcta gestión y/o

tratamiento de los mismos, en el presente trabajo se ha pretendido i) caracterizar los purines de 13 explotaciones comerciales de leche de la Región en función de sus sistema de producción (intensivo vs. semiintensivo), ii) estudiar la correlación entre propiedades físico-químicas y contenido en elementos fertilizantes y iii) calcular ecuaciones de regresión que sirvan de herramienta para estimar su contenido fertilizante.

Composición de los purines de vacuno de leche

El purín está constituido por una mezcla de heces, orina, restos de alimentos y de cama (paja, arena, serrín, etc.), pelos de los animales, agua de lavado y/o lluvia, etc. Además, como se ha dicho anteriormente, posee una composición físico-química muy variable en función del tipo de animal estabulado y su estado fisiológico, del tipo de estabulación, cama utilizada, sistema de limpieza, dieta suministrada, época del año, climatología, etc. (Provolo, 2005).

Agronómicamente, el purín es fuente de múltiples constituyentes minerales, tales como macroelementos principales (N-P-K), secundarios (calcio, magnesio y azufre) y oligoelementos (cobre, zinc, manganeso, hierro, boro y molibdeno), hecho que debería ser suficiente para considerar el purín de vacuno lechero como una óptima fuente de nutrientes para los cultivos y no como un residuo nocivo (Irañeta *et al.*, 1999). Desde un punto de vista agronómico, más allá del riesgo de contaminación ambiental, una correcta gestión del purín reduciría de forma significativa los gastos de adquisición de fertilizantes minerales en las explotaciones de vacuno lechero de Cantabria (Salcedo *et al.*, 2008d).

Con la finalidad de tener más información para manejar mejor agronómica y ambientalmente las deyecciones zootécnicas, a continuación se pormenorizan los principales constituyentes de los purines.

Materia seca: En los purines se encuentran sólidos suspendidos y disueltos de distinta granulometría en distinta concentración, de hecho, el contenido en materia seca es uno de los parámetros que presenta más variaciones en los análisis de la composición de los purines, ya que está muy influenciado por el tipo de manejo que se lleve a cabo en la explotación, sobre todo del tipo de alimentación y del manejo que se hace del agua (de consumo y de limpieza). La variación en el contenido en materia seca provoca una dispersión en los valores de los demás componentes del purín, de hecho es una de las propiedades físico-químicas de medición sencilla mejor correlacionada con el contenido en nitrógeno total Kjeldalh o el fósforo (Martínez-Suller, 2007).

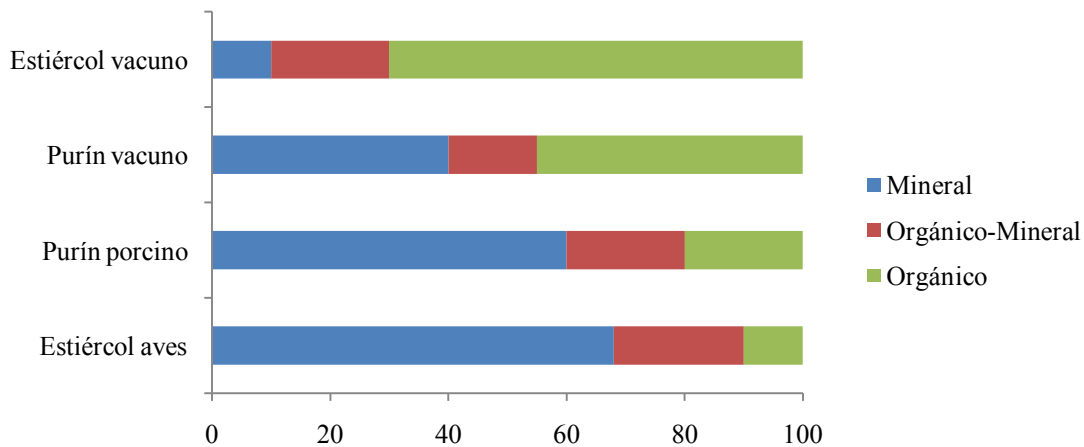
Materia orgánica: El contenido en materia orgánica del purín permite asumir que, sobre todo en suelos pobres, puede jugar un importante papel de conservación y corrección de las carencias físicas, ya que se mineraliza en poco tiempo y presenta una gran estabilidad (Callejo y Jimeno, 1998).

Nitrógeno: Elemento fertilizante de gran importancia, ya que tanto su carencia como su exceso pueden ocasionar pérdidas de rendimiento o calidad. Además, los aportes excesivos pueden provocar problemas de contaminación medioambiental, por lo que es importante ajustar la dosis adecuada para cada cultivo (Irañeta *et al.*, 1999). Su dinámica en el suelo es compleja, y puede dar lugar a formas asimilables y no asimilables por las plantas y también a formas susceptibles de ser eliminadas del suelo (volatilización, lixiviación, etc).

En los abonos nitrogenados comerciales la totalidad del nitrógeno se encuentra generalmente bajo forma mineral, ya sea directamente utilizable por la planta (forma nítrica), o a corto plazo tras una transformación en el suelo (formas amoniacales y ureicas). En cambio, el nitrógeno en los purines se presenta en tres formas: como nitrógeno inorgánico (componente más importante de purín pudiendo ser el responsable de las limitaciones desde el punto de vista agrícola); como nitrógeno orgánico fácilmente mineralizable; y como orgánico lentamente mineralizable (enriquecerá la materia orgánica del suelo y será liberada mediante mineralización progresivamente).

Las dos primeras fracciones tienen un efecto directo, similar al nitrógeno aportado por un abono mineral. La tercera tiene un efecto a medio y largo plazo como aporte al suelo de materia orgánica. Como puede observarse en el siguiente gráfico (Figura 1), el porcentaje de las diferentes fracciones es muy desigual entre purines de diferente origen.

Figura 1.- Formas de nitr3geno (%) en distintos residuos animales (Irañeta *et al.*, 1999)



El nitr3geno inorg3nico, principalmente en forma amoniacal, puede constituir entre el 40-60% del nitr3geno total. Esta forma de nitr3geno resulta igual de asimilable que el que se encuentra presente en los fertilizantes minerales.

El nitr3geno org3nico f3cilmente mineralizable, (entre un 20-30% del total) se encuentra en forma de urea, 3cido 3rico, amino3cidos, prote3nas, etc. Cuando las heces y orina de los animales se depositan en los establos, la urea y el 3cido 3rico, contenidos en la orina, se hidrolizan r3pidamente a amoniaco y di3xido de carbono, mediante la acci3n de enzimas segregadas por las bacterias fecales. Posteriormente, el amoniaco pasa a amonio y finalmente, si hay condiciones aerobias, puede llegar a dar lugar a nitritos para despu3s pasar a nitratos, debido a la acci3n de bacterias nitrificantes (del g3nero Nitrosomas, primero, y del g3nero Nitrobacter, para el paso a nitratos). *El nitr3geno org3nico lentamente mineralizable*, (hasta un 20% del total de nitr3geno aproximadamente), es el que se encuentra asociado a los compuestos lignocelul3sicos y que se ir3n acumulando con el paso del tiempo (estar3 disponible para los cultivos a partir del año de aplicaci3n).

F3sforo: contenido esencialmente en las partes s3lidas de las heces y se presenta bajo *forma mineral* u *org3nica* (Castill3n, 1993; Irañeta *et al.*, 1999). La mayor parte del f3sforo contenido en los purines se encuentra en forma mineral (hasta el 85%), principalmente en forma de fosfato bic3lcico, situ3ndose su asimilabilidad por parte de los cultivos en torno al 50-60%, similar a la que tienen otros abonos fosforados minerales (Pomares y Canet, 2001). Se presenta en las dos formas siguientes: *sales org3nicas*, como la fitina (hexafosfato de inositol con calcio y magnesio) y *sales*

inorgánicas solubles (80-85% del fósforo total) en forma de fosfatos de calcio principalmente.

Los aportes de fósforo por el purín son importantes, ya que los animales excretan hasta el 60-70% del ingerido en la dieta (Salcedo *et al.*, 2008b), en función de la digestibilidad que éste presenta según la materia prima utilizada como corrector, por lo que la cantidad de fósforo presente en el purín está directamente relacionada con la formulación que se haga en la dieta (Martínez-Suller *et al.*, 2008c).

Potasio: casi el 90% del potasio ingerido por los animales se excreta por la orina, la cual contiene entre el 3-4% de potasio, encontrándose en forma de sales minerales solubles, por lo que su disponibilidad para las plantas es similar a un abono mineral, 80-90% aproximadamente (Pomares y Canet, 2001).

Calcio y Magnesio: el catión calcio, junto con el magnesio, son los constituyentes principales del complejo de cambio de los suelos, por lo que al igual que el potasio, tras la distribución del purín quedan retenidos en el suelo como cationes de cambio. Tanto su carencia, como su exceso, pueden provocar serios problemas de fertilidad al suelo.

Otros componentes: los metales pesados constituyen uno de los principales problemas de los purines, debido a la dificultad en su eliminación. Generalmente, se suelen añadir al pienso, como factor de crecimiento los siguientes elementos: *zinc* (5%), *magnesio* (1%), *cobalto* (0.04%) y *cobre* (0.8%), por lo que suponen un mayor problema en las explotaciones porcinas que en las explotaciones de vacuno de leche (Moral *et al.*, 2005a). Muchos de estos metales tienen una asimilación muy escasa, por lo que aparecen en las excretas de los animales, y a la vez una alta persistencia en el suelo, por lo que se acumulan en el medio ambiente, permaneciendo en forma biodisponible, lo que hace que tengan una gran relevancia medioambiental a largo plazo (Callejo y Jimeno, 1998).

Factores que influyen en la variación de la composición química del purín

La composición de los purines, y por lo tanto sus características físico-químicas, presenta una enorme variabilidad en el espacio y en el tiempo (Van Kessel y Reeves, 2000) debido a diversos factores. A continuación se destacan algunos de los más significativos:

Dilución del purín: es el factor más importante que determina la composición química del purín. Esta puede ser variable, estando condicionada por la cantidad de agua empleada para la limpieza de las naves y sala de ordeño (el uso de agua a presión

supone un importante ahorro de agua), por el agua de bebida que se desperdicia (bien por alguna fuga o bien porque los animales la tiran o juegan con ella) y por el agua de lluvia que acaba en las balsas de almacenamiento (por estar destapadas o por inexistentes o ineficaces canalizaciones de las aguas pluviales).

Almacenamiento del purín: las deyecciones frescas son un producto “vivo” que sufre gran cantidad de reacciones biológicas y que necesita estabilizarse. Tanto a nivel agronómico, como ambiental, conviene que estas reacciones se produzcan durante el almacenamiento y no en el suelo, ya que podría perjudicar su estructura y fertilidad. Además, un almacenamiento prolongado (a partir de los cuatro meses) propicia la mineralización parcial del nitrógeno orgánico y consecuentemente, el incremento de la fracción amoniacal, respecto al purín fresco.

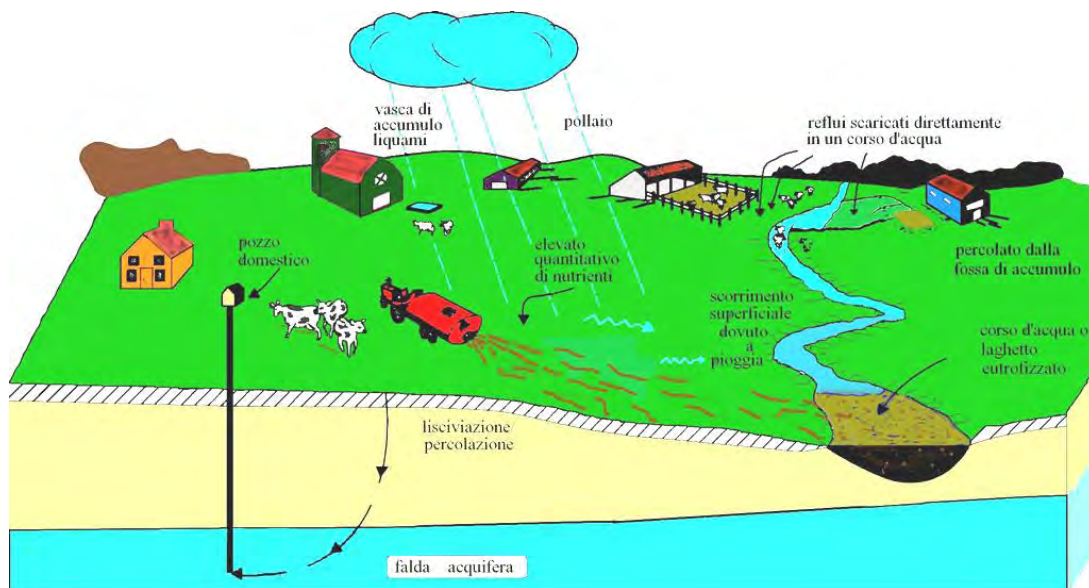
Tipo de alimentación: los animales tienen una capacidad limitada de aprovechamiento de los nutrientes de la dieta, por lo que aportes excesivos suponen, en muchos casos, incrementar el contenido de NPK de las deyecciones. En Cantabria, durante la última década se ha estado aportando a la dieta más nutrientes de lo aconsejado, y sólo en los últimos años (debido, en parte, al incremento del precio de los concentrados) se ha ajustado la concentración de nutrientes de la dieta a las necesidades fisiológicas de los animales. La época del año en la que se encuentran es también importante debido a la variación que se produce en la ingestión: en verano el calor provoca pérdida de apetito. Ajustar los niveles de proteína bruta o fósforo a las necesidades de los animales o aumentar los niveles de proteína o fósforo digestible, son herramientas para disminuir de la tasa de nitrógeno y fósforo que excretan los animales (Salcedo *et al.*, 2008ce).

Problemas ambientales causados por los residuos ganaderos

Los grandes volúmenes de deyecciones zootécnicas generados por las explotaciones, cada vez más intensivas, pueden ocasionar problemas ambientales, si no se manejan correctamente (Buenas Prácticas Agrícolas). Pese a esto, es importante recalcar que los purines no son residuos contaminantes “*per se*”, es de hecho una gestión incorrecta de los mismos lo que puede acarrear problemas ambientales (Martínez-Suller, 2007).

Es, por lo tanto, evidente la necesidad de tomar todas las medidas necesarias que permitan alcanzar un correcto uso del purín en la agricultura, sin cargarle a ésta la nada agradable responsabilidad de ser una de las principales causas de contaminación ambiental (Sangiorgi *et al.*, 1996).

Figura 2.- Posibles causas de contaminación puntual y difusa ocasionada por las explotaciones ganaderas (Sangiorgi y Provolo, 1997).



La contaminación ambiental causada por los efluentes zootécnicos puede ser una contaminación puntual o difusa. La *contaminación puntual* es aquella ocasionada por el vertido directo del purín, incluso parcialmente tratado, en aguas superficiales o subterráneas. Esta práctica está totalmente prohibida por la legislación nacional y europea y realmente es poco frecuente. La *contaminación difusa*, en cambio, viene potenciada por agentes meteorológicos, que tienden a transportar material de la superficie hacia cursos de agua (escorrentía) y/o material disuelto a través del suelo hacia cursos subterráneos de agua (lixiviación).

Mientras la contaminación puntual es relativamente fácil de controlar adoptando ciertas prácticas agrícolas y es cuantificable con análisis directos, la contaminación difusa está ligada a la naturaleza de la actividad agrícola misma y depende, directamente, de una serie de factores difícilmente cuantificables. En efecto, dada su naturaleza, la contaminación difusa no se puede eliminar, pero sí reducir.

La reducción de la polución difusa pasa por una serie de intervenciones que pueden ser resumidas como buenas prácticas agrícolas y como agricultura sostenible. A continuación, se enumeran algunos de los principales factores de riesgo de contaminación de origen agrícola:

- Concentración de explotaciones en determinadas zonas, como el área costera de Cantabria.
- Desequilibrio entre el número de animales estabulado y la superficie disponible

para la distribución del purín, propiciado por la intensificación agrícola y ganadera de las últimas décadas.

- Fenómenos meteorológicos que facilitan el transporte superficial y la lixiviación de nutrientes procedentes de los purines y los fertilizantes minerales.
- Calendario de distribución del purín no coherente con las necesidades fisiológicas de los cultivos, fomentados por la carencia de infraestructuras adecuadas (balsas de almacenamiento dimensionadas en función del número de animales estabulados para almacenar el purín durante al menos 4 meses).

Efectos de la contaminación sobre el medioambiente

Efectos sobre el suelo: tradicionalmente se ha dado por supuesto, erróneamente, que el suelo es un elemento que puede asimilar todo lo que la actividad humana genera, y se equipara a una gran depuradora que es capaz de reciclar, reabsorber y reutilizar todo lo que se deposita en él. Esta idea no es cierta, ya que el suelo es un recurso no renovable que tiene una capacidad limitada de actuación como elemento depurador (Prats i Rosell, 1995). Según Callejo y Jimeno (1998), si se parte del concepto suelo como soporte de una actividad agrícola, su utilización como “depuradora” sin tener en cuenta su dinámica natural, conduce a la pérdida de su capacidad regeneradora y recicladora de productos orgánicos. Esta pérdida de capacidad depurativa provocada en los suelos agrícolas se manifiesta en:

- El progresivo incremento de la conductividad eléctrica y de la salinidad, especialmente en zonas con escasa pluviometría y poca irrigación, que modifican la capacidad osmótica del suelo.
- La pérdida de fertilidad, por exceso de nutrientes y por la presencia de metales pesados, y su consecuente disminución del rendimiento de los cultivos.
- La pérdida de características físico-químicas (textura, cohesión, etc.).
- La progresiva erosión.
- Condiciones prolongadas de anaerobiosis, que impiden u obstaculizan la normal aireación del suelo y su metabolismo.
- Compactación, por el frecuente paso de los distribuidores de estiércol.
- Modificaciones en el pH.

Pese a lo comentado, hay que dejar claro que la distribución de purín tiene, generalmente, efectos positivos sobre la fertilidad química y biológica del suelo, siempre y cuando la dosis no sea exagerada. La dosis de aplicación debe tener en

cuenta, además de las necesidades del cultivo, las propiedades físicas del suelo (textura, tasa de infiltración, capacidad de intercambio, etc.). Debido a que el precio de los fertilizantes químicos en la última década ha sido relativamente económico para agricultores y ganaderos, el valor como abono del estiércol y el purín ha sido escaso. Es por ello, por lo que en regiones de elevada densidad animal, como es el caso de Cantabria, sobre todo la zona costera, al purín no se le dado ningún valor, siendo considerado un residuo del que a menudo es difícil desprenderse, más que un subproducto.

A partir de finales del 2007, el precio de los fertilizantes minerales ha subido exponencialmente, hecho que sin duda ha facilitado que los ganaderos hayan dirigido su mirada nuevamente hacia el purín, otorgándole cierto valor y contribuyendo a que se deje de ver como un residuo incomodo de manejar y/o tratar, para volverse a considerar un subproducto con cierto valor económico.

Efectos sobre las aguas superficiales y subterráneas: las principales causas de contaminación del agua con purín son la contaminación directa de las aguas superficiales por vertido directo de las explotaciones y el “enriquecimiento” en nutrientes, en particular de nitratos, de las aguas, tanto superficiales, como subterráneas. Los principales efectos de esta contaminación son la modificación de la calidad del agua, alteraciones sobre los organismos acuáticos, destrucción del hábitat y producción de sustancias tóxicas (Carballo Santaolalla, 1997).

Eutrofización: la mayoría de los suelos presentan una alta capacidad de retención de fósforo, por lo que la sobreaplicación de purines conduce a una acumulación en el suelo de este elemento (Gil, 2001), que si es lavado hacia capas más profundas puede acarrear contaminación de las aguas subterráneas (Callejo y Jimeno, 1998). En el medio acuático, el oxígeno es un elemento escaso, del que dependen procesos tan importantes como la fotosíntesis, la aireación, la respiración de los organismos y los procesos de oxidación.

Si alteramos este equilibrio, introduciendo compuestos que necesitan oxígeno para su descomposición, lo que provocamos es una demanda de oxígeno superior a los niveles existentes y se origina una deficiencia de oxígeno disuelto en el agua, lo que conlleva una serie de efectos negativos, como la desaparición de especies y mortalidad de organismos, la descomposición anaeróbica, la reducción química y la nitrificación incompleta y desnitrificación.

Por otra parte, la materia orgánica, contenida en los residuos ganaderos, contiene

una gran cantidad de sólidos en suspensión que incrementan la turbidez. Ésta reduce la disponibilidad de luz, afecta a organismos que realizan la fotosíntesis y provoca la desaparición de especies acuícolas. Además la sedimentación de estas partículas en el fondo puede crear un problema adicional, ya que al descomponerse consumen el oxígeno presente en estas zonas y contribuye a crear condiciones anóxicas.

Lixiviación: una vez incorporado al suelo, el nitrógeno amoniacal se transforma rápidamente en nitrógeno nítrico, muy sensible al lavado, especialmente si la aplicación del purín se realiza sobre un suelo desnudo o con un cultivo sin actividad vegetativa (Prats i Rosell, 1995). El progresivo incremento de los niveles de nitratos en zonas agrícolas y el riesgo que supone su utilización, para consumo humano y animal, ha originado que se establezcan unos niveles máximos permitidos: 50 mg l⁻¹ (Carballo Santaolalla, 1997).

En cuanto a la contaminación del agua por metales pesados, se considera de escasa relevancia a nivel medioambiental puesto que, solamente cuando los aportes de residuos ganaderos se realizan de forma continuada y cuando las condiciones del medio ambientales son favorables (pH ácidos, aguas blandas, etc.), se puede originar algún tipo de problema puntual. No obstante, hay que tener en cuenta que los sedimentos pueden actuar como reserva y producirse su liberación cuando un cambio en las condiciones de la calidad del agua lo favorezcan (Carballo Santaolalla, 1997).

Efectos sobre la atmósfera

La concienciación creciente hacia los problemas de contaminación ganadera ha ido dirigida, generalmente, y hasta hace poco tiempo, hacia la polución de las aguas y del suelo. Sin embargo, en los últimos años se ha prestado una mayor atención a los daños que estos gases pueden causar al medio ambiente; en concreto, su contribución a efectos como el de la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono o el efecto invernadero (Callejo y Jimeno, 1998). No en vano, la ganadería está considerada como el mayor contribuyente a la contaminación atmosférica.

Las pérdidas de nitrógeno en forma de emisiones de amoníaco se dan en la estabulación, en las fosas o balsas durante el almacenamiento y en el campo tras su aplicación, influyendo significativamente la condiciones climatológicas y el sistema de distribución utilizado (Salcedo *et al.*, 2009a). Además de disminuir el valor fertilizante de los purines, estas pérdidas provocan el enriquecimiento de la atmósfera en amoníaco, contribuyendo al agravamiento de los problemas ambientales por la acumulación de gases tipo invernadero.

- *La estabulaci3n*, el olor de los alojamientos procede fundamentalmente de la degradaci3n anaer3bica de los compuestos proteicos contenidos en las heces, orina, restos de piel, etc. La concentraci3n del olor depende del sistema de renovaci3n del aire, de la temperatura (en verano y al mediod3a se producir3n m3s emisiones que en invierno durante la noche), del manejo de las deyecciones (mezcladas con la cama de paja o serr3n se reducen las emisiones) y del tipo de pavimento utilizado, entre otras causas.
- *Balsas de almacenamiento*, la emisi3n de olor probablemente est3 determinada por el dise1o y forma de la balsa o fosa, el tipo de residuo, el per3odo de almacenamiento y las condiciones ambientales (Bertoncini, 2000). En general, las emisiones durante el almacenamiento son menores que las asociadas al alojamiento y a la aplicaci3n en el terreno (Mart3nez-Suller, 2007).
- *La distribuci3n*, durante la aplicaci3n del pur3n con cisternas tradicionales se produce un gran abanico de aspersi3n, perdi3ndose aproximadamente el 20% del nitr3geno amoniacal, aunque esta cifra puede variar seg3n el viento, humedad del aire, tama1o de gotas, etc. (Ira1eta *et al.*, 1999). La inyecci3n del pur3n en el suelo o un enterrado de los purines lo m3s r3pidamente posible reduce significativamente estas p3rdidas. La volatilizaci3n del amon3aco se incrementa en los suelos carbonatados con un elevado contenido de caliza activa (Prats y Rosell, 1995).

En una explotaci3n ganadera, principalmente se emiten gases como metano, amon3aco, di3xido de carbono o compuestos vol3tiles (malos olores), que pueden provocar, en mayor o menor medida, un impacto considerable sobre el medio ambiente, principalmente incrementando la concentraci3n de gases efecto invernadero (Tabla 1). Las caracter3sticas m3s destacables de estos gases se describen a continuaci3n:

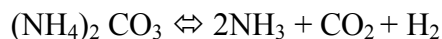
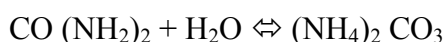
Tabla 1.- Contribuci3n al efecto invernadero de los principales gases contaminantes.

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC	O ₃
60%	15%	5%	12%	8%

1) *Metano*, se trata de un gas que a temperatura ambiente es incoloro e inodoro, poco soluble en el agua y no t3xico; adem3s es m3s ligero que el aire (densidad 0.599 g/cc). En su combusti3n se desprende gran cantidad de calor e interviene en gran medida al efecto invernadero. Este tipo de gas se produce principalmente por descomposici3n bacteriana de la materia org3nica en condiciones anaerobias, y de manera importante se

origina por las fermentaciones gastrointestinales de los rumiantes. El metano interviene en diferentes reacciones y situaciones de gran importancia para la atm3sfera, puesto que en la troposfera interviene en el calentamiento de la tierra, mientras que en la estratosfera participa en la destrucci3n de la capa de ozono (Batll3 i Colominas, 1993).

2) *Amoniaco*, a temperatura ambiente es incoloro y de olor irritante (irritaciones en ojos y v3as respiratorias) y, adem3s, es soluble en agua. Las emisiones originadas por la ganader3a provienen de la volatilizaci3n del amoniaco de los esti3rcoles y purines de las explotaciones, de su almacenamiento y de su aplicaci3n al suelo. El nitr3geno del pur3n se presenta como urea y debido a la actividad bacteriana, est3 relacionada con el agua, fermentando y produciendo amoniaco seg3n la reacci3n:



El amoniaco es el principal gas responsable de la acidificaci3n de la atm3sfera y por consiguiente, tambi3n de los suelos y de las aguas por medio de deposiciones h3medas. Las deposiciones de i3n amonio, en forma de sulfato am3nico, pueden traer efectos tales como la acidificaci3n del suelo y su enriquecimiento de nitr3geno o incluso originar una disminuci3n de nutrientes minerales (Paricio y Prats, 1995). Otro efecto relacionado a las emisiones de amoniaco es que, con deposiciones elevadas, en ecosistemas forestales se segregan potasio, magnesio y calcio en el suelo, originando desequilibrios nutricionales.

3) *Di3xido de carbono*, es un gas de olor picante y de gusto 3cido. La producci3n de este gas en ganader3a deriva, fundamentalmente, de la respiraci3n animal y de los subproductos del metabolismo. Su contribuci3n al deterioro del medio ambiente es despreciable con relaci3n a otras fuentes de emisi3n (motores de combusti3n, industria, etc.; Callejo y Jimeno, 1998).

Este gas es uno de los principales precursores del efecto invernadero de manera que absorben las radiaciones infrarrojas que proceden de la tierra, no permitiendo, de esta forma, que el calor se elimine hacia el espacio: 50% para el di3xido de carbono, mientras el restante 50% se lo reparten gases como el metano, 3xidos de nitr3geno y CFC.

4) *Compuestos vol3tiles*, motivo de problemas de impacto ambiental, de denuncias, quejas y normativas reguladoras, son poco tolerados por las personas. Los olores derivan principalmente, en una explotaci3n ganadera, de procesos de descomposici3n biol3gica de sustancias presentes en los excrementos animales. Si las

condiciones en que se realizan estas transformaciones son anaeróbicas, más desagradables al olfato resultan los compuestos volátiles generados.

Entre los compuestos volátiles producidos en las explotaciones ganaderas, los más destacables son el sulfuro de hidrógeno (SH_2), el amoníaco (NH_3), las aminas y las amidas. Sus efectos son de carácter local, ya que la dilución que sufren al ser transportados por el medio ambiente a grandes distancias hacen que su concentración sea más baja y, por lo cual, su percepción menor (Daudén Ibáñez, 2001).

Para actualizar los conocimientos sobre la composición del purín generado en las explotaciones intensivas y semiintensivas de vacuno lechero en Cantabria, el objetivo del presente trabajo se ha centrado en su caracterización y en el estudio de las posibles correlaciones entre sus propiedades físico-químicas y el contenido en nutrientes disponibles para los cultivos, teniendo en cuenta la formulación de la dieta.

2.- Material y métodos

2.1. Toma de muestras y desarrollo experimental

Como ya se ha dicho con anterioridad, el objetivo principal de la experimentación fue caracterizar el purín producido por las vacas de leche, pero siempre que se pudo se muestreó también el purín generado por las novillas. No todas las explotaciones contaban con fosa de novillas, y en aquellos casos que si contaban, no siempre se pudo recoger una muestra debido a que, en gran parte de las explotaciones estudiadas, las infraestructuras dedicadas a las novillas no eran aptas para realizar muestreos de purín representativos: fosas inalcanzables, imposibilidad de agitar y/o de utilizar el muestreador (Figura 3), presencia de una gran costra, gran parte sin estabular, etc. De esta manera, se tomaron muestras exclusivamente de 3 explotaciones y no en los 24 muestreos realizados durante los dos años de experimentación.

Las muestras fueron almacenadas en contenedores de plástico de tres litros de capacidad con cierre hermético, siendo el objetivo principal de muestreo las balsas de almacenamiento. Cuando no fue posible acceder a las balsas, las muestras se recogieron directamente de la fosa en el interior de la explotación (Tabla 2). De una explotación se recogieron 2 muestras en cada visita, por contar con dos balsas de almacenamiento: una para el purín fresco al final de la estabulación y la otra para acumular la fracción líquida de ese purín fresco tras su paso por un separador sólido-líquido compuesto por un tornillo sinfín y una prensa. Tras la separación la fracción líquida es distribuida al campo como fertilizante, mientras que la fracción sólida viene compostada y utilizada por un vivero.

Ante la imposibilidad de agitar el purín de la balsa o fosa previamente al muestreo en la mayoría de las explotaciones, el purín fue recogido con un muestreador capaz de obtener una columna de purín representativa de los distintos estratos que se forman durante el proceso de almacenamiento (Figura 3).

Tabla 2.- Lugar y muestreo del purín de las explotaciones estudiadas

Explotación	Sistema	Punto de muestreo del purín
1	S	Fosa
2	I	Balsa de almacenamiento
3	S	Balsa de almacenamiento
4	I	Balsa de almacenamiento
5	S	Balsa de almacenamiento
6	I	Fosa
7	I	Balsa de almacenamiento
8	I	Balsa de almacenamiento
9	I	Balsa de almacenamiento
10	I	Fosa
11	I	Fosa
12	S	Fosa
13*	I	Balsa de almacenamiento purín fresco Balsa de almacenamiento fracción líquida

* Balsas agitadas durante los 30 minutos previos a la toma de muestras.

S: explotación semiintensiva; **I:** explotación intensiva.

Figura 3.- Detalle de la toma de muestras



Cada mes se dedicó una semana a visitar las 13 explotaciones y recoger información y muestras, con una media de 3 explotaciones visitadas cada día. Inmediatamente después del muestreo, el purín y los alimentos fueron trasladados en una caja frigorífica al Laboratorio de Nutrición Animal del I.E.S. La Granja (Heras). Una vez en el laboratorio, las muestras fueron procesadas, realizándose algunos análisis sobre las muestras frescas y otros sobre la muestra seca, previo paso por la estufa

durante 48 horas a 60°C. Una alícuota de cada muestra fue almacenada para su conservación, según su naturaleza: purín fresco en congelador industrial a -18°C y alimentos secos y molidos a temperatura ambiente.

2.2. Composición química de las heces

Fueron definidos en el apartado “Material y métodos” del Capítulo “Alimentación y Producción de leche”.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos y su discusión se presentan en tres bloques: 1) composición química; 2) análisis de correlación entre los parámetros determinados en laboratorio, destacándose las ecuaciones de regresión más significativas que estiman el contenido en N o P; 3) valor agronómico del purín y 4) su relación con la alimentación.

3.1. Cuantificación y caracterización analítica del purín

El objetivo de esta parte del trabajo ha sido el de aportar información sobre la composición del purín producido por las explotaciones lecheras en Cantabria, contribuyendo, de esta manera, a mejorar la gestión del purín, tanto agronómica como ambientalmente.

1.1.1. Almacenamiento

Las 13 explotaciones participantes en el estudio cuentan con balsas y/o fosas de almacenamiento de distintas características y volumen (Tabla 3). La explotación 13, además, cuenta con un separador sólido-líquido, compuesto por un tornillo sinfín, por lo que dispone además de dos grandes balsas de almacenamiento: para el purín fresco (al final de la estabulación) y para la fracción líquida (tras el paso del purín por el separador).

Tabla 3.- Infraestructura para el almacenamiento de los purines en las explotaciones estudiadas

Explotación	Sistema	m ³ de almacenamiento	Porcentaje cubierta (%)	Tiempo máx. almacenamiento ¹
1	S	332	71%	2.05
2	I	420	0%	3.11
3	S	826	0%	5.55
4	I	180	100%	3.2
5	S	112	0%	1.36
6	I	150	0%	0.85
7	I	585	0%	1.34
8	I	1540	0%	4.40
9	I	330	0%	3.04
10	I	448	100%	5.2
11	I	472	100%	1.86
12	S	97.5	61%	1.15
13	I	1700 ²	18%	6.00
Media del conjunto de datos		597	27%	2.79
Media explotaciones intensivas		742	24%	2.94
Media explotaciones semiintensivas		342	33%	2.53
<i>P entre explotaciones</i>		***	***	***
<i>P entre sistemas de producción</i>		***	***	***

¹: tiempo medio (meses) de almacenamiento estimados en función del volumen de almacenamiento y de la producción de purín anual de cada explotación; ²: cuentan con una balsa de almacenamiento de purín fresco de 400 m³, una balsa de 1000 m³ para almacenar la fracción líquida y un estercolero de 300 m³ donde almacenan la fracción sólida; **S**: semiintensiva; **I**: intensiva.; **P**: Nivel de significación *** P<0.001

El tiempo máximo de almacenamiento ha sido estimado en función del volumen total de almacenamiento de purín con el que cuenta cada explotación (balsas y fosas) y de la producción de purín anual de las mismas. Estos valores medios son sólo estimativos, y es muy importante tener en cuenta que por falta de información, a la hora de su cálculo no se ha tenido en cuenta la dilución del purín por las pérdidas de agua dentro de la explotación, por el agua utilizada en las operaciones de limpieza o por las precipitaciones (sólo el 27, 24 y 33% del volumen presenta cubierta para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente), por lo que el tiempo máximo de almacenamiento real del que disponen las explotaciones es, seguramente, sensiblemente inferior al presentado en la Tabla 3.

De forma similar a lo observado con otros parámetros presentados anteriormente, en el volumen destinado a almacenar el purín y el tiempo máximo de almacenamiento se han verificado diferencias muy significativas (P<0.001) entre las 13 explotaciones estudiadas y también entre los dos sistemas de producción tenidos en

cuenta, con importantes desviaciones estándar (Tabla 4), lo que da una idea de la heterogeneidad de estas características en las explotaciones estudiadas.

Tabla 4.- Valores medios, máximos y mínimos de la capacidad de almacenamiento de purín y su relación con el número de animales (UGM)

		Volumen almacenamiento (m ³)	Relación volumen almacenamiento y número de animales (m ³ UGM ⁻¹)
Conjunto	Media	597	4.52
	Máximo	1700	10.6
	Mínimo	97	1.70
	<i>Std.</i>	500	3.20
Intensivas	Media	742	4.90
	<i>Std.</i>	537	2.80
Semiintensivas	Media	342	3.60
	<i>Std.</i>	298	2.80

Std: desviación estándar

Los valores más elevados los han presentado las explotaciones intensivas, como cabía esperar en función de su mayor número de animales estabulados y, por lo tanto, mayor producción anual de purín, con valores que han rondado los 742 m³ y 2.94 meses de almacenamiento para las explotaciones intensivas, y 342 m³ y 2.53 meses para las semiintensivas.

Estos datos vienen contrastados por la relación entre la capacidad de almacenamiento y las UGM presentes en la explotación, con valores medios de 4.52, 4.90 y 3.60 m³ de almacenamiento de purín por cada UGM, para el conjunto de datos, las explotaciones intensivas y las semiintensivas (Tabla 4).

3.1.2. Parámetros físico-químicos

A continuación se muestran las Tablas correspondientes a los parámetros físico-químicos analizados de las explotaciones bovinas muestreadas, indicando los valores medios, máximos y mínimos y las desviaciones estándar.

Tabla 5.- Valor medio de los par3metros determinados para cada una de las explotaciones estudiadas (24 muestreos)

Explo.	Sistema	pH	CE	MS	Cen	MO	N _t	NH ₄	NH ₄ /N _t	P
1	S	6.95	19.7	8.15	23.2	75.5	0.39	0.20	50.02	0.92
2	I	7.53	16.2	15.8	41.5	59.3	0.45	0.17	38.09	0.57
3	S	7.25	10.9	12.8	39.0	61.7	0.35	0.10	29.69	0.79
4	I	6.95	15.0	9.10	20.0	80.0	0.31	0.12	39.49	0.69
5	S	6.95	11.0	10.6	25.9	74.0	0.38	0.12	32.38	0.66
6	I	7.12	13.9	11.4	19.7	79.3	0.42	0.12	28.50	0.68
7	I	7.06	17.7	14.0	42.4	59.2	0.47	0.20	42.91	0.51
8	I	7.00	17.8	12.7	22.1	79.6	0.35	0.14	40.33	0.50
9	I	7.15	15.6	10.6	17.1	82.3	0.38	0.15	39.21	0.56
10	I	7.01	20.0	8.87	28.7	71.3	0.40	0.20	50.57	0.95
11	I	6.89	19.6	8.40	23.8	87.0	0.41	0.19	47.34	0.91
12	S	6.85	13.7	9.54	22.0	78.0	0.35	0.12	33.30	0.59
13	I	6.92	16.4	6.32	24.5	74.7	0.28	0.13	46.33	0.81
Explotaci3n		***	***	***	***	***	***	***	***	***
Sistema		NS	***	NS	NS	NS	NS	**	*	NS

CE: conductividad el3ctrica mS cm⁻¹; MS: materia seca, %; Cen: cenizas, %; MO: materia org3nica, %; N_t: N total; NH₄: N amonio, %; NH₄/N_t: % N amonio sobre el N total; P: f3sforo, % sobre materia seca; S: semiintensiva; I: intensiva; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo

El valor medio de pH de los purines analizados ha sido de 7.05±0.18 (Tabla 5). Esta baja variabilidad del pH se ha traducido, a nivel de explotaci3n (Figura 4), en valores muy similares, con un m3ximo de 7.53 en la explotaci3n n° 2 y un m3nimo de 6.85 en la n° 12, aunque sin diferencias significativas independientemente del sistema de gesti3n m3s o menos intensivo.

Valores de 3sta 3ndole reducen las p3rdidas de amoniaco a la atm3sfera durante el periodo de almacenamiento, mientras que valores mayores potenciar3an estas p3rdidas (Phillips *et al.*, 2000).

Tabla 6.- Valor medio de los par3metros determinados para el conjunto de datos, las explotaciones intensivas y las semintensivas (24 muestreos)

	pH	CE	MS	Cen	MO	N_t	NH₄	NH₄/N_t	P
Media conjunto	7.05	16.01	10.6	26.9	74.0	0.38	0.15	39.8	0.70
N	299	299	299	299	299	299	295	299	286
<i>Std.</i>	0.18	3.03	2.68	8.55	8.88	0.05	0.04	7.42	0.16
M3ximo	7.53	20.0	15.8	42.4	87.0	0.47	0.20	50.5	0.95
M3nimo	6.85	10.9	6.32	17.1	59.2	0.28	0.10	28.5	0.50
Media intensivo	7.07	16.9	10.8	26.7	74.7	0.39	0.16	41.4	0.69
N	207	207	207	207	207	207	205	207	198
<i>Std.</i>	0.19	2.03	3.03	9.30	9.82	0.06	0.03	6.45	0.17
M3ximo	7.53	20.0	15.8	42.4	87.0	0.47	0.20	50.5	0.95
M3nimo	6.89	13.9	6.32	17.1	59.2	0.28	0.12	28.5	0.50
Media semiintensivo	7.00	13.8	10.2	27.6	72.3	0.37	0.13	36.3	0.74
N	92	92	92	92	92	92	90	92	88
<i>Std.</i>	0.18	4.12	1.99	7.82	7.26	0.02	0.04	9.24	0.15
M3ximo	7.25	19.7	12.8	39.0	78.0	0.39	0.20	50.0	0.92
M3nimo	6.85	10.9	8.15	22.0	61.7	0.35	0.10	29.6	0.59

CE: conductividad el3ctrica mS cm⁻¹; **MS:** materia seca, %; **Cen:** cenizas, %; **MO:** materia org3nica, %; **N_t:** N total; **NH₄:** N amonio, %; **NH₄/N_t:** % N amoniacoal sobre el N total; **P:** f3sforo, % sobre materia seca; **Std:** desviaci3n est3ndar

Todos los valores determinados se encuentran en el rango 6.85 - 7.53, por lo que en principio, a nivel agron3mico, los purines estudiados no presentan ning3n tipo de restricci3n asociada a su uso directo en agricultura, en lo concerniente al pH. Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio con resultados de investigaciones llevadas a cabo en Europa con pur3n de vacuno lechero (Tabla 7), el pH del pur3n muestreado en Cantabria es sensiblemente menor, observ3ndose en cualquier caso, desviaciones est3ndar muy bajas, lo que ratifica la poca variabilidad de este par3metro m3s all3 de factores tan variables como los distintos sistemas de gesti3n, la alimentaci3n o la climatolog3a.

Figura 4.- pH del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo

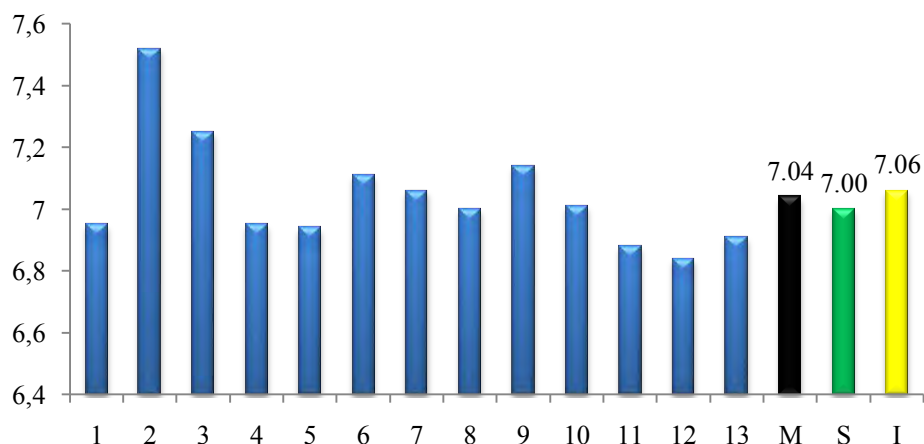


Tabla 7.- Valores medio, m3ximo, m3nimo y desviaci3n est3ndar de muestras de pur3n analizadas en distintos pa3ses de Europa

	Pa3s	pH	CE	MS	Nt	NH ₄	NH ₄ /Nt	pH
Media	Italia	7.5	13.3	-	3.52	1.64	47	-
<i>Std</i>	(Lodi)*	0.3	1.77	-	0.41	0.28	-	-
M3ximo		7.9	16.8	-	4.11	1.86	-	-
M3nimo		6.9	9.42	-	2.84	0.98	-	-
Media	Italia	7.5	-	8.9	3.72	1.46	40	-
<i>Std</i>	(Brescia)*	0.4	-	3.41%	1.14	0.46	-	-
M3ximo		8.1	-	16.2%	7.32	2.50	-	-
M3nimo		6.6	-	1.6%	0.73	0.28	-	-
Media	Irlanda	7.3	14.3	6.3	3.43	-	-	0.56
<i>Std</i>	(Wexford)*	0.2	4.85	2.1%	1.40	-	-	0.25
M3ximo		7.8	23.3	9.7%	7.03	-	-	1.13
M3nimo		6.8	4.04	0.6%	0.36	-	-	0.04
Media	Italia	7.3	11.7	-	2.54	1.12	42	1.38
<i>Std</i>	(Mil3n)**	0.4	2.65	-	1.05	0.59	-	0.66
M3ximo		7.9	16.8	-	4.11	1.86	-	2.54
M3nimo		6.2	7.34	-	0.94	0.26	-	0.44

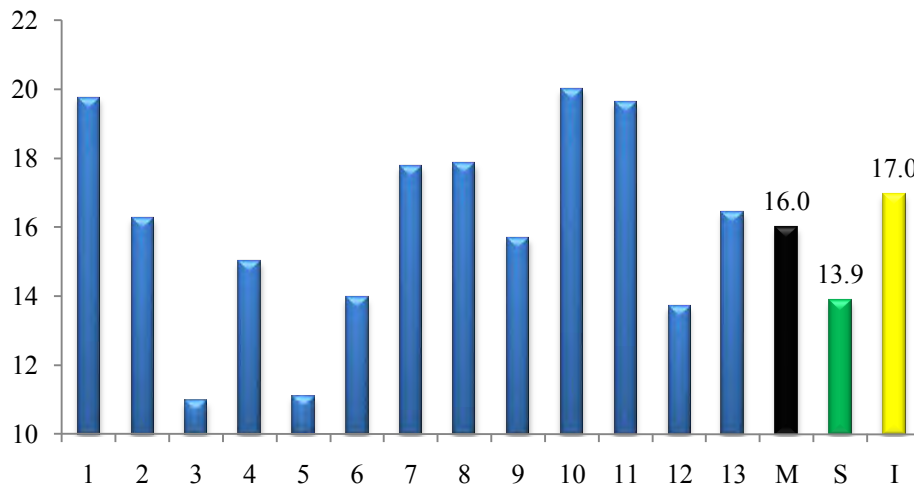
*: Mart3nez-Suller, 2007; **: Provolo y Mart3nez-Suller 2007; **CE**: conductividad el3ctrica, mS cm⁻¹; **MS**: materia seca, %; **N_t**: nitr3geno total, kg m³; **NH₄**: amonio, kg m³; **Std**: desviaci3n est3ndar

Respecto a la **conductividad el3ctrica** (CE), los valores obtenidos en laboratorio son en general elevados, con conductividades que se encuentran en el intervalo 10.9 – 20.0 mS cm⁻¹, con un valor medio global de 16 mS cm⁻¹. Para este par3metro s3 que se han observado diferencias muy significativas (P<0.001) entre los dos sistemas de producci3n estudiados, con valores medios de 16.9 mS cm⁻¹ para las explotaciones intensivas y 13.8 mS cm⁻¹ para las semiintensivas (Figura 5), debido posiblemente a la mayor cantidad de sales y prote3nas suministradas en la dieta de las explotaciones

intensivas estudiadas (Moral *et al.*, 2005b).

Los datos aquí presentados son de una magnitud similar a la de los purines porcinos (Martínez-Suller *et al.*, 2008a), por lo que hay que considerar el uso directo del purín bovino en agricultura, como se realiza de forma usual en Cantabria, supone una entrada importantísima de sales solubles en suelos agrícolas. Este hecho puede ocasionar, ante el aporte de grandes cantidades de purín sin control, la degradación estructural del suelo, el aumento del potencial osmótico de éste y por tanto, la generación de estrés hídrico en los cultivos. La alta pluviometría de la zona alivia, sin lugar a dudas, este peligro de salinización, aunque al mismo tiempo ocasiona la movilización y acumulación de estas sales en la capa freática.

Figura 5.- Valor medio de la conductividad eléctrica (mS cm^{-1}) del purín de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo



Por lo que a **materia seca (MS)** se refiere, los valores medios obtenidos han sido de 10.6, 10.8 y 10.2 %, para el conjunto de datos, las explotaciones intensivas y las semiintensivas, respectivamente. Además, no se han observado diferencias significativas entre los sistemas estudiados, hecho que junto a las bajas desviaciones estándar determinadas, indican baja variabilidad de este parámetro en los purines muestreados (Figura 6).

Comparando los valores medios obtenidos con los presentados en otros trabajos (Tabla 7), destacan los mayores contenidos en MS del purín de las explotaciones de vacuno lechero de Cantabria, lo cual puede tener su origen en el mayor uso de paja como cama en las explotaciones de nuestra Región. Otro factor a tener en cuenta, ya que influye significativamente en la concentración de MS por el efecto dilución del purín, es la gestión del agua en la explotación: minimizar las pérdidas en los abrevaderos, utilizar

sistemas de limpieza con agua a alta presi3n que reducen el volumen de agua utilizada, canalizar el agua de lluvia, etc.

Figura 6.- Contenido de materia seca (%) del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo

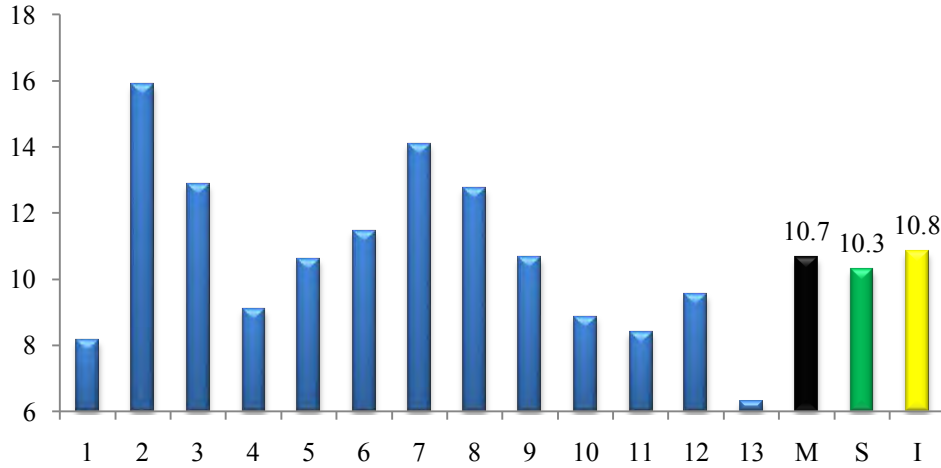


Figura 7.- Contenido de cenizas (%) del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo

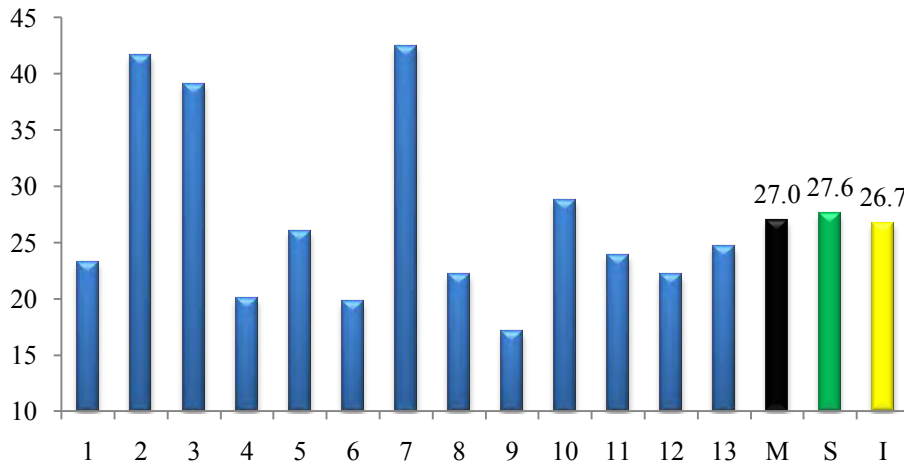
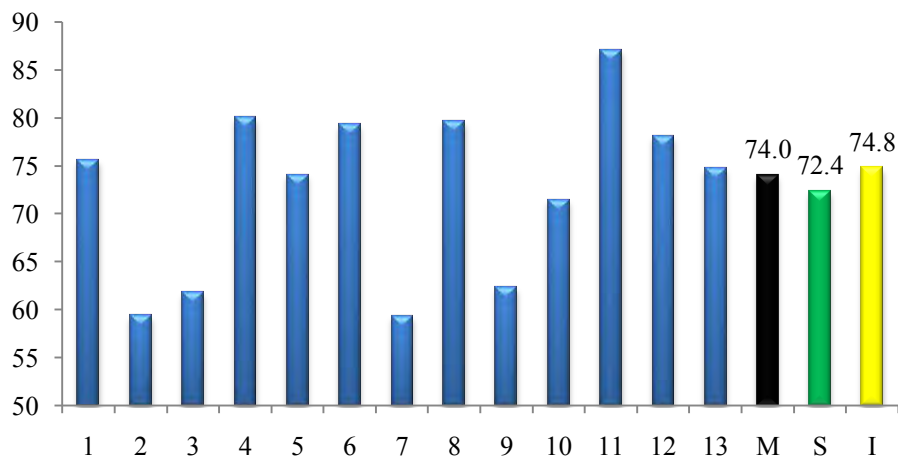


Figura 8.- Contenido de materia org3nica (%) del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo



El contenido de **cenizas** y de **materia orgánica** de las muestras de purín estudiadas ha sido expresado en porcentaje sobre materia seca y, conviene destacar que ambos contenidos están inversamente relacionados. La variabilidad observada en sendos parámetros ha sido escasa, mostrando bajas desviaciones estándar tanto para el conjunto de datos, como para las explotaciones intensivas y semiintensivas (Figura 8).

De hecho, aunque si se han observado diferencias significativas entre explotaciones ($P < 0.001$) en el contenido en cenizas, con valores dentro del rango de 17.1-42.4% de cenizas sobre MS, a nivel de sistema de producción no ha habido diferencias significativas, con valores medios de 26.9, 26.7 y 27.6% MS para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente.

Comparando los resultados de porcentaje de cenizas obtenidos con algunos resultados bibliográficos de diferente tipología animal, el contenido en cenizas del purín de vacuno lechero de Cantabria es ligeramente inferior que el observado en purín producido en explotaciones de porcino y significativamente menor al producido en explotaciones de terneros de engorde, con valores medios de 33.4 y 49.7% MS, respectivamente (Martínez-Suller, 2008).

Debido a la relación inversa del contenido de cenizas y de MO, el porcentaje de MO de los purines estudiados ha presentado también diferencias muy significativas entre el grupo de explotaciones ($P < 0.001$), pero no ninguna diferencia comparando los dos sistemas de producción tenidos en cuenta en el ensayo. El rango de contenido en MO de las muestras analizadas ha sido de 59.2-87.1 % MS (Tabla 6).

3.1.3. Formas nitrogenadas

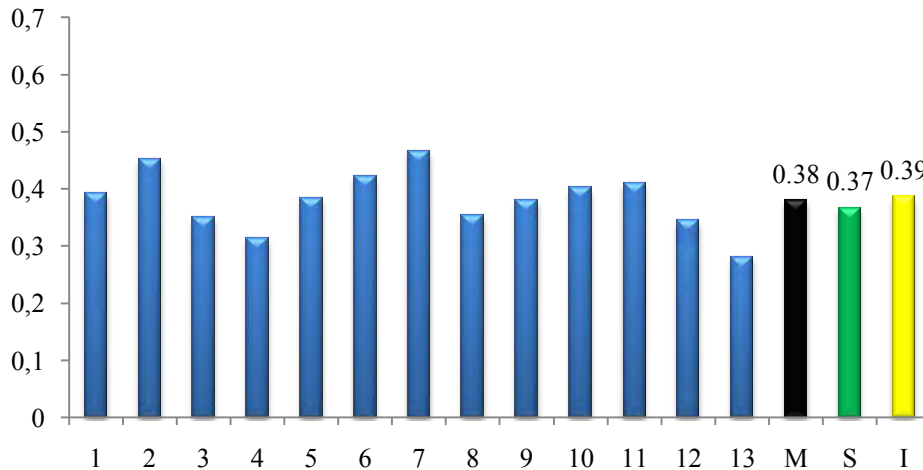
Pese a que la concentración de **nitrógeno total Kjeldalh** (N_t) de los purines bovinos es menor que la de los purines porcinos debido a la concentración de proteína aportada en la dieta (Marañón Maison *et al.*, 1998; Martínez-Suller *et al.*, 2008a; Monge *et al.*, 2001), las muestras analizadas han presentado un notable contenido en N, óptimo para la producción de forrajes (Salcedo *et al.*, 2009b), con una concentración media de 0.38, 0.39 y 0.37% de N para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente (Figura 9),

Aunque se verificaron diferencias significativas ($P < 0.001$) en cuanto a concentración de N en el purín analizado entre explotaciones, el test ANOVA no mostró diferencias significativas entre los dos sistemas de producción estudiados. Estos resultados se ven corroborados por los similares valores medios y las bajas desviaciones estándar obtenidos para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y

semiintensivas (Tabla 6). El mayor valor numérico de contenido en N observado en las explotaciones intensivas respecto a las semiintensivas tiene, posiblemente, su explicación en el mayor uso de concentrados en la formulación de la dieta de este tipo de explotaciones (Salcedo y Martínez-Suller, 2008).

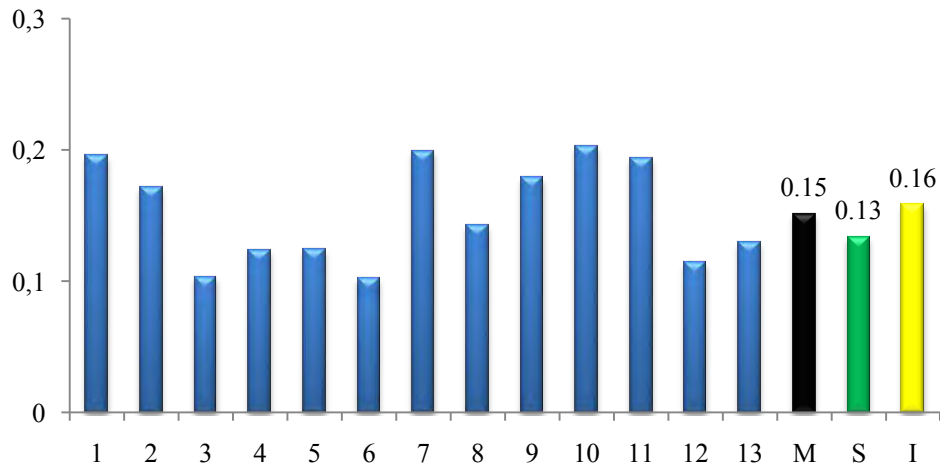
Comparando los datos obtenidos con otros presentados en trabajos con sistemas mucho menos intensivos, como puede ser el utilizado en Irlanda (Martínez-Suller *et al.*, 2008d), la concentración de N es mayor en el purín producido en las explotaciones cántabras (0.38% dentro del rango 0.28-0.47% vs. 0.34 % dentro del rango 0.04-0.70%, para el purín de Cantabria e Irlanda, respectivamente), probablemente debido a la mayor cantidad de concentrados aportados diariamente en la dieta, incluso en las explotaciones semiintensivas (Salcedo *et al.*, 2008a).

Figura 9.- Concentración de nitrógeno total (N_t , %) del purín de las 13 explotaciones, conjunto, sistema semiintensivo e intensivo



Los valores de **nitrógeno amoniacal** (NH_4) se correlacionan enormemente con los de N total. Así, por ejemplo, las 4 explotaciones que mayores concentraciones de N han mostrado (todas ellas explotaciones intensivas), son las que han mostrado también, las mayores concentraciones de NH_4 : explotaciones 7, 2, 10 y 11.

■ **Figura 10.** Valor medio de la concentraci3n de nitr3geno amonio (NH_4 , %) del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistemas semiintensivo e intensivo



El contenido en NH_4 de las muestras de pur3n analizadas ha presentado diferencias significativas, tanto entre explotaciones ($P < 0.001$), como entre sistemas ($P < 0.01$), con mayores valores para las explotaciones intensivas. En cualquier caso, la variabilidad del contenido en formas nitrogenadas ha sido muy baja para todas las explotaciones, con valores medio de 0.39 y 0.37% N_t y 0.16 y 0.13% NH_4 , para las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente.

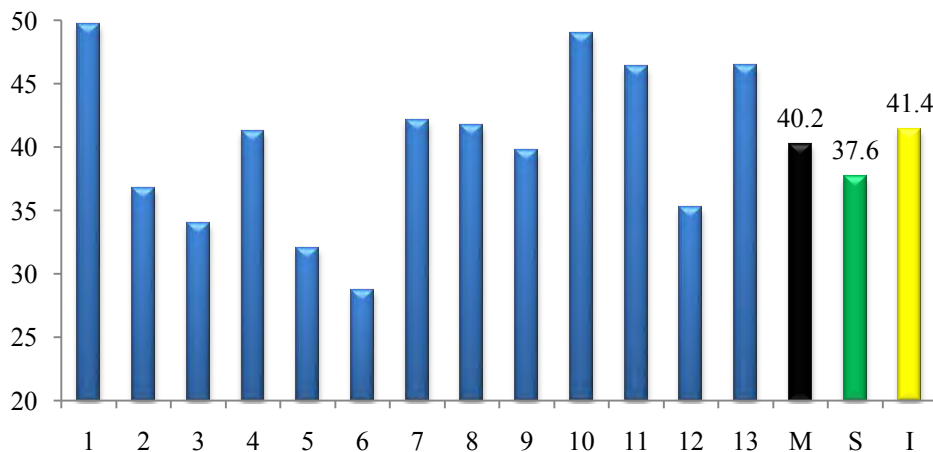
El porcentaje de N-amoniaco sobre el contenido de N_t en el pur3n ofrece informaci3n sobre el grado de mineralizaci3n del N org3nico, o lo que es lo mismo, indica el riesgo de p3rdida de amoniaco a la atm3sfera mediante emisiones. Este riesgo de contaminaci3n atmosf3rica suele ser menor en las explotaciones de vacuno de leche que en otro tipo de explotaciones ganaderas (terneros de engorde, porcino, etc.), debido a la facilidad de formaci3n de una espesa costra en la superficie del pur3n almacenado, inducida por los restos de paja, forrajes, pelos de los animales, etc., que tienden por acabar en la balsa o fosa (Phillips *et al.*, 2000).

De los datos obtenidos en el estudio se desprende que la forma nitrogenada predominante en los purines analizados es el amonio, con una concentraci3n media de 39.8, 41.4 y 36.3%, para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente (Figura 11). Estos valores se encuentran en el mismo orden de grandeza que los obtenidos en otros pa3ses europeos con sistemas m3s o menos intensivos (Mart3nez-Suller, 2003; Mart3nez-Suller *et al.*, 2006; Provolo y Mart3nez-Suller, 2004).

Aunque valores de pH pr3ximos a la neutralidad, la formaci3n de la costra durante el proceso de almacenamiento y la climatolog3a con la que cuenta la Cornisa

Cantábrica minimizan, de alguna manera, las emisiones de amoníaco a la atmósfera, valores del orden del 40% obligan a prestar especial atención al manejo integral que se le da al purín en la explotación, con el objetivo de evitar la pérdida de este macronutriente (N) a la atmósfera, tanto por tratarse de un gas de efecto invernadero (contaminación atmosférica), como por la reducción de su poder fertilizante (Arriaga *et al.*, 2009).

■ **Figura 11.** Porcentaje de NH_4 sobre el Nt (%) del purín de las 13 explotaciones, conjunto, sistemas semiintensivo e intensivo



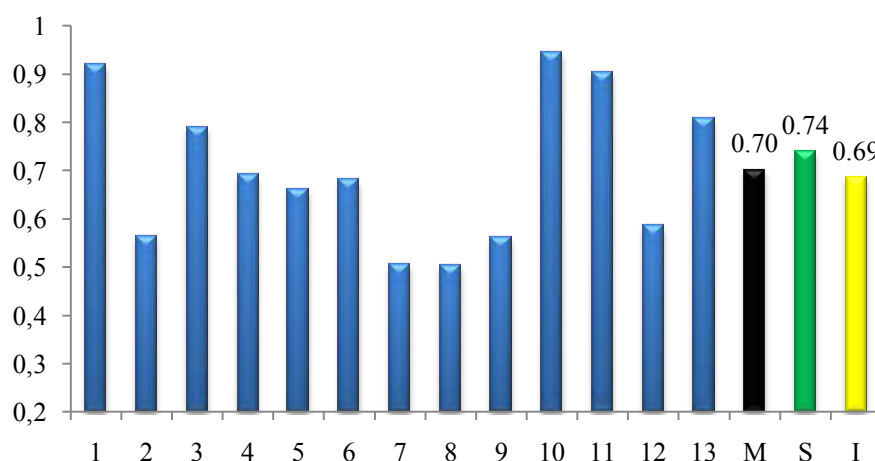
3.1.4. Fósforo total

Debido a la dependencia de la fracción orgánica del **fósforo** (P_2O_5), la mayoría de fósforo en las muestras analizadas se localizó en los sólidos en suspensión (Rulkens *et al.*, 1998), con valores medios observados se han situado en 0.70, 0.69 y 0.74% sobre materia seca para el conjunto de datos y para las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente.

La mayor concentración de fósforo determinada en las explotaciones semiintensivas respecto a las intensivas ($P < 0.05$), mostrando un comportamiento antagónico al observado para las formas nitrogenadas, se debe muy probablemente al mayor consumo de forrajes por parte de los animales en las explotaciones semiintensivas (Salcedo *et al.*, 2009c).

Comparando los resultados obtenidos en la presente investigación, con los presentados en otros países europeos (Tabla 7), el contenido en fósforo de los purines cántabros estudiados estarían más próximos al contenido de los purines del sur de Irlanda que a los del Norte de Italia (valores medios de 0.70, 0.56 y 1.38% P_2O_5 , respectivamente).

Figura 12. Concentraci3n de P sobre materia seca (%) del pur3n de las 13 explotaciones, conjunto, sistemas semiintensivo e intensivo



Como ya se ha dicho el muestreo de pur3n de novillas ha sido m3s reducido, debido a la dificultad de obtener muestras representativas. A continuaci3n, (Tabla 8) se presentan los valores medios, m3ximos y m3nimos, y la desviaci3n est3ndar de los par3metros analizados en el laboratorio en el proceso de caracterizaci3n del pur3n de novillas de las 3 explotaciones muestreadas.

Tabla 8.- Valor medio de las propiedades fisico-qu3micas de las muestras del pur3n de novillas

Explot.	Nº	pH	CE	MS	Cen	MO	N _t	NH ₄	NH ₄ /N _t	P
4	2	7.25	6.06	10.7	27.8	72.1	0.24	0.06	25	0.26
7	10	7.44	9.48	12.6	19.9	80.1	0.42	0.14	33	0.32
8	8	7.72	12.9	15.0	10.4	89.6	0.45	0.15	33	0.34
Media		7.53	10.1	13.4	16.8	83.1	0.41	0.14	32	0.32
<i>N</i>	20	17	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>Std</i>	0.49	5.74	2.40	7.06	7.06	0.10	0.07	10	0.10	
M3ximo	8.39	25.0	17.3	34.0	94.8	0.54	0.27	53	0.52	
M3nimo	6.76	3.47	8.45	5.14	65.9	0.21	0.04	11	0.11	
P	NS	NS	*	***	***	*	NS	*	NS	

CE: conductividad el3ctrica mS cm⁻¹; **MS:** materia seca, %; **Cen:** cenizas, %; **MO:** materia org3nica, %; **N_t:** N total; **NH₄:** N amoniaco, %; **NH₄/N_t:** % N amoniaco sobre el N total; **P:** f3sforo, % sobre materia seca; **Std:** desviaci3n est3ndar; **P:** Nivel de significaci3n, * P<0.05; *** P<0.001; **NS:** no significativo

Los valores medios de **pH** y contenido en **MS** obtenidos han sido 7.5 y 13.4%, respectivamente, valores significativamente mayores que los observados para el pur3n de vacas en ordeño. En cuanto al pH, estos mayores valores, combinados con otras variables como un gran contenido de N-amoniaco, pueden favorecer a la volatilizaci3n del amoniaco durante el periodo de almacenamiento (Phillips *et al.*, 2000).

El mayor contenido medio de contenido en MS ($13.4\pm 2.40\%$ vs. $10.6\pm 2.68\%$, respectivamente para las novillas y el conjunto de datos de vacas de leche), por su parte, es probablemente debido al mayor uso que se hace de la paja como cama y alimento en la cr3a de novillas, que tanto fresca, como tras ser ingerida, acaba por acumularse en la fosa junto con las deyecciones.

La CE, en cambio, ha presentado un menor valor medio en el pur3n de novillas que en el de vacas de leche, debido posiblemente a la naturaleza m3s s3lida y heterog3nea de este producto, potenciado, en parte, por la gran cantidad de paja y forrajes que se utilizan en la cr3a de novillas (Salcedo *et al.*, 2008c). De hecho, en algunas determinaciones en laboratorio, la sonda de CE, id3nea para fluidos, present3 problemas de estabilidad en la medida, teniendo que repetirse la lectura hasta alcanzar estabilidad.

Respecto al contenido en nitr3geno, se verificaron mayores valores en el contenido en N_t para el pur3n de novillas que para el pur3n de vacas en orde1o, con valores medios de 0.41 y 0.38%, respectivamente, mientras que la concentraci3n de NH_4 fue similar para ambos purines (0.14 y 0.15%, respectivamente). Este comportamiento se traduce en una menor concentraci3n del amon3aco respecto al N total de las muestras, o lo que es lo mismo, el pur3n de novillas muestreado se puede considerar m3s maduro que el de vacas de leche, teniendo un menor riesgo de emisiones de amon3aco a la atm3sfera.

El contenido medio de P ha mostrado grandes diferencias entre el pur3n de vacas en orde1o y de novillas, siendo la concentraci3n de estas 3ltimas pr3cticamente la mitad que el verificado en las muestras de pur3n de vacas de leche (0.70 y 0.32% P_2O_5 , respectivamente), debido posiblemente a la alimentaci3n ofrecida durante la recr3a de novillas.

En general, todos los par3metros analizados han presentado una mayor desviaci3n est3ndar en el pur3n de novillas que en el de vacas de leche, factor que indica la gran heterogeneidad de este producto. Una posible explicaci3n podr3a atribuirse a las mayores dificultades de realizaci3n de los muestreos debido a que las instalaciones de estabulaci3n y recolecci3n y almacenamiento de pur3n de las novillas.

3.2. Correlaci3n para la estima de nutrientes de los purines estudiados

En la Tabla 9 se muestran los niveles de significancia obtenidos a trav3s de la correlaci3n de Pearson entre las propiedades f3sico-qu3micas determinadas en

laboratorio (pH, CE, MS, contenido en cenizas y MO) y los elementos nutritivos disponibles para los cultivos (N, NH₄ y P) para los purines estudiados.

Trabajos presentados por distintos autores (Bellotti, 1997; Martínez-Suller *et al.*, 2008ad; Moral *et al.*, 2005ab; Scotford *et al.*, 1998ab) descartan al pH como propiedad físico-química que pueda servir para estimar el contenido en algún elemento del complejo NPK debido a su baja o nula correlación. En el presente trabajo, en cambio, el valor de pH ha mostrado diferentes niveles de significancia con distintos parámetros para los grupos de purín analizado, pero sin mostrar una tendencia clara en los distintos escenarios estudiados (Tabla 9).

Tabla 9.- Correlaciones entre los distintos parámetros estudiados en función del sistema de producción

Conjunto de datos (sólo vacas ordeño, n = 299)									Explotaciones intensivas (n = 207)							
	pH	CE	MS	Cen	MO	N	NH ₄	P	pH	CE	MS	Cen	MO	N	NH ₄	P
pH	-	NS	**	*	*	**	**	NS	-	NS	**	NS	NS	**	*	**
CE		-	**	*	NS	**	**	**		-	NS	**	**	**	**	**
MS			-	**	**	**	NS	**			-	*	NS	**	**	NS
Cen				-	**	NS	*	**				-	**	**	**	**
MO					-	NS	NS	**					-	NS	*	**
N						-	**	NS						-	**	NS
NH ₄							-	NS							-	NS
P								-								-
Explotaciones semiintensivas (n = 92)									Novillas (n = 20)							
pH	-	NS	*	**	**	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	NS	*	*	NS
CE		-	**	NS	NS	NS	**	*		-	NS	*	*	NS	NS	*
MS			-	**	**	**	NS	**			-	*	*	*	NS	NS
Cen				-	**	NS	NS	NS				-	**	NS	NS	**
MO					-	NS	NS	NS					-	NS	NS	**
N						-	**	NS						-	**	NS
NH ₄							-	*							-	NS
P								-								-

* P<0.05; ** P<0.01; NS: no significativo; CE: conductividad eléctrica; MS: materia seca; Cen: cenizas; MO: materia orgánica; N_t: nitrógeno total; NH₄: amonio; P: fósforo

Esos mismos estudios y otros (Martínez-Suller, 2007) destacan la medida de conductividad eléctrica y el contenido en materia seca como dos parámetros altamente correlacionados con otras propiedades físico-químicas y el contenido en nutrientes disponibles para los cultivos del purín procedente de explotaciones bovinas y porcinas, independientemente del sistema de producción.

Según los resultados obtenidos, sendos parámetros han evidenciado correlaciones significativas con los compuestos nitrogenados estudiados y el fósforo (Tabla 9). Concretamente, la CE se ha mostrado muy significativamente correlacionada ($P < 0.01$) con los compuestos nitrogenados estudiados (N y NH_4), de acuerdo con la bibliografía antes citada, y algo menos con el fósforo ($P < 0.01$), mientras que la concentración de MS contenida en los purines estudiados ha presentado correlaciones altamente significativas ($P < 0.01$) con los contenidos de N y P.

3.2.1. Formas nitrogenadas

Las correlaciones entre el contenido de N total y algunas propiedades físico-químicas pueden resultar especialmente interesantes ya que el NH_4 es el parámetro que mejor información aporta sobre el contenido de nitrógeno disponible para los cultivos del purín (Smith *et al.*, 2000). Los resultados obtenidos corroboran los presentados por Moral *et al.* (2001), Piccinini y Bortone (1991), Scotford *et al.* (1998ab) o Stevens *et al.* (1995), destacando la buena correlación entre las dos formas de N estudiadas y la medida CE ($P < 0.01$) para los sistemas intensivos, pero no los semiintensivos y purín de novillas. Además, el contenido en N de los purines analizados ha presentado, en todos los casos, correlaciones muy significativas con el contenido en MS ($P < 0.01$), de acuerdo con Martínez-Suller (2007).

3.2.2. Fósforo total

Distintos investigadores (Provolo y Martínez-Suller, 2007; Scotford *et al.*, 1998ab; Stevens *et al.*, 1995) han observado altas correlaciones entre el contenido de P y la densidad, la materia seca o el contenido de sólidos en suspensión, debidas al alto contenido de fósforo en la fracción soluble del purín. En el presente trabajo se han obtenido, efectivamente, correlaciones muy significativas ($P < 0.001$) entre el contenido de P_2O_5 y el porcentaje de MS, pero curiosamente también se han verificado correlaciones, aunque algo menos significativas, entre la concentración de P del purín y la CE ($P < 0.01$ para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y $P < 0.05$ para las explotaciones semiintensivas).

3.3. Ecuaciones de regresi3n para la estima de nutrientes en los purines estudiados.

A continuaci3n se muestran las ecuaciones de regresi3n simple m1s significativas entre las propiedades f3sico-qu3micas determinadas en laboratorio y los nutrientes disponibles para los cultivos de los purines estudiados, para el conjunto de datos, las explotaciones intensivas y semiintensivas y el pur3n de novillas (Tabla 10).

En primer lugar, cabe destacar que, al igual que en la composici3n y el estudio de las correlaciones entre par1metros, el pur3n de novillas ha mostrado un comportamiento diferente al del resto de datos (bien en su conjunto, bien diferenciando sistema de gesti3n) a la hora del c1lculo de las regresiones, posiblemente debido a la heterogeneidad de las muestras propiciada por la dificultad de los muestreos.

De esta manera, las ecuaciones de regresi3n calculadas para el pur3n de novillas han sido poco o nada significativas, mostrando adem1s bajos coeficientes de determinaci3n ($r^2=0.30$, 0.25 y 0.10 , para el N, NH_4 y P, respectivamente, actuando siempre el pH como variable independiente).

Tabla 10.- Coeficientes de determinaci3n (r^2) y significaci3n (Sig.), n1mero de muestras (n) y error est1ndar (e.e.) de las regresiones simples obtenidas entre propiedades f3sico-qu3micas y los elementos fertilizantes estudiados

	Conjunto de datos				Explotaciones intensivas			
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.011*MS + 0.26$	0.28	***	0.07	$0.011*MS + 0.26$	0.28	***	0.07
NH_4	$0.007*CE + 0.04$	0.40	***	0.04	$0.007*CE + 0.039$	0.37	***	0.04
P	$-0.036*MS + 1.09$	0.23	***	0.28	$-0.034*MS + 1.06$	0.21	***	0.29
	Explotaciones semiintensivas				Novillas			
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.012*MS + 0.246$	0.28	***	0.08	$0.113*pH - 0.43$	0.30	*	0.08
NH_4	$0.006*CE + 0.051$	0.40	***	0.04	$0.068*pH - 0.37$	0.25	*	0.05
P	$-0.04*MS + 1.151$	0.29	***	0.26	$6.858*pH - 19.36$	0.10	NS	10.1

N-P expresados en %; pH en unidades de pH; CE en mS cm^{-1} ; MS en % y contenido en cenizas y MO en % sobre MS. * $P<0.05$; ** $P<0.04$; *** $P<0.001$; NS: no significativo; e.e.: error est1ndar de la regresi3n

En cambio, las ecuaciones obtenidas para el pur3n de vacas en orde1o han manifestado un comportamiento similar (Tabla 10), tanto para el conjunto de datos, como para el pur3n procedente de las explotaciones intensivas o semiintensivas individualmente.

A la hora de calcular la ecuaciones de regresi3n m3s significativas, las buenas correlaciones observadas anteriormente entre el pH y el complejo N-P, no se han confirmado, de acuerdo a otros autores (Bellotti, 1997; Mart3nez-Suller *et al.*, 2008ad; Moral *et al.*, 2005b; Scotford *et al.*, 1998ab), actuando siempre como variables la MS (para la estima del contenido en N y P) y la CE (para la concentraci3n de NH₄). Todas las ecuaciones calculadas han evidenciado, adem3s, elevados niveles de significancia (P<0.001).

El contenido en NH₄ uno de los elementos que mejor correlaci3n presenta con la Ce (Bellotti, 1997; Provolo y Mart3nez-Suller, 2007). De acuerdo con estos autores, todas las ecuaciones de regresi3n simple calculadas para el NH₄ han sido obtenidas utilizando la CE como variable. 3stas, adem3s, han sido las ecuaciones que mayores coeficientes de determinaci3n han presentado, tanto para el conjunto de datos, como para las explotaciones intensivas y semiintensivas ($r^2=0.40$, 0.37 y 0.40 , respectivamente), aunque muy lejos de los coeficientes obtenidos por Mart3nez-Suller *et al.* (2008ad) o Scotford *et al.* (1998ab) en investigaciones similares.

La concentraci3n de N en el pur3n es otro de los par3metros que, seg3n algunos autores (Moral *et al.*, 2005b o Stevens *et al.*, 1995), presenta buenos niveles de correlaci3n con la conductividad el3ctrica. Otros trabajos destacan la buena correlaci3n de esta forma nitrogenada con el contenido en MS (Provolo y Mart3nez-Suller, 2007). En el presente trabajo las regresiones m3s significativas (P<0.001) han sido calculadas, en todos los casos, utilizando la MS como variable. Desgraciadamente, los r^2 obtenidos no superan el valor de 0.3.

De forma similar, las ecuaciones de regresi3n para el contenido de P han sido calculadas utilizando el contenido de MS como variable para todos los casos estudiados, tal y como cab3a esperar en funci3n de los resultados presentados anteriormente por otros autores (Carton *et al.*, 1997; Tunney, 1979; Tunney y Bertrand, 1989). Al igual que con el N, aunque todas las ecuaciones se han mostrado muy significantes, los coeficientes de determinaci3n obtenidos distan mucho de la unidad ($r^2 = 0.28$, 0.21 y 0.29 , para el conjunto de datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas, respectivamente).

Debido a los bajos coeficientes de determinaci3n que han presentado todas las ecuaciones de regresi3n simple calculadas, se ha procedido a calcular las ecuaciones de regresi3n m3ltiple, con el objetivo de intentar mejorar los r^2 y minimizar los errores (Tabla 11).

En la mayor3a de los casos las propiedades f3sico-qu3micas utilizadas en el c3lculo de las ecuaciones m3ltiples han sido CE y MS, de acuerdo a las ecuaciones simples, m3s el pH, que ha sido la propiedad que mejor correlaci3n a presentado con el complejo N-P. Aunque, para el c3lculo de otras ecuaciones, como las del contenido en f3sforo para todos los casos, han intervenido el resto de variables (contenido en cenizas y/o MO). Las regresiones del pur3n de las explotaciones semiintensivas han sido las que mayor dependencia de variables han presentado.

Tabla 11.- Coeficientes de determinaci3n (r^2) y significanci3n (Sig.), n3mero de muestras (n) y error est3ndar (e.e.) de las regresiones m3ltiples obtenidas entre propiedades f3sico-qu3micas y los elementos fertilizantes estudiados

Conjunto de datos				
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.02 \cdot \text{pH} + 0.005 \cdot \text{CE} + 0.012 \cdot \text{MS} + 0.380$	0.39	***	0.07
NH ₄	$0.02 \cdot \text{pH} + 0.007 \cdot \text{CE} + 0.020 \cdot \text{MS} - 0.125$	0.47	***	0.04
P	$0.002 \cdot \text{CE} + 0.024 \cdot \text{pH} - 0.042 \cdot \text{MS} + 0.015 \cdot \text{Cenizas} + 0.006 \cdot \text{MO} + 0.104$	0.38	***	0.25
Explotaciones intensivas				
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.023 \cdot \text{pH} + 0.005 \cdot \text{CE} + 0.011 \cdot \text{MS} - 0.094$	0.41	***	0.07
NH ₄	$0.028 \cdot \text{pH} + 0.007 \cdot \text{CE} - 0.16$	0.43	***	0.04
P	$-0.039 \cdot \text{MS} + 0.015 \cdot \text{Cenizas} + 0.005 \cdot \text{MO} + 0.30$	0.37	***	0.26
Explotaciones semiintensivas				
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.048 \cdot \text{pH} + 0.005 \cdot \text{CE} + 0.017 \cdot \text{MS} + 0.004 \cdot \text{MO} - 0.534$	0.55	***	0.06
NH ₄	$0.027 \cdot \text{pH} + 0.006 \cdot \text{CE} + 0.003 \cdot \text{MS} - 0.001 \cdot \text{Cenizas} + 0.001 \cdot \text{MO} - 0.216$	0.50	***	0.03
P	$0.002 \cdot \text{CE} + 0.085 \cdot \text{pH} - 0.049 \cdot \text{MS} + 0.021 \cdot \text{Cenizas} + 0.011 \cdot \text{MO} - 0.72$	0.45	***	0.24
Novillas				
	Ecuaci3n	r^2	Sig.	e.e.
N	$0.01 \cdot \text{pH} + 0.001 \cdot \text{CE} + 0.018 \cdot \text{MS} - 0.596$	0.52	*	0.08
NH ₄	$0.057 \cdot \text{pH} + 0.002 \cdot \text{CE} + 0.003 \cdot \text{MS} - 0.364$	0.28	NS	0.06
P	$5.014 \cdot \text{pH} + 0.498 \cdot \text{CE} - 0.171 \cdot \text{MS} - 0.153 \cdot \text{MO} + 3.131$	0.13	NS	11.5

N-P expresados en %; pH en unidades de pH; CE en mS cm^{-1} ; MS en % y contenido en cenizas y MO en % sobre MS. * $P < 0.05$; ** $P < 0.04$; *** $P < 0.001$; NS: no significativo; NS: no significativo

En la Tabla 12 se muestran los coeficientes de determinaci3n (r^2) y las variables utilizadas en el c3lculo de las ecuaciones de regresi3n simples y m3ltiples obtenidas. En todos los casos estudiados para el pur3n de vacas en orde3o, las nuevas ecuaciones obtenidas han mejorado el r^2 , observ3ndose los mayores coeficientes en las ecuaciones de N, NH₄ y P₂O₅ del pur3n de las explotaciones semiintensivas (0.55, 0.50 y 0.45, respectivamente).

Para el pur3n de novillas, la ecuaci3n m3ltiple para la estima del contenido en N ha mejorado sensiblemente el coeficiente de determinaci3n de la regresi3n simple (0.52

vs. 0.30), mientras que la mejora observada para las ecuaciones del NH_4 y del P_2O_5 es pr3cticamente despreciable.

Como se ha visto, las ecuaciones de regresi3n m3ltiple han mejorado, en mayor grado, los coeficientes de determinaci3n, reduciendo de esta manera el error asociado a la estima de la variable dependiente, con la introducci3n de un mayor n3mero de variables. A la hora de su aplicaci3n pr3ctica, esto supone tener que analizar mayor n3mero de par3metros para realizar una estima del contenido de nutrientes de los purines estudiados, por lo que conviene valorar si la regresi3n m3ltiple reduce tanto el error de la ecuaci3n simple como para justificar el esfuerzo de determinar mayor n3mero de par3metros, con lo que ello conlleva en gasto de tiempo y dinero.

Tabla 12.- Comparaci3n de los coeficientes de determinaci3n (r^2) y variables utilizadas en el c3lculo de las ecuaciones simples y m3ltiples obtenidas

Conjunto de datos				
	Ecuaci3n simple		Ecuaci3n m3ltiple	
	r^2	Variable	r^2	Variables
NTK	0.28	MS	0.39	pH, CE, MS
TAN	0.40	CE	0.47	pH, CE, MS
P	0.23	MS	0.39	pH, CE, MS, Cenizas, MO
Explotaciones intensivas				
	Ecuaci3n simple		Ecuaci3n m3ltiple	
	r^2	Variable	r^2	Variables
NTK	0.28	MS	0.41	pH, CE, MS
TAN	0.37	CE	0.43	pH, CE
P	0.21	MS	0.37	MS, Cenizas, MO
Explotaciones semiintensivas				
	Ecuaci3n simple		Ecuaci3n m3ltiple	
	r^2	Variable	r^2	Variables
NTK	0.28	MS	0.55	pH, CE, MS, MO
TAN	0.40	CE	0.50	pH, CE, MS, Cenizas, MO
P	0.29	MS	0.45	pH, CE, MS, Cenizas, MO
Novillas				
	Ecuaci3n simple		Ecuaci3n m3ltiple	
	r^2	Variable	r^2	Variables
NTK	0.30	pH	0.52	pH, CE, MS
TAN	0.25	pH	0.28	pH, CE, MS
P	0.10	pH	0.13	pH, CE, MS, MO

3.4. Valoración económica del purín

Desde el principio del trabajo se le ha dado gran importancia al hecho de valorar el purín producido y verlo como un subproducto utilizable, en lugar de verlo como un residuo incómodo de gestionar y difícil de tratar. Con el objetivo de ayudar a fomentar este cambio de mentalidad en los ganaderos de Cantabria, en primer lugar, y en las administraciones y sociedad en general, se le ha dado a los purines estudiados un valor económico.

Concretamente, la valoración económica de los purines estudiados se ha basado en su contenido en nitrógeno total. Para ello se ha tenido en cuenta el precio de mercado del nitrógeno mineral (nitrato amónico del 27%), que en julio de 2008 era de 336.60 € t⁻¹ por lo que el kg N puro se situaba en 1.25 €. Por otro lado, se ha tomado el valor medio de N_t de los purines utilizados en el experimento, sin tener en cuenta el sistema de producción (3.8 kg N por cada m³ de purín), como un valor extrapolable al purín tipo producido en las explotaciones de ganado vacuno lechero de la cornisa cantábrica.

Moral *et al.* (2005a) y Smith *et al.* (2000) han observado una eficiencia media del N contenido en el purín de cerca del 30% (el resto se pierde por emisiones atmosféricas, acumulación, transformación, etc.), por lo que contamos con 1.14 kg N a disposición de los cultivos contenidos en cada m³ de purín. De acuerdo al precio de kg de N puro, se estima que el precio del purín estudiado como fertilizante en función de su contenido en nitrógeno es de 1.43 € m⁻³.

3.5. Composición físico-química según el grado de intensificación

Considerando el contenido de N y P como los elementos contaminantes más importantes del purín, el análisis de conglomerados K medias (Tabla 13) revela que los autovectores seleccionados (Cuota y Superficie), solo la Cuota explica el 27% de la variación del contenido en N del purín, sin diferencias respecto a la Superficie. El contenido en P no es explicado por ninguno de los autovectores seleccionados.

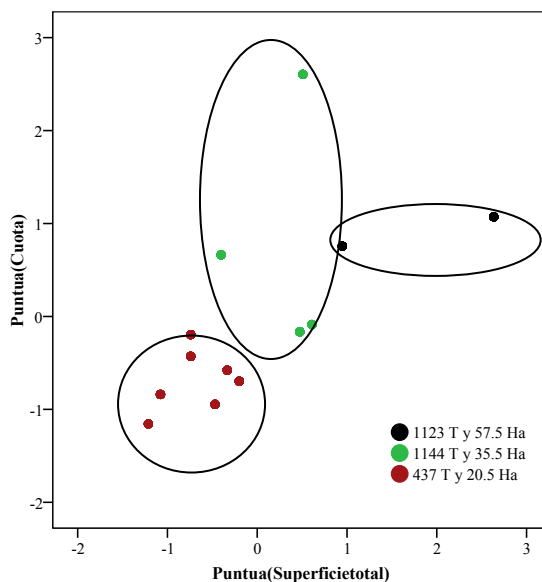
Tabla 13.- Valores medios del análisis de conglomerados K medias

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Sig
Explotaciones	8 y 13	2, 7, 10 y 11	1, 3, 4, 5, 6, 9 y 12	-
Cuota, t ⁻¹	1223±77	1144±549	437±147	-
Superficie, ha ⁻¹	57.5±12.6	35.3±6.06	20.8±5.15	-
Cuota ha ⁻¹	22±3.4	33.4±15.5	21.4±7.1	-
MS, %	10.0±6.5a	11.88±4.5b	10.4±3.4a	***
N, %	0.32±0.07a	0.43±0.08c	0.37±0.08b	***
NH ₄ , %	0.13±0.04a	0.19±0.06b	0.13±0.04a	***
NH ₄ , % N _t	43.5±10.4b	43.4±12.6b	37.1±12.3a	***
P, %	0.65±0.34	0.73±0.39	0.70±0.28	NS
pH	6.95±0.52	7.11±0.50	7.02±0.44	NS
Cenizas, %	23.7±10.3a	33.7±13.5b	23.6±8.9a	***
CE, mS cm ⁻¹	17.4±3.9b	18.2±5.3b	14.2±5.3a	***
MO, %	77.4±10.1b	69.8±17a	76.1±9.2b	***

Las explotaciones del **Grupo 2**, consideradas las más intensivas presentan una mayor relación cuota ha⁻¹, por lo tanto son consideradas como las más intensivas. De este análisis se desprende una mayor concentración de N en el purín (P<0.001), al igual que su concentración en NH₄, sin diferencias para el P y pH. El mayor porcentaje de cenizas del Grupo 2 es atribuido al tipo de cama empleada.

A la izquierda de la Figura 13 quedan las explotaciones de menor contenido en N, pese a su mayor cuota lechera. A la derecha, se sitúan las explotaciones intermedias y en el centro las más intensivas.

Figura 13.- Distribución de las explotaciones según las dos primeras componentes principales (Cuota y Superficie)



4.0.- Conclusiones parciales

El gran volumen de pur3n producido anualmente en las explotaciones de vacuno lechero de Cantabria, independientemente del sistema de producci3n, indica la notabil3sima importancia econ3mica, agron3mica y ambiental de la gesti3n del pur3n. Adem3s, los resultados obtenidos indican que en la mayor3a de los casos estudiados, las explotaciones c3ntabras no disponen de balsas de almacenamiento correctamente dimensionadas, ya que convendr3a almacenar el pur3n un m3nimo de 4 meses para que, durante ese periodo, el pur3n se estabilizara f3sico-qu3micamente, mejorando su potencial agron3mico y reduciendo su potencial contaminante. En este punto, juegan un papel important3simo las administraciones que deben ofrecer a los ganaderos una correcta asistencia t3cnica, agron3mica y ambiental, y/o financiaci3n para fomentar la adopci3n de t3cnicas medioambientalmente respetuosas (balsas correctamente dimensionadas, separadores s3lido-l3quido, etc.).

Respecto a la caracterizaci3n del pur3n de vacuno lechero de Cantabria, es importante destacar hasta qu3 punto resulta evidente, en funci3n de los amplios intervalos observados en los par3metros estudiados y de la comparaci3n con la composici3n del pur3n de novillas o con resultados de otros trabajos similares, la enorme heterogeneidad en la composici3n del pur3n, no s3lo en funci3n de la tipolog3a animal o de la climatolog3a propia de cada zona, sino tambi3n en funci3n de la gesti3n llevada a cabo en la propia explotaci3n: sistema de alimentaci3n (con importantes diferencias entre sistemas sobre todo en CE y contenido en NH_4), sistema de suministro de agua, sistema de limpieza, gesti3n del esti3rcol, etc.

El pur3n de novillas es un ejemplo ideal de la gran variabilidad de la composici3n de las deyecciones zoot3cnicas. En las explotaciones participantes se ha verificado una gesti3n, en lo concerniente a la cr3a de novillas, muy personal y diferente entre explotaciones, lo que junto a la dificultad de realizar muestreos de pur3n representativos por la falta de infraestructuras adecuadas, se ha traducido en grandes desviaciones est3ndar de pr3cticamente todos los par3metros estudiados, acentuando a3n m3s la heterogeneidad de las caracter3sticas f3sico-qu3micas de esta tipolog3a de pur3n.

Aclarado esto, conviene se3alar que, a nivel global, la composici3n de los purines producidos por las vacas de leche de las explotaciones c3ntabras participantes en el ensayo es semejante a la composici3n de purines de vacuno lechero de otros pa3ses de Europa, habi3ndose verificado, en los par3metros estudiados, intervalos similares a

los presentados en trabajos con vacas de leche de países como Irlanda, Italia o Reino Unido.

Por otro lado, comparando la composición del purín estudiado con la de otras tipologías de purín (terneros de engorde, porcino, etc.), cabe destacar que valores como los observados para el pH o el porcentaje de NH_4 respecto al N, indican baja potencialidad en la emisión de amoníaco a la atmósfera durante el almacenamiento. La climatología propia del norte de España y la espesa costra natural que se suele formar en la superficie del purín bovino almacenado, ayudan a minimizar las pérdidas de N por emisiones. Bien es cierto que balsas o fosas dimensionadas para almacenar (madurar) el purín durante más tiempo (periodo mínimo de 4 meses) reduciría aún más el peligro de contaminación atmosférica por emisiones durante su almacenamiento y aplicación en agricultura.

Respecto a los análisis estadísticos realizados, los resultados obtenidos tras la realización de los análisis de correlación y las ecuaciones de regresión calculadas entre propiedades físico-químicas y complejo NPK, han servido para evaluar la posibilidad de estimar el contenido en nutrientes disponibles para los cultivos de los purines estudiados.

Aunque a nivel individual, comparando los valores medios de las 13 explotaciones estudiadas, se han observado diferencias muy significativas para todos los parámetros, comparando los dos sistemas de gestión estudiados (intensivo vs. semiintensivo), sólo se han verificado diferencias significativas en el valor de CE, en el contenido de NH_4 y en el porcentaje de NH_4 sobre N total.

A nivel de correlaciones entre los parámetros estudiados, los resultados obtenidos difieren sensiblemente de otros trabajos bibliográficos, otorgándole al pH correlaciones significativas con la mayoría de parámetros, que a posteriori sólo se han confirmado con ecuaciones poco significativas y con bajos coeficientes de determinación para el purín de novillas analizado.

Los niveles de correlación observados entre la medida de CE y el contenido de MS con los elementos fertilizantes estudiados (N-P), en cambio, sí que se han comportado de acuerdo a los trabajos bibliográficos consultados. De hecho, para el purín de vacuno lechero, la CE ha presentado niveles de correlación muy significativos con los contenidos de N y P en todos los casos, mientras que el porcentaje de MS en el purín ha mostrado los mismos elevados niveles de correlación con los contenidos de N y P, pero no con el contenido de NH_4 .

De esta manera, los análisis de regresión simple realizados sobre las propiedades de los purines de vacuno lechero estudiados, de acuerdo con el análisis de correlación apenas citado, han evidenciado el potencial de la CE y del contenido en MS para predecir el contenido en N y P, independientemente del sistema de gestión (intensivo o semiintensivo), de acuerdo con diversos autores. Concretamente, la CE ha servido para calcular las mejores regresiones lineales simples con el contenido de NH_4 , mientras las mejores ecuaciones predictivas de los contenidos en N y P han sido calculadas con la MS como variable independiente para todos los casos estudiados (el conjunto de los datos y las explotaciones intensivas y semiintensivas). Bien es cierto, que aunque en todos los casos, las ecuaciones obtenidas han mostrado elevados niveles de significancia, los coeficientes de determinación observados han sido mediocres, con un valor máximo de 0.40.

Comparando los coeficientes y niveles de significancia de las ecuaciones de regresión simple y múltiple calculadas para el purín de vacas de leche, se aprecia cómo en todos los casos las ecuaciones múltiples siguen siendo altamente significantes y los coeficientes de determinación mejoran, fijándose el mejor r^2 en 0.55 para la regresión múltiple de estima del contenido en N_t del purín de las explotaciones semiintensivas y utilizando como variables el pH, la CE y los contenidos en MS y MO. La reducción de los errores estándar de las regresiones múltiples respecto a las simples es, en general, relativamente bajo, por lo que hay que valorar si compensa realizar el esfuerzo de determinar más parámetros.

Tanto la composición media de los purines estudiados y los intervalos obtenidos para cada parámetro analizado, como las regresiones calculadas (pese a los bajos coeficientes de determinación observados y teniendo en cuenta los errores estándar presentados), pueden servir a los ganaderos cántabros como una herramienta útil para conocer, aunque de forma estimada, las características del purín producido en sus explotaciones antes de aplicarlo en campo, y de esta manera, contribuir a mejorar la gestión agronómica y ambiental de las deyecciones de las explotaciones de vacuno lechero en Cantabria, reduciendo el peligro por contaminación asociada al aporte excesivo de nutrientes.

Manejo de la explotación

Balance de materia seca, energía neta
leche, nitrógeno y fósforo en la explotación

G. Salcedo



BALANCE DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA EXPLOTACIÓN

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

3. Resultados y discusión

3.4. Modelo Cantabria

3.4.1. *Balance de N*

3.4.2. *Balance de P*

3.5. Modelo Heras (Pastoreo)

3.6. Comparación con otros modelos

4. Conclusiones

Resumen

Se caracteriza mediante el modelo de entradas y salidas de nutrientes en la explotación, el balance y la eficiencia de trece explotaciones lecheras localizadas en la zona costera de Cantabria, con el objetivo de determinar posibles mejoras en la gestión de los nutrientes. El Surplus (Inputs-Outputs) medio de N y P₂O₅ en el conjunto de las mismas es de 435 y 68.4 kg ha⁻¹ año respectivamente y eficiencias medias [(Inputs x 100) ÷ Outputs] del 27.5% el N y 60.7% el P₂O₅. Entre sistemas de producción, el Surplus de N y P₂O₅ es mayor en las explotaciones intensivas (489 y 75.7 kg ha⁻¹ año) que las semiintensivas (314 y 51.7 kg), con eficiencias medias de 25.5% y 31.8% el N y 55.9% y 71.7% para el P₂O₅ respectivamente. Las variables más relacionadas con el Surplus de N son las UGM ha⁻¹ (r=0.64, P<0.01) y r=0.55, P<0.01 la cuota láctea el P₂O₅. Entre sistemas de producción, el Surplus de N está mejor relacionado con las UGM ha⁻¹ (r=0.64 P<0.01) en los intensivos y r=0.65 P<0.01 los semiintensivos; por el contrario el P₂O₅ es la cuota (r=0.55 P<0.01) en los intensivos y r=0.82 P<0.01 los semiintensivos. Para el conjunto de datos, la cuota en toneladas explica el 61.5 y 61.2 % del N y P₂O₅ total entrado, mientras las UGM ha⁻¹ lo hace el 72.9% y 73% respectivamente, sin correlación para la superficie.

Palabras clave: balance, eficiencia, explotaciones, fósforo, nitrógeno, vacuno lechero.

Abstract

Was characterized using the model inputs and outputs of nutrients on the farm, balance and efficiency of thirteen dairy farms located in the coastal area of Cantabria, with the aim of identifying possible improvements in the management of nutrients. The Surplus (Inputs-Outputs) means of N and P₂O₅ in all farms is 435 and 68.4 kg ha⁻¹ year, respectively, and average efficiencies [(Inputs x 100) ÷ Outputs] 27.5% N and 60.7% in P₂O₅. Between production systems, the Surplus of N and P₂O₅ is higher in intensive farms (489 and 75.7 kg ha⁻¹ year) to the semiintensive (314 and 51.7 kg), with average efficiencies of 25.5% and 31.8% N and 55.9 % and 71.7% for P₂O₅ respectively. The variables most related to the Surplus of N are the LU ha⁻¹ (r=0.64, P<0.01) and r=0.55, P<0.01 the milk quota P₂O₅. Among the Surplus production systems of N is more related to the LU ha⁻¹ (r=0.64, P<0.01) in the intensive r=0.65 P<0.01 the semiintensive, on the contrary the share P₂O₅ (r=0.55, P <0.01) in the intensive r=0.82, P<0.01 the semiintensive. For the dataset, the quota explains 61.5 tones and 61.2% of total N and P₂O₅ entered, while the LU ha⁻¹ does the 72.9% and 73% respectively, with no correlation to the surface.

Keywords: balance, efficiency, farms, phosphorus, nitrogen, dairy cow.

1. Introducción

La actividad ganadera genera elevados consumos de fertilizantes y alimentos con el objetivo de mantener altas producciones de leche. La masiva entrada de nutrientes a la explotación, favorece la acumulación de N y P en el suelo, con el consiguiente riesgo de exportación hacia los recursos hídricos y a la atmósfera. Con el fin de reducir el impacto que aquella produce sobre las aguas, surgieron una serie de directivas en la década de los años 90, como la Directiva de nitratos (91/676/EC), Directiva Marco del Agua (2000/60/EC) y la de Ecocondicionalidad (1728/2003/EC).

Desde un punto de vista medioambiental, los ganaderos y agricultores están preocupados por el manejo de los residuos ganaderos generados en la explotación, así como por las aportaciones en forma de fertilizantes a los cultivos. Por lo tanto, han tenido que adaptarse a las nuevas tendencias del mercado, y al mismo tiempo, ser respetuosos con el medio ambiente, modificando ciertas prácticas de manejo del pasado y realizando inversiones con el fin de ajustarse a la legislación vigente.

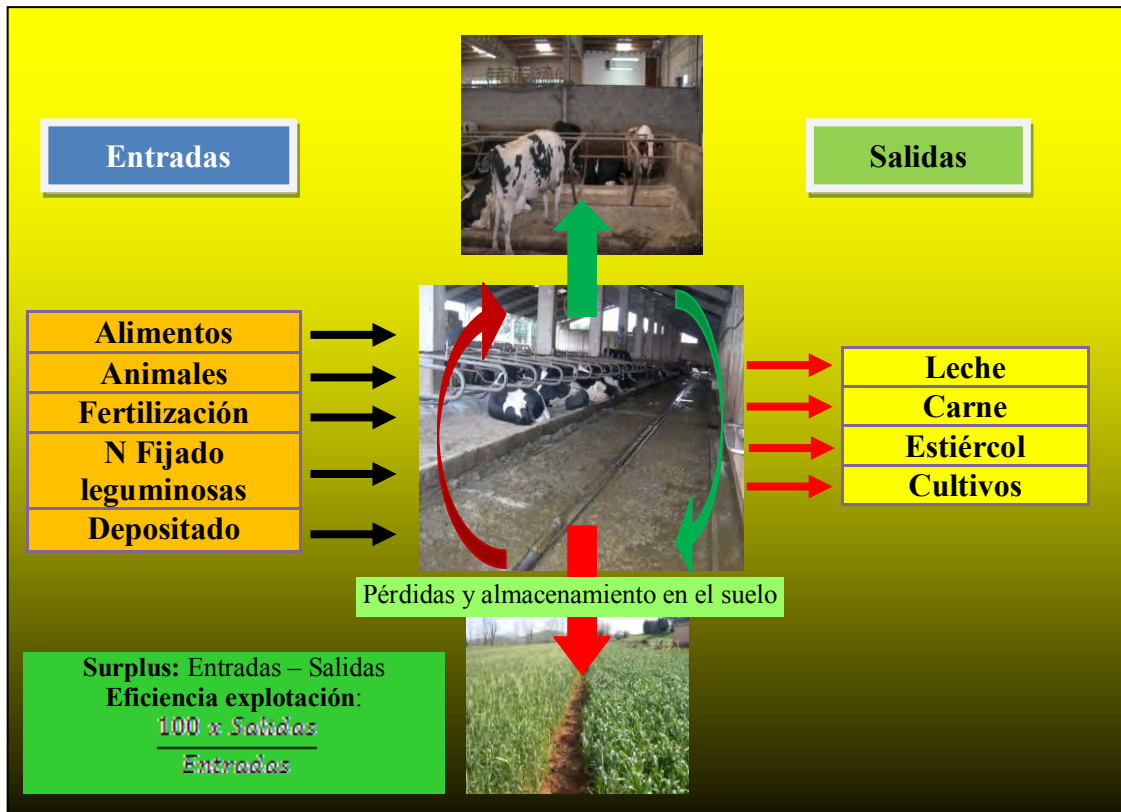
Los nutrientes importados pueden ser exportados, reciclados en la explotación o arrastrados al medio ambiente. Para el mantenimiento del sector de leche en Cantabria, es importante encontrar sistemas que mejoren la rentabilidad, reduciendo al mínimo las pérdidas de nitrógeno y fósforo. El equilibrio entre las entradas y salidas de nutrientes en la explotación contribuye a reajustar los desequilibrios nutritivos, ambientales y económicos. Un equilibrio de nutrientes en la explotación es la diferencia entre las entradas de N, P y K en forma de fertilizantes, alimentos y animales principalmente y las salidas a través de la leche, carne, estiércol y cultivos.

En las explotaciones lecheras de Pensilvania, el desequilibrio entre el N importado y exportado se sitúa en porcentajes del 84% (Lanyon y Beegle, 1989); entre el 59 y 79% para 17 explotaciones lecheras de New Cork (Klausner, 1995) y 86% en las explotaciones típicas de Alemania (Aarts *et al.*, 1992). Watts *et al.* (1994) observaron desequilibrios entre el 33% y 66% para todo el P importado en dos explotaciones intensivas de bovino de carne.

Mejorando la eficiencia en los programas de alimentación del rebaño se consigue reducir importantes pérdidas de N y P (Kohn *et al.* (1997). Por su parte, Dou *et al.* (1998) señalan que las importaciones de N en forma de fertilizantes, representan una pequeña fracción del total entrado en las explotaciones lecheras, limitando el potencial beneficioso desde un punto de vista medioambiental, asociado con las mejoras en el manejo de los nutrientes del estiércol, sustituyéndolo por la compra de fertilizantes

sint3ticos. Los autores concluyen que los sistemas de an3lisis, incluyendo los de alimentos y rendimientos de producci3n animal, identifican los puntos potenciales de manejo para mejorar la eficiencia del N no incluida en estudios agron3micos onvencionales (Dou *et al.*, 1998). Kohn *et al.* (1997) estiman el l3mite del 70% de N comprado en forma de alimento.

■ ■ ■ **Figura 1.-** Modelo de entradas y salidas



El objeto del presente trabajo se centra en determinar el balance del N y P y la eficiencia de trece explotaciones c3ntabras representativas de la diversidad regional, mediante el m3todo de Entradas y Salidas, compar3ndose con otros modelos productivos de leche del Norte de Europa.

2. Material y Métodos

Un total de 13 explotaciones (9 intensivas y 4 semiintensivas) clasificadas según el empleo o no de carro mezclador, son monitorizadas mensualmente desde diciembre del 2006 a noviembre del 2008. Las características de las explotaciones vienen definidas en la Tabla 1. En cada una de ellas se contabilizan los input de alimentos (concentrados, alfalfa, paja, subproductos de cereales, heno, etc.) y los de producción propia, para cada tipo de animal [vacas lecheras, secas, novillas de 12 a 24 meses y recría (<12 meses)].

Las entradas de nutrientes (N y P₂O₅) procedente de los alimentos se estima a partir de su composición química analizada en el Laboratorio de Nutrición Animal del I.E.S. “La Granja”. Dichos análisis, consistieron en la determinación de la materia seca, en estufa a 80 °C durante 24 horas; cenizas, por incineración de la muestra a 550°C; proteína bruta como N-Kjeldalh x 6,25 con el KjeltexTM 2300; fibra ácido y neutro detergente para los forrajes según Goering y Van Soest (1970) y Van Soest *et al.* (1991) para la fibra neutro detergente del ensilado de maíz y mezclas. La digestibilidad enzimática de la materia orgánica *in vitro* (D_e), siendo D_e la digestibilidad enzimática de la materia orgánica por el método FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987), con predicción de la digestibilidad *in vivo* (D_v) para el ensilado de maíz como: D_v=-0.17 FND + 0.42 D_e + 52.67, alfalfa deshidratada D_v=-0.85 FND - 0.39 D_e + 125.17; hierba verde D_v=0.40 D_e + 0.42 PB + 38.43 y D_v=-0.29 FND + 0.37 D_e + 60.65 para el ensilado de hierba (Riveros y Argamentería, (1987); la energía metabolizable (EM) en MJ/Kg de MS, estimada: K x MOD, donde MOD = MO x D_v / 100 y K=0.15 para el ensilado de maíz y 0.16 para la alfalfa (MAFF, 1984). La degradabilidad de la alfalfa, hierba verde y ensilados de maíz y de hierba fue tomada de la base datos del I.E.S. “La Granja” (Salcedo, 2006) y del NRC (2001) para los concentrados. La concentración energética de las mezclas según el NRC (1982). El fósforo sobre cenizas por el método colorimétrico del nitró-molibdo-vanadato con el analizador FIAstar 5000.

Además, se contabilizan las entradas de nutrientes en forma de fertilizantes químicos. Ninguna de las explotaciones seleccionadas importa estiércol. La compra de ganado se considera como entrada. El número de animales importado en las explotaciones de Cantabria es escaso, pero la recría representa el mayor porcentaje de reposición. El N depositado se toma 10 kg N ha⁻¹ año (Brentrup *et al.*, 2000). El N fijado por hectárea se estima a partir de la expresión: Kg N ha⁻¹ = toneladas de materia seca de trébol por hectárea x 35 kg N por cada tonelada de materia seca de trébol x 1.3;

1,3 es el coeficiente propuesto para estimar la fijación “debajo del suelo” (Vertes, 2004).

Para los nutrientes exportados, solo se consideran la venta de leche y animales, principalmente terneros y vacas de desecho. La producción de leche y su contenido en N mes a mes se obtiene de los controles lecheros oficiales proporcionados por AFCA (Asociación Frisona Cantabria), convirtiendo la proteína bruta de la leche en nitrógeno por el factor 6.38. El contenido de fósforo de la leche (g d^{-1}) se adopta la referencia del INRA usando un valor de 2.17 kg P_2O_5 1000 kg de leche. Los nutrientes exportados de la explotación por la venta de animales se calculan a partir del número de animales vendidos y su peso estimado en función de la edad, considerando una composición química estándar para todas las explotaciones, contenidos de N y P_2O_5 por cada tonelada de peso vivo de 24 y 16 kg, respectivamente para las vacas y 29.5 kg de N los terneros.

La eficiencia de cada nutriente es calculada por la relación:

$$\text{Eficiencia, \%} = 100 - \frac{[(\text{Entradas} - \text{Salidas}) \times 100]}{\text{Entradas}}$$

El balance global o Surplus de la explotación por hectárea y año puede ser considerado como un indicador real en la eficiencia de utilización del N y P, e impacto medio ambiental de los nutrientes usados (Schröder *et al.*, 2003). El modelo viene reflejado en la Figura 1.

A partir de la relación entradas \div salidas del N y P_2O_5 , las explotaciones se caracterizaron en función del *riesgo medio ambiental*:

Nitrógeno	P_2O_5
Riesgo bajo: 0-1; 1:1 y 2:1	Riesgo Bajo: 0 a 1:1
Moderado: 2-1 a 3:1	Alto: 2:1 a 5:1
Alto: > 3:1	

Los resultados son comparados con diferentes sistemas de producción de leche, como los ingleses (basados en pastoreo intensivo), franceses (pasto más ensilado de maíz), norte de Portugal incluido Galicia y País Vasco (basados en concentrados) y el modelo Heras (pastoreo) con mínima aportación de concentrado. Este último asume el 90% la venta de animales; 5% de mortalidad y 5% en compras para reposición. Los datos fueron analizados con el SSPS 11 como un diseño experimental de bloques al azar, tomándose como bloques cada una de las explotaciones y el mes de muestreo como repetición, clasificándose las mismas según el sistema de producción (intensivo y semiintensivo). Posteriormente un análisis de conglomerados (K-medias) fue realizado

para agrupar explotaciones según cuota y superficie. Las diferentes variables son relacionadas mediante análisis de regresión lineal y múltiple.

3. Resultados y discusión

La Tabla 1 resume las características de las granjas y la Tabla 2, el balance de N por hectárea y año en el conjunto de explotaciones y sistema de producción. Como refleja la Tabla 1, los modelos intensivos tienen mayor cuota (944 vs. 395 t⁻¹); carga ganadera (4.43±1.4 y 3.9±0.9 UGM ha⁻¹); superficie total (35.5 vs. 20.7 ha⁻¹); la dedicada a maíz (17.8 y 8.9 ha⁻¹) y número de vacas lecheras (91 vs. 53) que los semiintensivos respectivamente.

El consumo de forraje y concentrado expresado en kilogramos de materia seca vaca y año son de 3720±595 y 4095±654 kg en los intensivos y 4233±658 y 3270±625 kg los semiintensivos respectivamente (Tabla 1). La ingesta anual de concentrado por vaca está relacionada positivamente con la cuota láctea (r=0.39; P<0.01); número de vacas lecheras (r=0.30; P<0.01) y kilogramos de leche (r=0.33; P<0.01) para el conjunto de explotaciones. En los sistemas intensivos las relaciones son inferiores para la cuota (r=0.22, P<0.01) y ligeramente superior la producción anual de leche por vaca (r=0.34, P<0.01), sin relación el número de vacas de leche. Por el contrario, en los semiintensivos, la ingesta de concentrado está negativamente relacionada con la cuota láctea (r=-0.23, P<0.01) y la producción de leche vaca y año (r=-0.51, P<0.01), sin relaciones significativas con el número de vacas productoras de leche.

La producción de leche vaca y año es mayor en las explotaciones intensivas (11986 kg) y 9584 kg las semiintensivas (P<0.001), pero similar por kilogramo de concentrado, con relaciones medias de 3.03 y 3.16 kg kg⁻¹ respectivamente. Por contra, diferente los kilogramos de leche por kilogramo de materia seca de forraje (MS_f), con ingestas medias de 3.39 y 2.32 kg MS_f kg⁻¹ de leche, pese al mayor consumo de concentrado en los sistemas intensivos (P<0.001) y similar número de vacas de leche por hectárea (2.56) en ambos casos.

Tabla 1.- Características de las explotaciones

Parámetros	Conjunto	Std	Intensiva	Std	Semiintensiva	Std	P
Superficie, ha ⁻¹	30.9	14.8	35.5	15.4	20.7	4.9	***
Pradera, ha ⁻¹	19.2	8.9	20.3	9.8	16.5	5.9	***
Maíz, ha ⁻¹	15.9	15.6	17.8	17	8.9	4.3	***
Otros, ha ⁻¹	-	-	11	9.1	-	-	***
UGM totales	127	61	147	62	81	25	***
Vacas leche	79	37	91	37	53	18	***
Vacas secas	12	6	14	6	9	5	***
12 a 24 meses	28	18	34	19	15	7	***
<12 meses	29	18	33	19	18	11	***
UGM ha ⁻¹	4.29	1.34	4.43	1.4	3.9	0.9	***
Leche vaca, kg a ^o ⁻¹	11247	2030	11986	1626	9584	1864	***
Forraje, kg vaca a ^o	3878	658	3790	595	4233	658	***
Concentrado, kg vaca a ^o	3841	749	4095	654	3270	625	***
Cuota, t ⁻¹	775	489	944	493	395	142	***

Std: desviaci3n estandar; P: nivel de significaci3n, *** P<0.001



Raci3n total mezclada



Alimentos



Modelo Cantabria

Balance de N



La Tabla 2 resume las diferencias en el balance de N entre sistemas de producción.

Tabla 2.- Balance de Nitrógeno (kg N ha⁻¹ año)

	Conjunto	Intensivos	Semiintensivos	P
N mineral	31.4	32	30	NS
Fijación	3.0	2.8	3.5	***
Estiércol	-	-	-	-
Alimentación	549	615	400	***
Concentrado	376	427	260	***
Forrajes	173	187	140	***
Animales	2.7	1.8	4.61	NS
ENTRADAS	587	653	439	***
Leche	134	145	109	***
Animales	17.3	17.7	16.2	NS
Estiércol	0.43	0.63	-	-
SALIDAS	152	163	125	***
SURPLUS	435	489	314	***
SURPLUS, kg N 1000 kg leche⁻¹	16.9	17.7	15.3	***
Eficiencia global, %	27.5	25.5	31.8	***
Riesgo Ambiental	3.81	3.89	3.65	***

P: nivel de significación, *** P<0.001; NS: no significativo

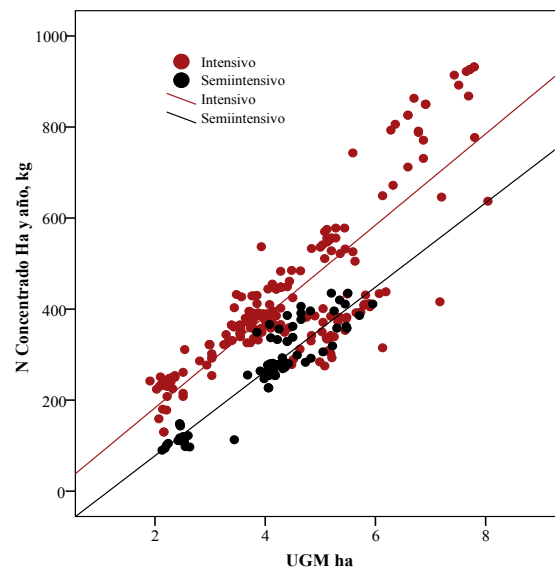
Las entradas de N por hectárea y año en forma de alimento (concentrado y forraje) son 376 y 173 kg¹ en el conjunto de explotaciones y diferentes entre sistemas de producción (Tabla 2). El N comprado en forma de concentrado por hectárea y año es similar a 350 kg N ha⁻¹ en las explotaciones lecheras de Galicia (Novoa *et al.*, 2005). Entre sistemas, los intensivos compran 39.1% y 25.1% más N ha⁻¹ en forma de concentrado y forraje que los semiintensivos (P<0.001), atribuido a la mayor carga ganadera de la explotación (Tabla 1 y Figura 2). De este modo y para el conjunto de explotaciones, incrementos de una UGM y dentro del rango 1.91 a 8.04 UGM ha⁻¹ la entrada de concentrado aumenta 105.7 kg N ha⁻¹ y año; 100.3 y 92.6 para los intensivos y semiintensivos respectivamente, según las ecuaciones:

$$\text{Conjunto} = -77.8 (19.2) + 105.7 (4.28) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 99.6 r^2=0.67$$

$$\text{Intensivos} = -17.8 (21.5) + 100.3 (4.6) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 96.7 r^2=0.69$$

$$\text{Semiintensivos} = -107.3 (15.7) + 92.6 (3.8) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 35.9 r^2=0.86$$

Figura 2.- Relación entre las UGM ha⁻¹ y el consumo de concentrados N ha⁻¹ año



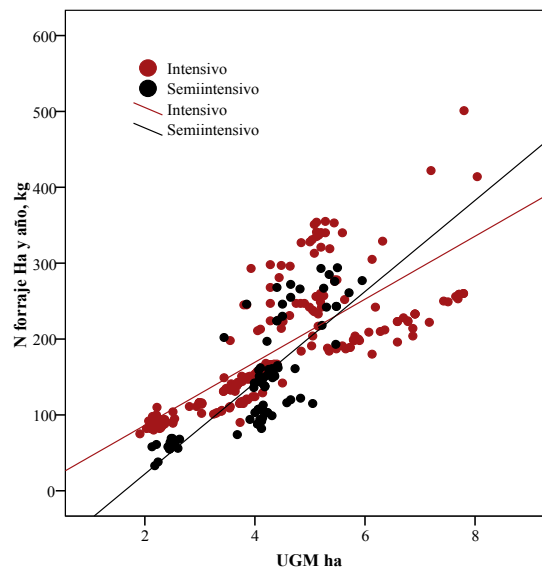
De igual forma, la compra de N ha⁻¹ y año en forma de forrajes para el conjunto de explotaciones, aumenta 46.0 kg; 41.5 y 60.1 los intensivos y semiintensivos respectivamente (Figura 3), según las ecuaciones:

$$\text{Conjunto} = -24.5 (10.3) + 46.03 (2.29) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 53.3 \text{ } r^2=0.67$$

$$\text{Intensivos} = 3.34 (12.3) + 41.5 (2.5) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 54.4 \text{ } r^2=0.55$$

$$\text{Semiintensivos} = -98 (18.8) + 60.1 (4.62) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 43.1 \text{ } r^2=0.65$$

Figura 3.- Relación entre las UGM ha⁻¹ y el consumo de forrajes N ha⁻¹



Los input en forma de nitrógeno mineral para el conjunto de explotaciones son de 31.4 kg ha⁻¹ y año, sin diferencias significativas entre sistemas de producción (Tabla 2), similares a 28 kg N en las explotaciones del País Vasco (del Hierro *et al.*, 2007).

El N fijado por hectárea y año difiere entre sistemas de producción ($P < 0.001$), con valores medios de 2.8 y 3.5 kg N para los intensivos y semiintensivos respectivamente.

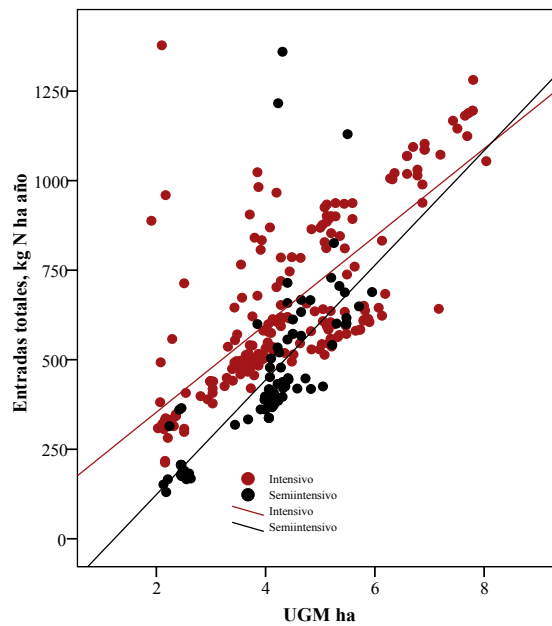
Las entradas totales de N en la explotación (Tabla 2), reflejan diferencias entre sistemas de producción ($P < 0.001$), con inputs medios de 653, 439 y 587 kg N ha⁻¹ y año los intensivos, semiintensivos y conjunto de explotaciones respectivamente. En todos los casos, superiores a 351 kg señalado por del Hierro *et al.* (2007) en explotaciones lecheras del País Vasco. Estas diferencias tienen su origen en el mayor número de UGM ha⁻¹ (4.29 vs. 2.7), lo que pone de manifiesto el superior grado de intensificación de las explotaciones cántabras, pero semejante consumo de concentrado vaca año (Tabla 3). De igual modo, la menor compra de forrajes por hectárea y año en las explotaciones del País Vasco se debe a la mayor superficie (30.9 vs. 60 ha⁻¹, Tabla 3).

Tabla 3.- Diferencias en el balance de N (kg ha⁻¹ y año) entre las explotaciones de Cantabria y del País Vasco (del Hierro *et al.*, 2006)

Cantabria				País Vasco			
Superficie, ha ⁻¹	30.9	Concentrados	376	Superficie, ha ⁻¹	58	Concentrados	210
Pradera, ha ⁻¹	19.2	Forrajes	173	Pradera, ha ⁻¹	51	Forrajes	70
Maíz, ha ⁻¹	15.9	Animales	2.7	Maíz, ha ⁻¹	7	Animales	3
Otros, ha ⁻¹	-	Fertilizantes	31.4	Otros, ha ⁻¹	-	Fertilizantes	28
Vacas leche	79	Fijado	3.0	Vacas leche	99	Fijado	19
Vacas secas	12	Depositado	0.76	Vacas secas		Depositado	20
12 a 24 meses	28	N ENTRADAS	587	12 a 24 meses		N ENTRADAS	352
<12 meses	29	Leche	134	<12 meses		Leche	86
UGM totales	127	Animales	17.3	UGM totales	162	Animales	7
UGM ha ⁻¹	4.29	Estiércol	0.43	UGM ha ⁻¹	2.7	Estiércol	2
Leche vaca, kg año	11247	N SALIDAS	152	Leche vaca, kg año	8966	N SALIDAS	95
Concentrado, kg vaca año	3783	SURPLUS	435	Concentrado, kg vaca año	3922	SURPLUS	257
Leche, kg ha ⁻¹ año	28754	Surplus, kg N 1000 kg	16.9	Leche, kg ha ⁻¹ año	17577	Surplus, kg N 1000 kg	14
Cuota, t ⁻¹	776	Eficiencia, %	27.5	Cuota, t ⁻¹	908	Eficiencia, %	27
		Riesgo ambiental	3.81			Riesgo ambiental	3.70

Las entradas de N por UGM ha⁻¹ y año difieren entre sistemas, con valores medios de 137.3 kg en el conjunto de explotaciones, 160.1 kg los intensivos y 122.6 kg los semiintensivos (Figura 4).

Figura 4.- Relación entre las UGM ha⁻¹ y el total de entradas (kg N ha⁻¹ año)



$$\text{Conjunto} = -3.24 (33.6) + 137.3 (7.47) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 174 \text{ } r^2=0.53$$

$$\text{Intensivos} = 107 (67.1) + 160.1 (16.4) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 153 \text{ } r^2=0.51$$

$$\text{Semiintensivos} = 107.8 (35.8) + 122.6 (16.4) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 16; \text{ } r^2=0.55$$

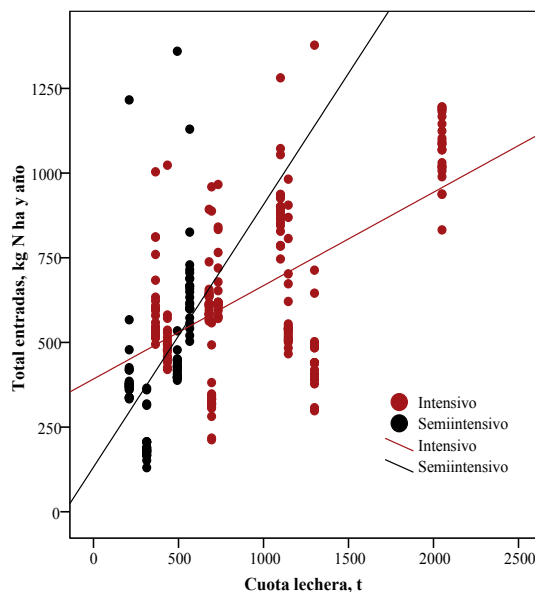
La cuota lechera de la explotación explica el 37.8% de la variación del input de N por tonelada de leche (Figura 5) para el conjunto de explotaciones. Entre sistemas, cada tonelada de cuota se origina un input 0.77 kg de N en los intensivos y 0.27 kg los semiintensivos:

$$\text{Conjunto} = 338.9 (21.7) + 0.319 (0.024) \text{ Cuota } t^{-1}; \pm 200 \text{ } r^2=0.38$$

$$\text{Intensivos} = 131.7 (58.8) + 0.775 (0.14) \text{ Cuota } t^{-1}; \pm 190 \text{ } r^2=0.25$$

$$\text{Semiintensivos} = 392 (29.9) + 0.27 (0.028) \text{ Cuota } t^{-1}; \pm 199 \text{ } r^2=0.32$$

Figura 5.- Relación entre la cuota lechera (t^{-1}) y entradas ($kg\ N\ ha^{-1}\ año$)



La predicción de las entradas de $N\ ha^{-1}$ y año mejora significativamente cuando en el modelo se incluye la “Cuota láctea, t^{-1} ” y la “Superficie de la explotación, ha^{-1} ”:

$$\text{Conjunto} = 490.3 (23) + 0.49 (0.026) \text{ Cuota } t^{-1} - 9.21 (0.84) \text{ Has}; \pm 169\ r^2=0.56$$

$$\text{Intensivos} = 481.8 (69) + 1.29 (0.137) \text{ Cuota } t^{-1} - 26.8 (3.82) \text{ Has}; \pm 154\ r^2=0.51$$

$$\text{Semiintensivos} = 587.3 (28.5) + 0.42 (0.026) \text{ Cuota } t^{-1} - 9.4 (0.80) \text{ Has}; \pm 154\ r^2=0.59$$

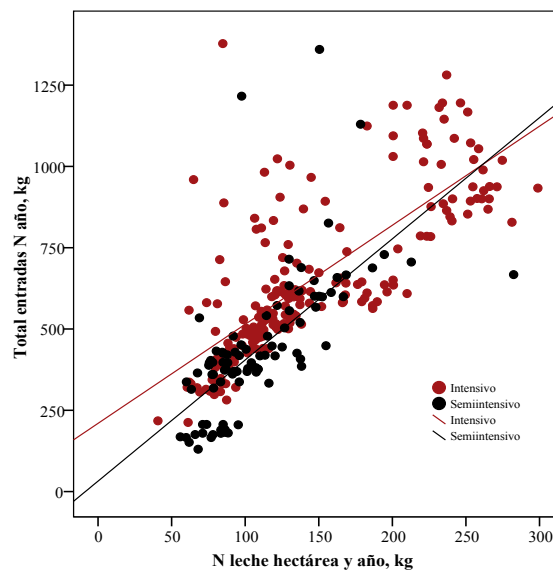
En términos porcentuales, los output de $N\ ha^{-1}$ es menor en las explotaciones semiintensivas (23.3%) que las intensivas (Tabla 2), atribuible menor número de vacas en ordeño ($P<0.001$) y la producción unitaria por vaca ($P<0.001$) (Tabla 2). Para el conjunto de explotaciones, las salidas son de 152 kg, superior a 99 kg señalado por del Hierro *et al.* (2007) en explotaciones lecheras del País Vasco. Las mayores corresponden a la venta de leche (109 y 145 $kg\ N\ ha^{-1}$ y año) en las explotaciones semiintensivas e intensivas respectivamente (Tabla 2). Porcentualmente y respecto al total de input de la explotación, los output de leche representan el 22.3% y 24.8% en las intensivas y semiintensivas respectivamente, similares al 24.4% señalado por del Hierro *et al.* (2007). En cualquier caso, las relaciones obtenidas entre las entradas de $N\ ha^{-1}$ y año y las salidas de N en leche ha^{-1} y año presentan pendientes muy similares entre sistemas (Figura 6).

$$\text{Conjunto} = 36.3 (5.4) + 0.167 (0.008) \text{ Entradas } N\ ha^{-1}; \pm 37.1\ r^2=0.57$$

$$\text{Intensivos} = 57.8 (6.8) + 0.117 (0.014) \text{ Entradas } N\ ha^{-1}; \pm 29.2\ r^2=0.43$$

$$\text{Semiintensivos} = 25.1 (7.9) + 0.184 (0.011) \text{ Entradas } N\ ha^{-1}; \pm 39.3\ r^2=0.56$$

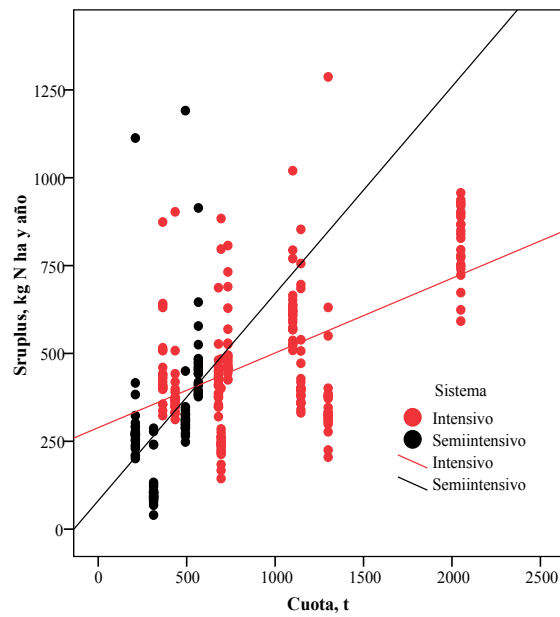
Figura 6.- Relaci3n entre las entradas de N ha⁻¹ a3o y las salidas en leche ha⁻¹



El Surplus o excedente de N (kg ha⁻¹ a3o) presenta valores medios de 435 kg y diferentes entre sistemas de producci3n ($P < 0.001$), superiores a 238 kg N ha⁻¹ se3alado por Nevens *et al.* (2005) en explotaciones lecheras de Flanders. A nivel de explotaci3n, el menor Surplus se registra en las semiintensivas (314 kg) y los mayores, de 489 kg en las intensivas. Para el conjunto de las mismas estos resultados difieren en 178 kg N ha⁻¹ y a3o a los se3alados por del Hierro *et al.* (2007) en explotaciones lecheras del Pa3s Vasco, atribuido a la mayor superficie total.

La cuota de leche en toneladas presenta un coeficiente de determinaci3n moderado respecto al Surplus ($r^2 = 0.34$), con pendientes de 0.25 kg N ha⁻¹ a3o y tonelada; $r^2 = 0.19$ en los semiintensivos (0.59 kg) y $r^2 = 0.28$ los intensivos de 0.21 kg (Figura 7a).

Figura 7a.- Relación entre la cuota (t^{-1}) y el Surplus ($kg\ N\ ha^{-1}\ año$)



Por el contrario, el número de UGM manifiesta inferior correlación y mayor error respecto a la carga ganadera (Figura 7b), obteniéndose ecuaciones del tipo:

$$\text{Conjunto} = 190.6 (23.2) + 1.92 (0.164) \text{ UGM}; \pm 175 \text{ } r^2=0.32$$

$$\text{Intensivos} = 31.3 (59.9) + 3.49 (0.708) \text{ UGM}; \pm 170 \text{ } r^2=0.21$$

$$\text{Semiintensivos} = 259.2 (30.9) + 1.56 (0.194) \text{ UGM}; \pm 172 \text{ } r^2=0.24$$

y ligeramente superior, con la variable independiente $UGM\ ha^{-1}$ (Figura 7c).

$$\text{Conjunto} = 3.4 (31.4) + 100.6 (6.9) \text{ UGM } ha^{-1}; \pm 162 \text{ } r^2=0.41$$

$$\text{Intensivos} = -193.3 (63.7) + 12.7.8 (15.6) \text{ UGM } ha^{-1}; \pm 145 \text{ } r^2=0.43$$

$$\text{Semiintensivos} = 105.5 (33.8) + 86.5 (7.24) \text{ UGM } ha^{-1}; \pm 152 \text{ } r^2=0.41$$

Figura 7b.- Relaci3n entre las UGM totales y el Surplus (kg N ha^{-1} a3o)

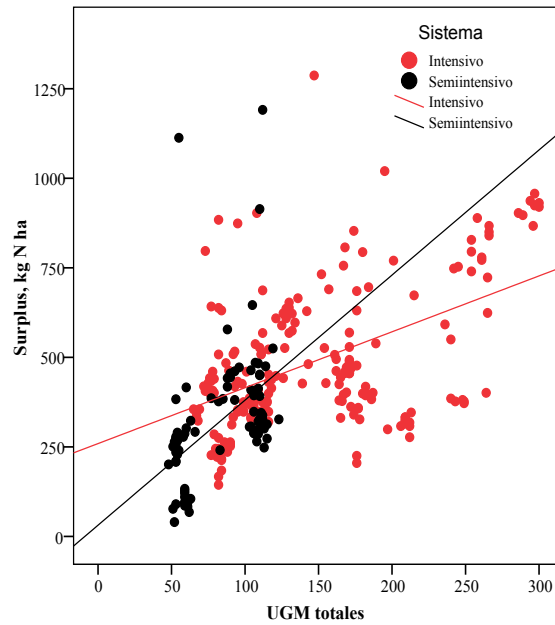
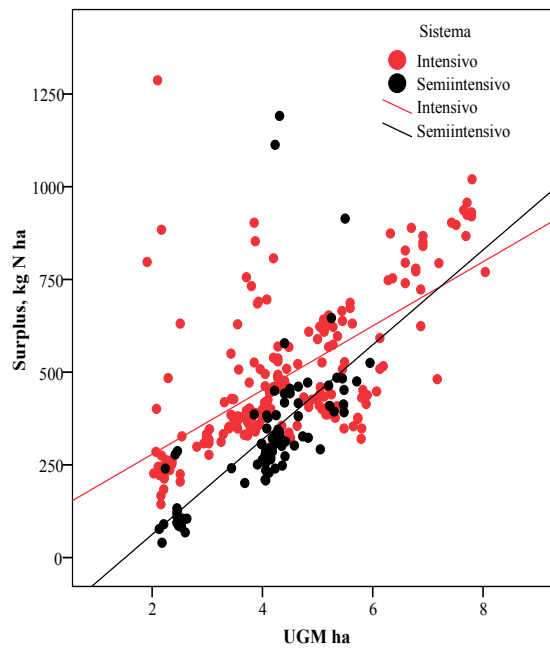


Figura 7c.- Relaci3n entre las UGM ha^{-1} y el Surplus (kg N ha^{-1} a3o)



Para rangos de carga ganadera variables de 2 a 8 UGM ha^{-1} , el Surplus incrementa $100.6 \text{ kg N ha}^{-1}$ y a3o, similares a 100 kg se3alado por Dalgaard *et al.* (2000) en explotaciones convencionales reconvertidas a ecol3gicas, cuando en convencional cada UGM ha^{-1} presentaba un Surplus de 289 kg N ha^{-1} a3o.



Sala ordeño

Por su parte, del Hierro *et al.* (2007) obtienen coeficientes de determinación elevados ($r^2=0.77$) entre el Surplus de N ha^{-1} año respecto a la producción de leche por hectárea. En las condiciones de Cantabria, el Surplus está mejor relacionado en las explotaciones intensivas ($r^2=0.35$) que las semiintensivas ($r^2=0.28$), donde cada kg de leche ha^{-1} genera un Surplus de 0.01 kg ha^{-1} y año para el conjunto de explotaciones y similares entre sistemas de producción, según las ecuaciones:

$$\text{Conjunto} = 125.2 (24.8) + 0.01 (0.001) \text{ Leche } \text{ha}^{-1}; \pm 166 \text{ } r^2=0.38$$

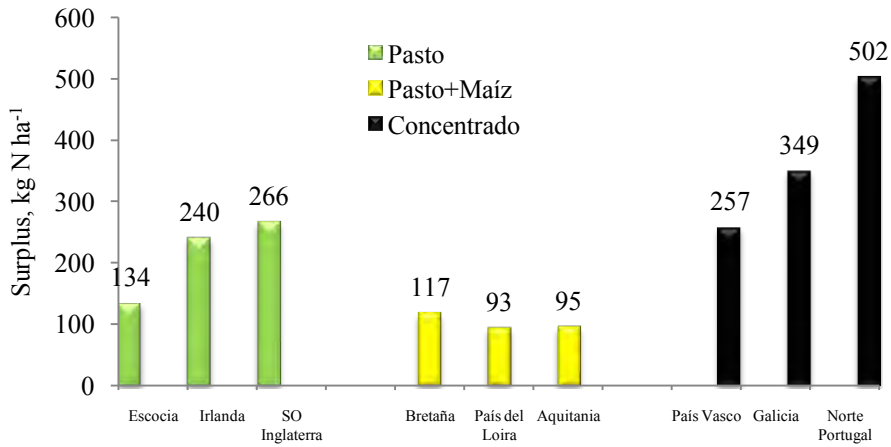
$$\text{Intensivos} = 34.6 (50.4) + 0.011 (0.002) \text{ Leche } \text{ha}^{-1}; \pm 163 \text{ } r^2=0.28$$

$$\text{Semiintensivos} = 202 (29.4) + 0.009 (0.001) \text{ Leche } \text{ha}^{-1}; \pm 159 \text{ } r^2=0.35$$

Entre sistemas, las pendientes son similares a las explotaciones incluidas en el proyecto Interreg IIBB “Green Dairy” de 0.012 kg N ha^{-1} por kilogramo leche hectárea (del Hierro *et al.*, 2007). Sin embargo, en los semiintensivos es menor que en los intensivos, como lo corrobora el mayor Surplus de N por 1000 kg de leche (Tabla 2) y mayor eficiencia (31.8% vs. 25.5%).

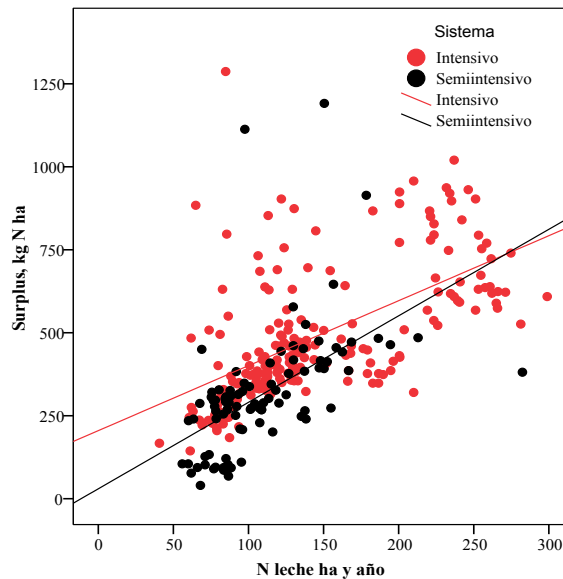
Posiblemente, mejoras en los programas de alimentación en las explotaciones intensivas tales como reducir el consumo de proteína, mayor aporte energético a través del ensilado de maíz, pueda reducirlo. El proyecto Green Dairy mostró menor Surplus N ha^{-1} y año en las explotaciones francesas fundamentadas en pasto más ensilado de maíz, que los modelos más intensivos del Sur de Europa (País Vasco, Galicia y Norte de Portugal), e intermedios los sistemas ingleses basados en pastoreo (Figura 8).

Figura 8.- Surplus de N ha⁻¹ a1o de las granjas piloto del Proyecto Green Dairy (media del trienio 2003-2005), (del Rio *et al.*, 2007)



Las relaciones que se obtienen con el N de la leche por hect1rea y a1o respecto al Surplus (Figura 9) son moderadas en ambos sistemas, pese al mayor contenido de prote3na bruta administrado en la dieta ($16.8 \pm 2.3\%$ en los intensivos *vs.* $14.5 \pm 1.8\%$ los semiintensivos) y mayor producci3n de leche vaca y d3a, se1alado anteriormente (32.3 ± 4.3 *vs.* 25.4 ± 4.6 respectivamente). De este modo, cada kilogramo de N ha⁻¹ a1o en leche genera un Surplus de 2.6 y 1.95 kg ha⁻¹ a1o en los semiintensivos e intensivos respectivamente (Figura 9).

Figura 9.- Relaci3n entre el N de la leche ha⁻¹ y a1o con el Surplus (kg N ha⁻¹)



$$\text{Conjunto} = 125.8 (25) + 2.3 (0.172) \text{ kg N Leche ha}^{-1}; \pm 167 r^2=0.38$$

$$\text{Intensivos} = 29.8 (51) + 2.6 (0.44) \text{ kg N Leche ha}^{-1}; \pm 163 r^2=0.28$$

$$\text{Semiintensivos} = 205 (29.5) + 1.95 (0.18) \text{ kg N Leche ha}^{-1}; \pm 159 r^2=0.35$$

En explotaciones de Galicia semejantes a las del conjunto del presente trabajo (32 ha⁻¹; 74 vacas lecheras; 3.2 UGM ha⁻¹; 657 t⁻¹ de cuota láctea; 8423 kg de leche y 3187 kg de materia seca de concentrado vaca y año) (García *et al.*, 2007) señalan Surplus de 329 kg N ha⁻¹ año, inferior en 106 kg de N a las explotaciones cántabras. Sin embargo, el Surplus de N por 1000 kg de leche en las condiciones de Cantabria es inferior a las explotaciones gallegas, con valores medios de 16.9; 17.7 y 15.3 kg N para el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente. En ambos casos lejos 22.3 kg 1000 kg de leche en los sistemas franceses basados en pasto + maíz (del Hierro *et al.*, 2007). Sin embargo, y a pesar del inferior Surplus por 1000 kg de leche en Cantabria, la eficiencia global de la explotación se sitúa en porcentajes medios del 27.5 para el conjunto de explotaciones; 25.5 los intensivos y 31.8 los semiintensivos.

Los porcentajes de eficiencia aquí obtenidos son similares a los señalados por García *et al.* (2007) en Galicia y del Hierro *et al.* (2007) en el País Vasco del 27%, muy lejos del 38% en los sistemas franceses; 33% para las explotaciones intensivas del norte de Portugal y superiores a 21.6% en los sistemas lecheros del Reino Unido. Posiblemente la moderada eficiencia global obtenida en Cantabria tenga su origen en la mayor densidad de animales por hectárea, conclusiones semejantes fueron indicadas por del Hierro *et al.* (2007). La eficiencia global en las explotaciones intensivas de Cantabria es considerada baja, pero según el riesgo ambiental (Tabla 2) estimado como la relación entre las entradas y salidas, en ambos casos es elevado.

La Figura 10 muestra la relación entre la eficiencia global (%) y el Surplus por 1000 kg de leche producido para el conjunto de datos, mostrando un modelo potencial del tipo $Y = a b^{-1}$. Como puede observarse, en ambos sistemas productivos el coeficiente de determinación es alto y diferente exponente (menor en los semiintensivos), lo que explicaría que descensos de 1 kg de Surplus (kg N / 1000 kg leche) la eficiencia disminuye $X_{\text{kg de N}/1000 \text{ kg leche}}^{-0.787}$ kg en los semiintensivos y $X_{\text{kg de N}/1000 \text{ kg leche}}^{-0.89}$ los intensivos.

$$\text{Conjunto} = 252.5 (11.1) X^{0.819} (0.016) \text{ kg N Leche}/1000 \text{ kg leche}; \pm 0.09 r^2=0.90$$

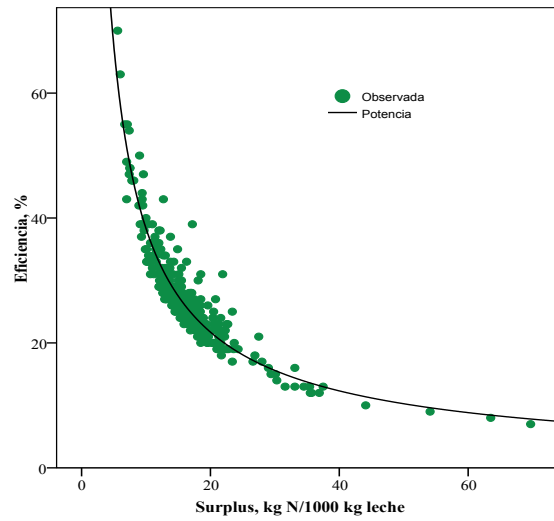
$$\text{Intensivos} = 242.1 (18.6) X^{0.789} (0.029) \text{ kg N Leche}/1000 \text{ kg leche}; \pm 0.11 r^2=0.89$$

$$\text{Semiintensivos} = 241.7 (12.4) X^{0.89} (0.018) \text{ kg N Leche}/1000 \text{ kg leche}; \pm 0.082 r^2=0.91$$

Estos resultados confirmarían de nuevo la mayor eficiencia de utilización del N en las explotaciones semiintensivas que las intensivas, atribuido a la menor relación

“Surplus N ha⁻¹ año / kg N leche ha⁻¹ año”: 2.88 en los semiintensivos y 3.37 los intensivos.

Figura 10.- Relación entre el Surplus kg N 1000 kg leche⁻¹ y la eficiencia global (%)



La Figura 11 representa el Surplus de N ha⁻¹ de las 13 explotaciones y la Figura 12, la eficiencia global.

Figura 11.- Surplus (kg N ha⁻¹ año) por explotación

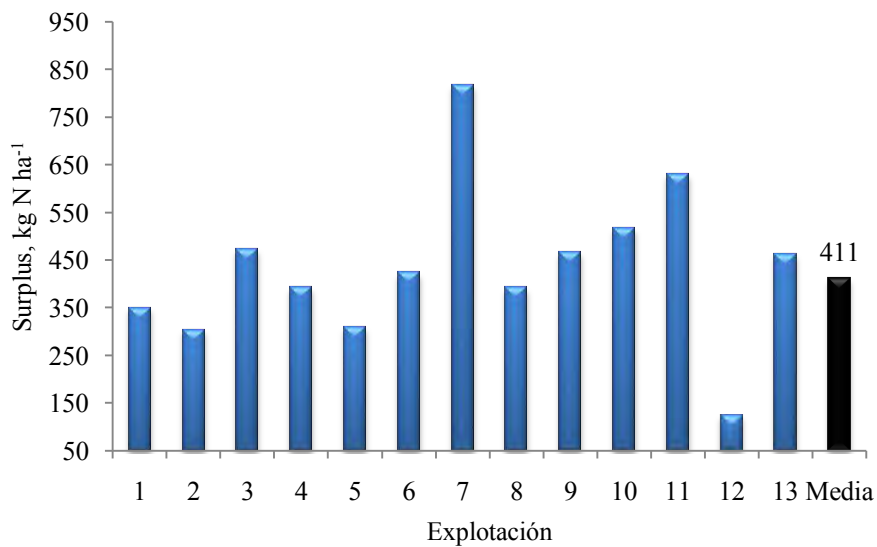
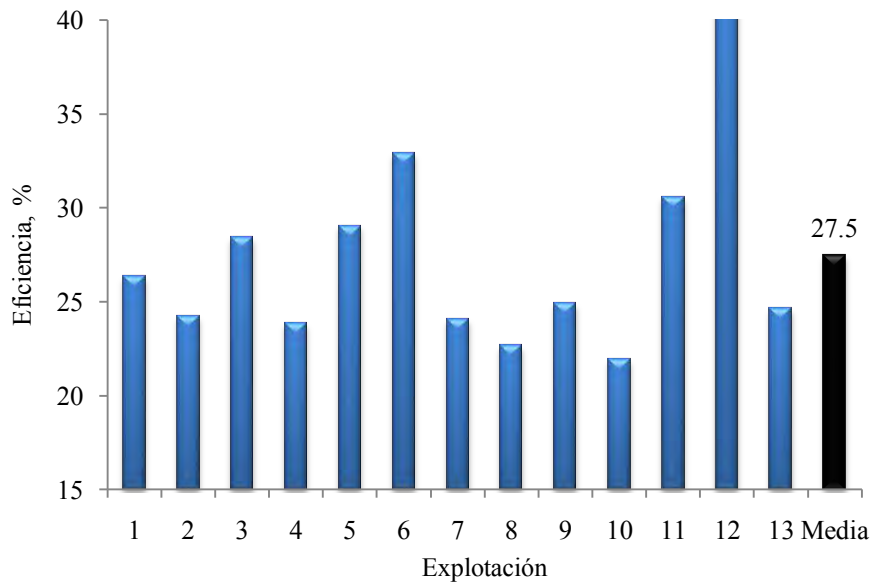


Figura 12.- Eficiencia global (%) por explotación



El análisis de conglomerados K medias (Tabla 4) revela que los autovectores seleccionados (Cuota y Superficie) explican el 54.7% y 22% de la variación de las Entradas de N a la explotación respectivamente; 47.9% y el 2% las Salidas; 51.3 y 33.1% el Surplus N ha⁻¹ y el 21.8 y 35.4% la eficiencia de la explotación. Este análisis permite caracterizar tres grupos de explotaciones en función de la cuota y superficie (Figura 13). A la izquierda quedan las explotaciones de menor cuota y superficie (437 t⁻¹ y 20.8 ha⁻¹), a la derecha se agrupan las de mayor cuota y superficie (1123 t⁻¹ y 57.5 ha⁻¹) y en el centro las intermedias (1144 t⁻¹ y 35.3 ha⁻¹).



Terneras de reposición

Tabla 4.-Valores medios del análisis de conglomerados K medias para el N

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	P
Explotaciones	8 y 13	2, 7, 10 y 11	1, 3, 4, 5, 6, 9 y 12	
Cuota, t ⁻¹	1223±77	1144±549	437±147	
Superficie, ha ⁻¹	57.5±12.6	35.3±6.06	20.8±5.15	***
Cuota/Hectárea, t ha ⁻¹	22±3.4	33.4±15.5	21.4±7.1	***
Superficie pradera, ha ⁻¹	14±11.8	26.8±6.1	12.5±4.8	***
Superficie maíz, ha ⁻¹	37.8±19.5	11.8±5.25	7.61±3.73	***
UGM totales	193±29	162±70	88±23	***
UGM ha ⁻¹	3.45±0.53	4.66±1.8	4.32±1.04	***
Vacas leche	123±14	104±41	55±16	***
Leche vaca año, kg	12401±962	12780±1618	10041±1653	***
N mineral, N ha ⁻¹	69.7±184	28.3±102	22.3±111	NS
Fijación, N ha ⁻¹	1.61±0.87	3.3±0.76	3.34±1	***
Estiércol, N ha ⁻¹	-	-	-	
Alimentación, N ha ⁻¹	475±71	722±299	471±161	***
Concentrado, N ha ⁻¹	343±51	509±230	309±101	***
Forraje, N ha ⁻¹	132±21	212±97	162±73	***
Animales, (N ha ⁻¹)	1.95±7.1	0.67±3.19	4.06±18.9	***
ENTRADAS	548±189	755±289	501±195	***
Leche, N ha ⁻¹	110±18	169±75	120±39	
Animales, N ha ⁻¹	9.26±7.2	19.1±15.6	18.6±18.9	**
Estiércol, N ha ⁻¹	-	-	-	***
SALIDAS	122±24	189±82	139±48	***
SURPLUS	427±184	567±226	362±171	***
SURPLUS, kg N/1000 kg leche	18.96±9.39	17.8±7.5	15.8±6.2	***
Eficiencia, %	23.6±5.09	25.2±5.6	29.8±9.6	***
Riesgo Ambiental	4±0	3.91±0.28	3.71±0.46	***

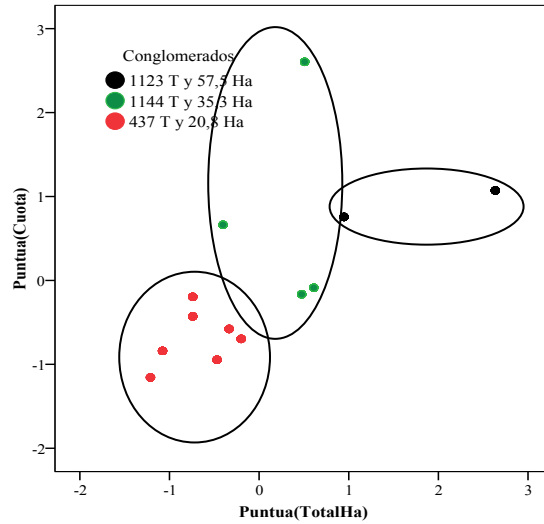
± desviación estándar; **P**: nivel de significación, ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo

Las explotaciones del **Grupo 1** importan 47 kg N ha⁻¹ más que las del **Grupo 3** y, 207 kg menos respecto a las del **Grupo 2**. Las mayores diferencias se observan en las explotaciones del **Grupo 2** (P<0.001), con superiores entradas de N en forma de concentrados y forraje (Tabla 4). Por el contrario, la compra de fertilizantes es mayor en las del **Grupo 1** (P<0.001), atribuido a la superior superficie dedicada al cultivo del maíz (r=-0.70), como refleja la Tabla 4 y mayor número de vacas lecheras.

Las explotaciones del **Grupo 2** importan más nitrógeno alimenticio (P<0.001) que las del **Grupo 1** y **3**, pese a la similar compra de forraje y concentrado por vaca lechera y año (Tabla 4). Las granjas del **Grupo 2** con superficie intermedia entre grupos (35.3 ha⁻¹) y similar cuota respecto a las del **Grupo 1** (Tabla 4), presentan una eficiencias intermedias (25.2%), pese al mayor surplus de N ha⁻¹ (Tabla 4).

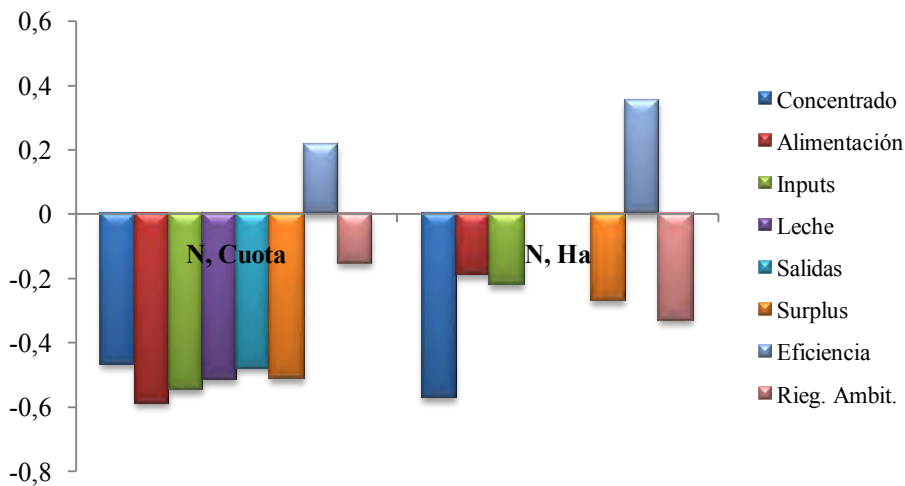
Las del **Grupo 3** o familiares, son las que importan menos N a través de concentrados (P<0.001), pero más forraje (P<0.001) (Tabla 4). Este cambio en la compra de alimentos implica unos inputs similares de N alimenticio a los del **Grupo 1**, con valores medios de 471 kg N ha⁻¹.

Figura 13.- Distribuci3n de las explotaciones seg3n las dos primeras componentes principales (Cuota y Superficie)



A la izquierda de la Figura 13 se sitúan las explotaciones de menor entrada de N con m3nimos y m3ximos de 127 y 1001 kg N ha⁻¹ a3o; menor Surplus ha⁻¹ de 40 a 1191 kg N ha⁻¹ a3o y m3xima eficiencia (9% a 70%). A la derecha, est3n las explotaciones intermedias en el Surplus ha⁻¹, oscilando el rango de entradas de N ha⁻¹ a3o⁻¹ de 298 a 1377 kg; Surplus de 205 a 1287 kg y m3nima eficiencia de 7% a 32%. En el centro, aqu3llas con m3xima entrada de N (212 a 1281 kg N); m3ximo Surplus ha⁻¹ (144 a 1020) y eficiencia intermedia (8 y 37%).

Figura 14.- An3lisis de correlaci3n con los autovectores (Cuota y Superficie) para el N dentro de cada grupo



Modelo Cantabria

Balance de P



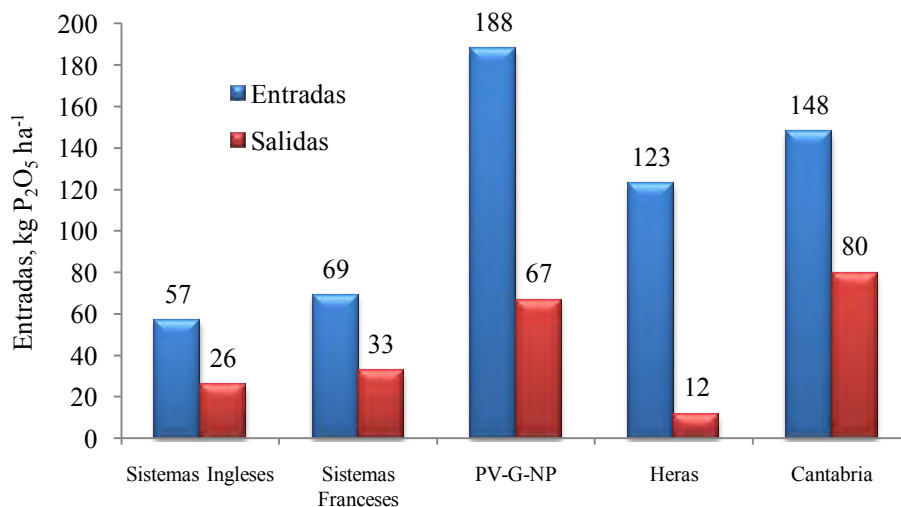
Las entradas de P_2O_5 ha^{-1} a1o difieren entre explotaciones ($P<0.001$), con valores medios de 148 kg (Tabla 5), m3nimos de 30 y m3ximos de 335 kg y diferentes entre sistemas de producci3n ($P<0.001$). Estos resultados son superiores a 129 kg en explotaciones del Pa3s Vasco; sistemas ingleses a pastoreo (57 kg); 69 kg los franceses; 123 kg en el modelo Heras (pastoreo) y superiores a 214 y 222 kg en Galicia y norte de Portugal (Figura 15).

Tabla 5.- Balance de F3sforo (kg P_2O_5 ha^{-1} a1o) para el conjunto de explotaciones y sistemas de producci3n

	Conjunto	Intensivos	Semiintensivos	P
Mineral	1.8	1.3	3.0	NS
Alimentaci3n	147	161	117	***
Animales	0.16	0.11	0.26	NS
ENTRADAS	148	162	118	***
Leche	66.5	72	54	***
Animales	13.3	14.2	12.6	***
SALIDAS	80.2	86.2	66.7	***
SURPLUS	68.4	75.7	51.7	***
SURPLUS, kg P_2O_5/1000 kg leche	2.74	2.89	2.41	*
Eficiencia, %	60.7	55.9	71.7	***
Riesgo Ambiental	1.87	1.93	1.74	**

P: nivel de significaci3n, * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; NS: no significativo

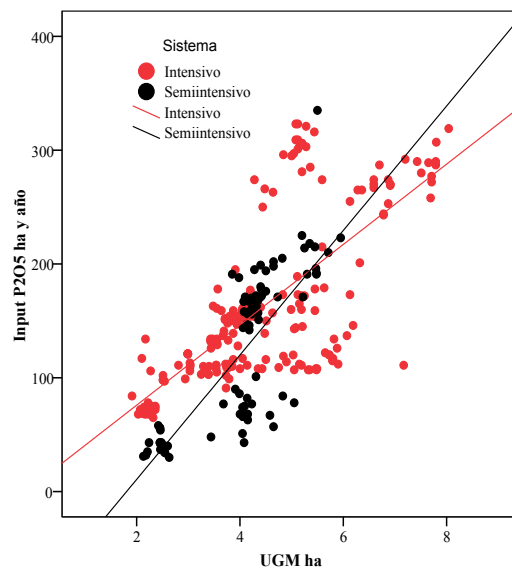
Figura 15.- Entradas de P_2O_5 ha^{-1} a1o seg3n modelo productivo



PV: Pa3s Vasco; **G:** Galicia; **NP:** Norte de Portugal

Para el conjunto de explotaciones, las UGM totales y las UGM ha^{-1} manifiestan buena correlaci3n con los inputs de P_2O_5 ha^{-1} ($r=0.55$, $P<0.01$ y $r=0.73$, $P<0.01$), respectivamente; mayor en las semiintensivas ($r=0.83$, $P<0.01$ y $r=0.78$; $P<0.01$) para las variables anteriormente descritas y $r=0.46$, $P<0.01$ y $r=0.71$, $P<0.01$ que las intensivas (Figura 16). As3, para el conjunto de explotaciones cada UGM ha^{-1} superior a 2, las entradas incrementan en 35.3 kg P_2O_5 las intensivas y 54.6 las semiintensivas.

Figura 16.- Relaci3n entre las UGM ha⁻¹ y las entradas de P₂O₅ ha⁻¹



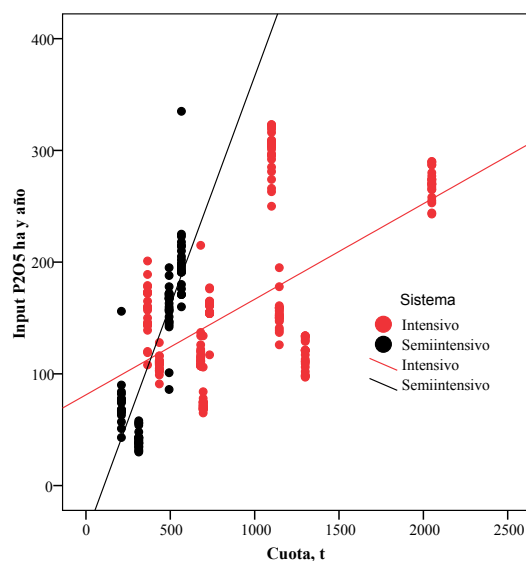
$$\text{Conjunto} = -22.8 (9.7) + 39.9 (2.1) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 50.5 r^2=0.53$$

$$\text{Intensivos} = 5.3 (11.2) + 35.3 (2.4) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 50.3 r^2=0.51$$

$$\text{Semiintensivos} = -98.6 (18.8) + 54.6 (4.6) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 42.9 r^2=0.61$$

En el conjunto de explotaciones, las entradas de P₂O₅ ha⁻¹ manifiestan buena correlaci3n con la cuota de la explotaci3n ($r=0.61$ $P<0.001$). Entre sistemas de producci3n, las mejor relacionadas son las semiintensivas ($r=0.85$ $P<0.001$). De este modo, cada tonelada cuota de leche por hect3rea origina un input de 0.092 kg P₂O₅ ha⁻¹ ańo en el conjunto de explotaciones, y diferentes entre sistemas de producci3n (0.086 kg los intensivos y 0.41 kg los semiintensivos) (Figura 17).

Figura 17.- Relaci3n entre la cuota (t⁻¹) y los input de P₂O₅ ha⁻¹ ańo



$$\text{Conjunto} = 76.9 (6.3) + 0.092 (0.007) \text{ Cuota } t^{-1}; \pm 58.4 r^2=0.37$$

$$\text{Intensivos} = 81.2 (8.8) + 0.086 (0.008) \text{ Cuota } ha^{-1}; \pm 43.5 r^2=0.64$$

$$\text{Semiintensivos} = -43.9 (11.2) + 0.41 (0.027) \text{ Cuota } ha^{-1}; \pm 36 r^2=0.72$$

Cuando al modelo anterior se incluye la superficie de la explotaci3n, 3ste mejora 37%, 46.3% y 13.9% para el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente:

$$\text{Conjunto} = 125 (6.4) + 0.147 (0.007) \text{ Cuota } t^{-1} - 2.92 (0.23) ha^{-1}; \pm 47 r^2=0.58$$

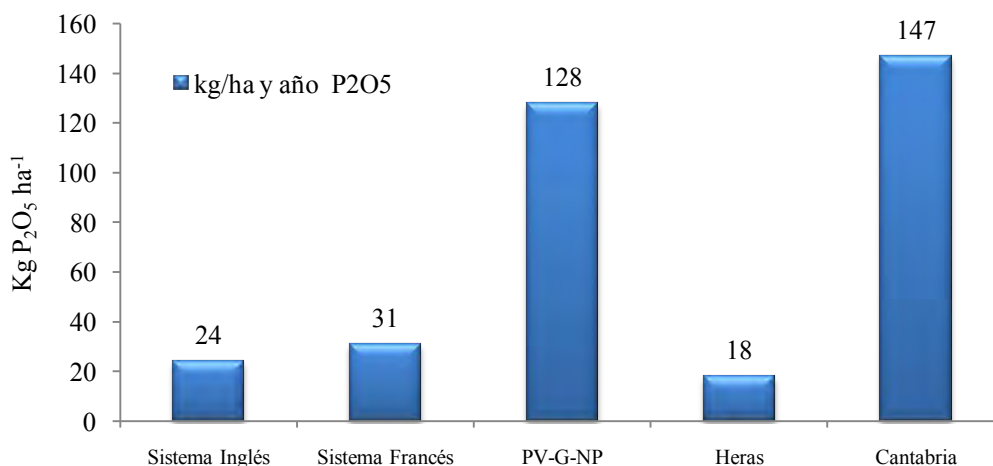
$$\text{Intensivos} = 142 (8.06) + 0.131 (0.007) \text{ Cuota } t^{-1} - 2.93 (0.22) ha^{-1}; \pm 43.5 r^2=0.64$$

$$\text{Semiintensivos} = 30.39 (12.3) + 0.521 (0.024) \text{ Cuota } t^{-1} - 5.69 (0.68) ha^{-1}; \pm 27.3 r^2=0.84$$

El mayor input P_2O_5 corresponde a los alimenticios (concentrados y forrajes) (Tabla 5), equivalentes al 99.3%; 99.4% y 99.1% respecto a las entradas totales en el conjunto de explotaciones, intensivas y semiintensivas respectivamente. El bajo aporte de fertilizantes fosf3ricos y la compra de animales, representa un consumo por UGM ha^{-1} similar a las pendientes de 39.9; 35.3 y 54.6 $kg P_2O_5 kg$ sealadas en la Figura 16.

La Figura 18 representa los input de $P_2O_5 ha^{-1}$ a1o en forma de alimentos entre sistemas de producci3n. Las mayores, corresponden a los modelos intensivos del Sur de Europa y los de Cantabria e independientemente del sistema en estos 3ltimos.

Figura 18.- Entradas de $P_2O_5 ha^{-1}$ a1o de origen alimenticio seg3n modelo productivo



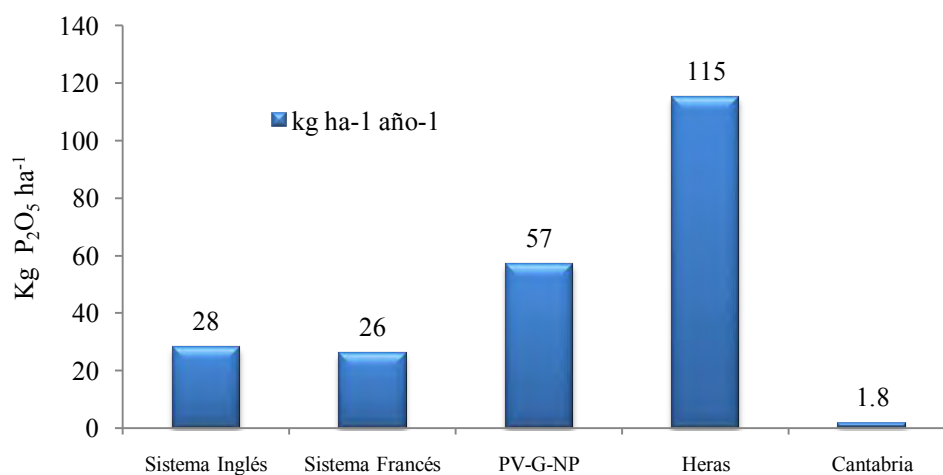
PV: Pa3s Vasco; G: Galicia; NP: Norte Portugal

El $P_2O_5 ha^{-1}$ a1o de origen mineral es bajo en las explotaciones c3ntabras, con un valores medios de 1.8 kg (Tabla 5), m3ximos de 3.0 en los semiintensivos y m3nimos de 1.3 kilogramos en los intensivos. Entre los diferentes sistemas analizados, el modelo Heras *“Todo pastoreo y m3nimo aporte de concentrado”* es el mayor consumidor de 3cido fosf3rico (Figura 19), imputable a necesidades mayores para la producci3n de forrajes y de otro, a suelos deficientes, 7.96 ppm (valor medio de 13 a1os). Para las

explotaciones cántabras, los bajos inputs de P_2O_5 ha^{-1} año reflejan la elevada utilización del purín como fertilizante en los cultivos forrajeros, principalmente maíz. Entre otras razones, concentraciones de P en el suelo elevadas (93 ppm Olsen), mínimos de 34.5 ppm y máximos de 897 ppm. El P_2O_5 proveniente de las heces y orina por hectárea y año en el conjunto de la explotación (vacas lecheras y novillas de reposición) es de 147 kg, mínimos de 25 y máximos de 162 kg P_2O_5 ha^{-1} y año. El valor medio de 147 kg es coincidente con el Surplus kg P_2O_5 ha^{-1} y año de 148 kg. A los precios actuales del Superfosfato de cal del 18% (460 € t^{-1}) y, a partir de la información de cada explotación, los aportes de P_2O_5 ha^{-1} a través de las heces y orina es de 147 kg, lo que representa un ahorro de 376 € ha^{-1} en forma de fertilizantes fosfóricos.

Para el conjunto de explotaciones, la superficie media dedicada a pradera y maíz son 19.2 y 15.9 ha^{-1} respectivamente. Las producciones medias de materia seca ha^{-1} (kg), concentraciones (% P_2O_5) y extracciones de P_2O_5 (kg ha^{-1}) para la superficie de pradera y maíz son 7000-12000 kg; 0.71% y 0.22% y 50 y 26.4 kg ha^{-1} respectivamente. Tomando eficiencias del 30% (Salcedo y Martínez, 2008) y dependiendo del sistema de aplicación en pradera (convencional o inyección), los aportes de P_2O_5 en forma de purín se sitúan en 193 kg de P_2O_5 ha^{-1} . Por lo tanto, el aportado con el estiércol y el contenido en el suelo, son suficientes para atender las necesidades de las producciones anteriormente señaladas.

Figura 19.- Entradas de P_2O_5 ha^{-1} año de origen mineral según modelo productivo



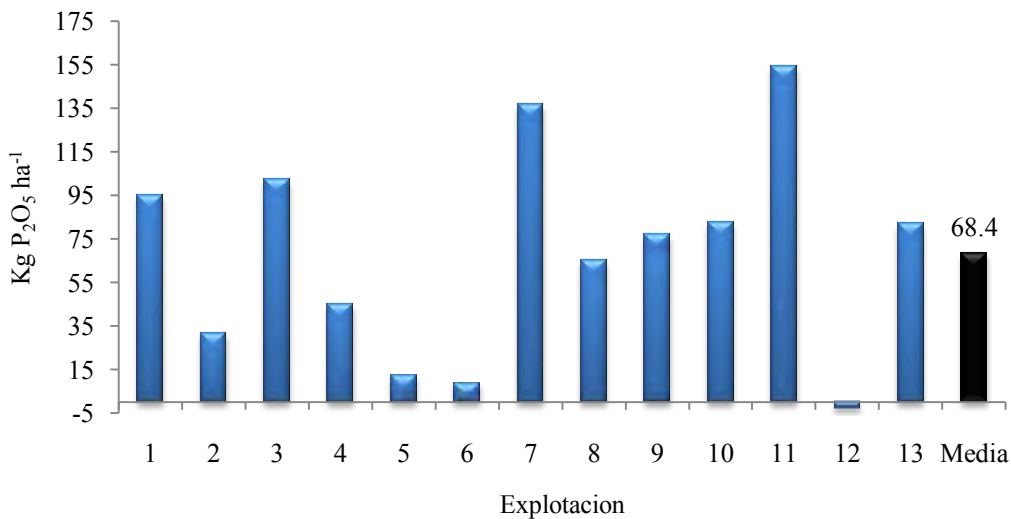
PV: País Vasco; G: Galicia; NP: Norte Portugal

Las salidas de P_2O_5 ha^{-1} año para el conjunto de explotaciones son 80.2 kg, mayor en las intensivas ($P < 0.001$) que las semiintensivas (Tabla 5). Sin embargo,

porcentualmente y respecto a las entradas, los output de P_2O_5 ha^{-1} son ligeramente superiores en las semiintensivas (56.5% vs. 53%).

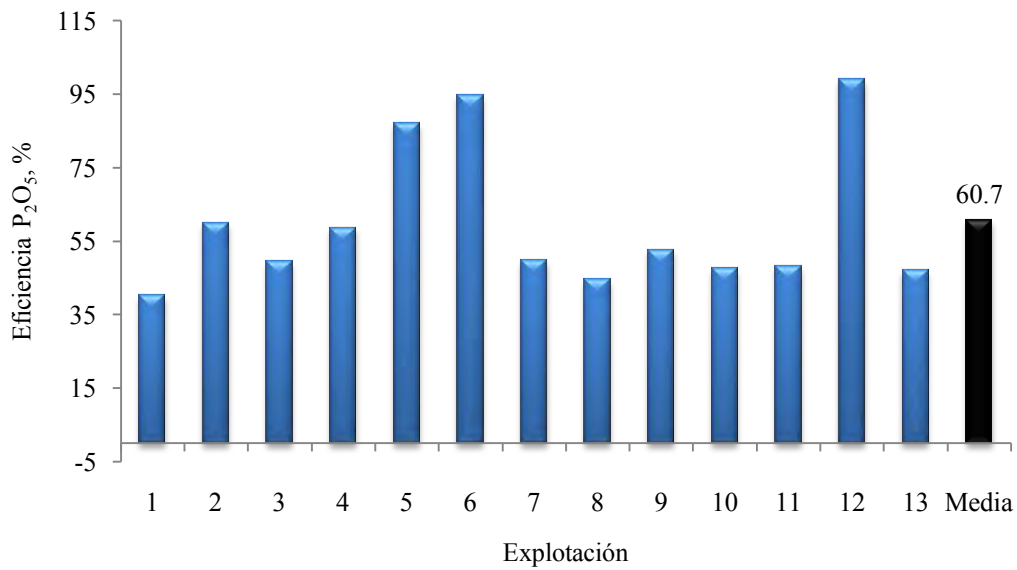
El excedente o Surplus de P_2O_5 ha^{-1} a~o es mayor en las explotaciones intensivas ($P<0.001$), con valores medios de 75.7 kg y 51.7 kg las semiintensivas y 68.4 kg ha^{-1} , el conjunto de explotaciones. Los resultados aqu3 obtenidos son superiores a los sistemas ingleses (31 kg P_2O_5 ha^{-1} a~o); 37 kg los franceses e inferiores a los sistemas del sur de Europa (109 kg). Por el contrario, la relaci3n entre el surplus y las entradas es menor en las explotaciones intensivas, con valores medios de 1.86 y 2.75 kg kg^{-1} respectivamente. La Figura 20 representa el Surplus por ha^{-1} a~o para el conjunto de explotaciones.

■ ■ **Figura 20.-** Surplus (kg P_2O_5 ha^{-1} a~o) por explotaci3n



A nivel de explotaci3n, la eficiencia media es del 60.7% (Figura 21), diferente entre explotaciones ($P<0.001$) y sistemas de producci3n ($P<0.001$), con porcentajes medios de 55.9% y 71.7% en los intensivos y semiintensivos respectivamente (Tabla 4). Estos porcentajes son superiores a los modelos ingleses basados en pastoreo (46.3%), sistemas franceses pasto m3s ma3z (49%) y sistemas del sur de Europa asentados en concentrados (35.6%).

Figura 21.- Eficiencia global de P₂O₅ por explotaci3n



Las Figuras 22 y 23 muestran relaciones de tipo cuadr3tico entre la eficiencia global expresada en porcentaje con el Surplus ha⁻¹ a3o y el Surplus por 1000 kg de leche:

$$\text{Conjunto (Eficiencia, \%)} = 98.5 (1.04) - 0.99 (0.028) \text{ Surplus ha}^{-1} + 0.004 (0.0001) \text{ Surplus ha}^2; \\ \pm 9.6 r^2 = 0.86$$

$$\text{Intensivos} = 95.7 (1.25) - 0.86 (0.032) \text{ Surplus ha}^{-1} + 0.004 (0.0001) \text{ Surplus ha}^2; \pm 7.7 r^2 = 0.83$$

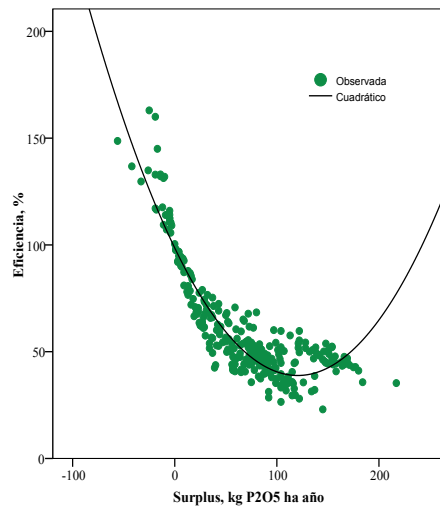
$$\text{Semiintensivos} = 104.5 (1.66) - 1.02 (0.053) \text{ Surplus ha}^{-1} + 0.004 (0.0001) \text{ Surplus ha}^2; \\ \pm 11.2 r^2 = 0.89$$

$$\text{Conjunto} = 101.8 (0.58) - 21.4 (0.33) \text{ Surplus 1000 kg leche} + 1.59 (0.05) \text{ Surplus 1000 kg leche}^2; \\ \pm 5.27 r^2 = 0.96$$

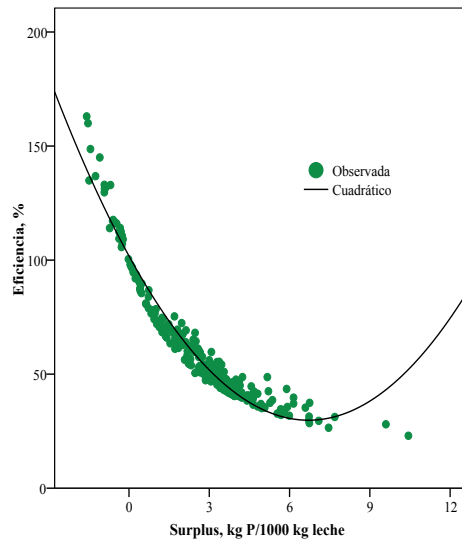
$$\text{Intensivos} = 100.1 (0.668) - 21.6 (0.41) \text{ Surplus 1000 kg leche} + 1.76 (0.07) \text{ Surplus 1000 kg leche}^2; \\ \pm 3.55 r^2 = 0.964$$

$$\text{Semiintensivos} = 103.4 (1.09) - 21.3 (0.67) \text{ Surplus 1000 kg leche} + 1.52 (0.094) \text{ Surplus 1000 kg leche}^2; \\ \pm 7.59 r^2 = 0.95$$

■ ■ ■ **Figura 22.-** Relación entre el Surplus ha^{-1} año y la eficiencia (%)



■ ■ ■ **Figura 23.-** Relación entre el Surplus $\text{kg P}/1000 \text{ kg}$ de leche y la eficiencia (%)



El análisis de conglomerados K medias (Tabla 6) revela que los autovectores seleccionados (Cuota y Superficie) explican el 45.8% de la variación de las entradas de P_2O_5 lo hace la cuota, sin diferencias la superficie de la explotación. Para las salidas, sólo la cuota revela el 44%; el 19% la superficie y la eficiencia el 21.6% la cuota y 31% la superficie respectivamente. Este análisis permitió caracterizar tres grupos de explotaciones en función de la cuota y superficie (Figura 24). A la izquierda quedan las explotaciones con menor cuota y superficie (437 t^{-1} y 20.8 ha^{-1}), a la derecha se agrupan las de mayor cuota y superficie (1123 t^{-1} y 57.5 ha^{-1}) y en el centro las intermedias (1144 t^{-1} y 35.3 ha^{-1}).

Tabla 6.- Valores medios del análisis de conglomerados K medias para el P_2O_5 ha^{-1} y $año^{-1}$

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	P
Explotaciones	8 y 13	2, 7, 10 y 11	1, 3, 4, 5, 6, 9 y 12	
Cuota, t^{-1}	1123±77	1144±549	437±147	
Superficie, ha^{-1}	57.5±12.6	35.3±6.06	20.8±5.15	***
Cuota/Hectárea, $t ha^{-1}$	22±3.4	33.4±15.5	21.4±7.1	***
Mineral Alimentación	1.75±7.7	1.58±7.8	1.92±10.9	NS
Animales	133±20	198±92	120±53	***
	0.12±0.47	0.038±0.18	0.23±1.09	***
ENTRADAS	135±22	200±90	122±55	***
Leche	55±8.9	84.1±37.2	59.7±19.3	***
Animales	7.15±5.8	15.1±13	14.8±15.5	**
Estiércol	-	-	-	***
SALIDAS	61.9±12.4	99.2±43	74±28	***
SURPLUS	73.4±15.3	101.2±51.3	48.1±47.6	***
SURPLUS, kg $P_2O_5/1000$ kg leche	3.63±0.71	3.16±1	2.24±2.23	***
Eficiencia, %	45.7±5.32	51.3±9.5	70.4±30.9	***
Riesgo Ambiental	2.21±0.27	2.01±0.35	1.7±0.74	***

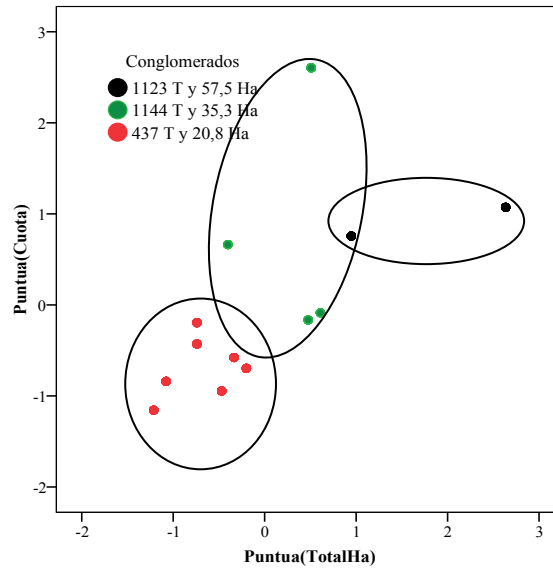
P: nivel de significación, ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; NS: no significativo

Las explotaciones del **Grupo 1** importan -65 kg P_2O_5 ha^{-1} que las del **Grupo 2** y -13 kg respecto a las del **Grupo 3**. Las mayores diferencias se observan en las del **Grupo 2** ($P<0.001$), con superior input de P_2O_5 alimenticio (Tabla 6); sin diferencias la compra de fertilizantes entre grupos.

Las explotaciones del **Grupo 2** importan más P_2O_5 de origen alimenticio ($P<0.001$) que los **Grupos 1** y **3**, pese a la similar compra de forraje y concentrado por vaca⁻¹ lechera y año (Tabla 4). Las granjas del **Grupo 2** con superficie intermedia entre grupos (35.3 ha^{-1}) y, similar cuota respecto a las del **Grupo 1** (Tabla 6), presentan eficiencias intermedias (51.3%), pese al mayor surplus de P_2O_5 ha^{-1} (Tabla 6).

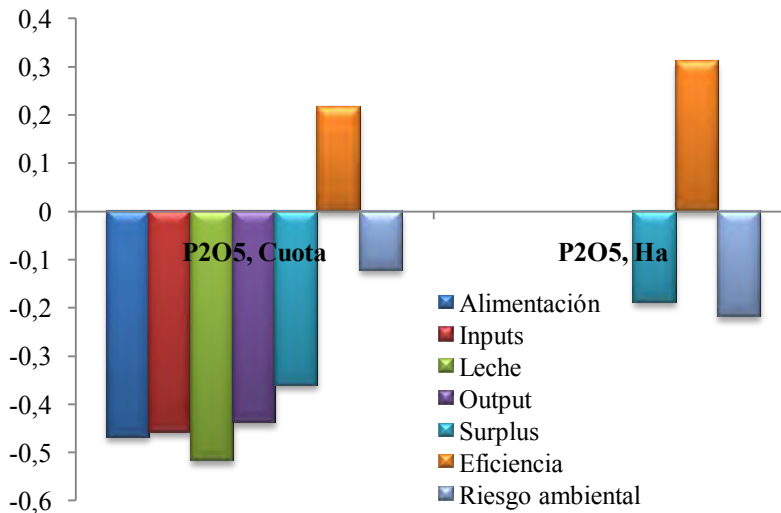
Las del **Grupo 3** o familiares, son las que importan menos P_2O_5 en alimentos (Tabla 6).

Figura 24.- Distribuci3n de las explotaciones seg3n las dos primeras componentes principales (Cuota y Superficie)



A la izquierda de la Figura 24 quedan las explotaciones con **entradas menores de P_2O_5** , m3nimos y m3ximos de 30 y 335 kg P_2O_5 ha⁻¹ a3o; **menor Surplus ha⁻¹** con rango variables de -56 a 217 kg P_2O_5 ha⁻¹ a3o y **m3xima eficiencia** (23% a 99%). A la derecha est3n las explotaciones intermedias con Surplus ha⁻¹, con rangos de entradas de P_2O_5 ha⁻¹ a3o de 97 a 195 kg; Surplus de 51 a 134 kg y m3nima eficiencia de 31.4 a 60.5%. En el centro corresponde a las explotaciones con m3xima entrada de P_2O_5 (65 a 323 kg N); m3ximo Surplus ha⁻¹ (7 a 184) y eficiencia intermedia (31.2 y 89.7%).

Figura 25.- An3lisis de correlaci3n con los autovectores (Cuota y Superficie) para P_2O_5



Modelo Heras

Pastoreo



El modelo Heras basado en pastoreo con m3nima aportaci3n de concentrado, pretende optimizar la producci3n de forraje con m3nimas entradas de alimentos comprados, maximizando la producci3n de leche por unidad de superficie. Por el contrario, requiere mayor superficie, aporte extra en forma de fertilizantes y condicionado por factores climatol3gicos. La Figura 26 representa el manejo productivo y alimenticio y las caracter3sticas m3s relevantes en la Tabla 7. Otro aspecto importante de este sistema es la agrupaci3n de partos; en nuestro experimento se hizo con partos agrupados a la salida del invierno.

Figura 26.- Modelo Heras (Pastoreo)

Plan de alimentaci3n y conservaci3n de forraje (2.37 VL ha⁻¹ y 11 t MS ha⁻¹ netas)

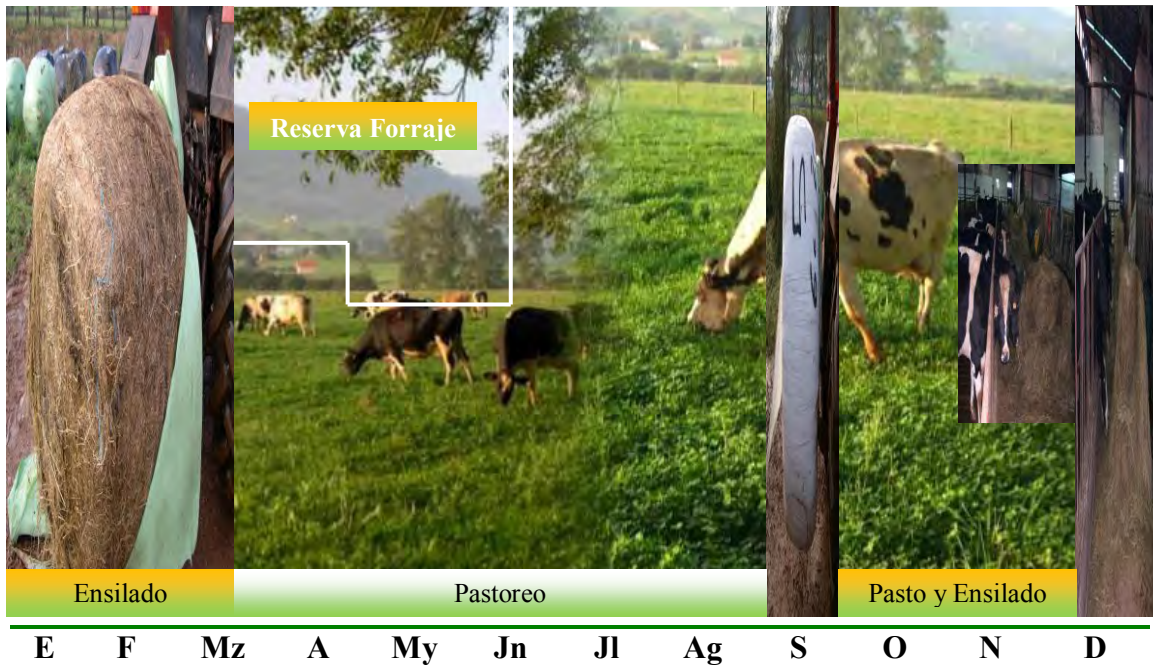


Tabla 7.- Caracter3sticas modelo Heras (valores medios de 13 a3os)

Par3metros	Conjunto	Std
Superficie, ha ⁻¹	8.2	2.2
Pradera, ha ⁻¹	8.2	2.2
Vacas leche	20	6.2
UGM ha ⁻¹	2.44	0.27
Leche vaca, kg a3o ⁻¹	5776	597
Leche, kg ha ⁻¹	14001	2234
Concentrado, kg vaca ⁻¹ a3o	777	202
Forraje, kg vaca ⁻¹ a3o	229	111
Concentrado, kg ha ⁻¹ a3o	1823	604
Forraje, kg ha ⁻¹ a3o	571	268

Std: desviaci3n est3andar

La Tabla 8 refleja los balances de N, P₂O₅ y K₂O. De la misma, se desprende que las mayores entradas corresponden a la fertilizaci3n mineral, con porcentajes

medios respecto a las entradas de 73%, 93.5% y 82.6% respectivamente, similares para el N a los sistemas pastoriles del Reino Unido (76%) y superior a 50% el P (del Hierro *et al.*, 2007), Figura 18. Los nutrientes importados en alimentos en este modelo productivo son 54, 18 y 7 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, o el 19.5%, 14.6% y 8.1% del total de entradas, semejantes a los sistemas ingleses, con inputs medios de 59 kg de N ha⁻¹ año y diferentes en fósforo (28.3 en el Reino Unido y 18 en el modelo Heras). Estas semejantes entradas en los sistemas a pastoreo (ingleses o Heras), son debidas a la máxima utilización de los nutrientes del pasto y la mayor necesidad de producir hierba. Por el contrario, en Cantabria, un elevado porcentaje de la producción se sustenta en el aporte de concentrado que, unido a la alta carga ganadera por hectárea, implica mayor compra de alimentos.

Tabla 7.- Balance de N, P₂O₅ y K₂O kg ha⁻¹ año

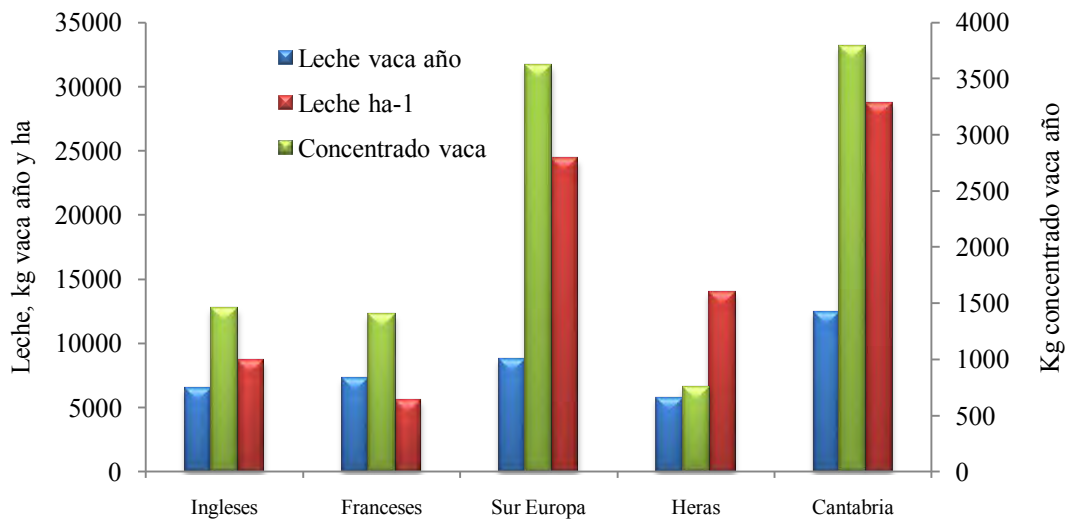
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Mineral	202±49	115±25	86±16
Fijación	18.4±2.5	-	-
Estiércol	-	-	-
Alimentación	54±20	18±6	7±2
Animales	1.88±0.2	1.49±0.16	0.39±0.04
ENTRADAS	277±51	123±26	104±18
Leche	69±11	6.3±1	18.2±2.9
Animales	8.02±0.89	5.37±0.6	1.5±0.16
Estiércol	-	-	-
SALIDAS	77±12	11.6±1.5	19±3
SURPLUS	200±52	112±25	84±18
SURPLUS, kg/1000 kg leche	14.8±5	7.9±1.1	6.3±2.6
Eficiencia, %	38±8.2	27.6±5.2	25.3±5.8
Riesgo Ambiental	3.59	4	-

± desviación estándar

3.3. Comparación con otros modelos

Este apartado compara tres modelos de producción lechera, denominados Heras (pastoreo con mínimo concentrado); intensivos a pastoreo del Reino Unido y las explotaciones de Cantabria. El consumo de concentrado, producción de leche media por vaca y hectárea de los tres vienen representados en la Figura 27.

Figura 27.- Diferencias de producci3n de leche entre sistemas



Para el conjunto de entradas totales, los sistemas ingleses consumen 271 y 57 kg de N y P_2O_5 ha^{-1} a1o semejante a 277 kg de N en el modelo Heras y menor en P_2O_5 . Las entradas, salidas y Surplus de N son inferiores al modelo intensivo de Cantabria y Sur de Europa; similares a los sistemas ingleses y franceses (Figura 28), pero eficiencias m1s bajas (Figura 29).

En cualquier caso, la relaci3n entre entradas y salidas de N, es mayor en los sistemas a pastoreo intensivo del sur-oeste y sur de Inglaterra (5.15 y 4.93), 3.85 en los sistemas a pastoreo de Escocia; inferiores en el modelo Heras (3.53) y de 3.86 para las explotaciones de Cantabria. La diferencia entre las explotaciones de Escocia e Inglaterra cabe imputarla a la menor carga ganadera de aquellos (0.95 vs. 1.45 UGM ha^{-1}). Para P_2O_5 , la mayor relaci3n corresponde al modelo Heras (10.6) y la menor de 1.85 en Cantabria (Figura 28).

Figura 28.- Diferencias entre sistemas de producci3n de leche

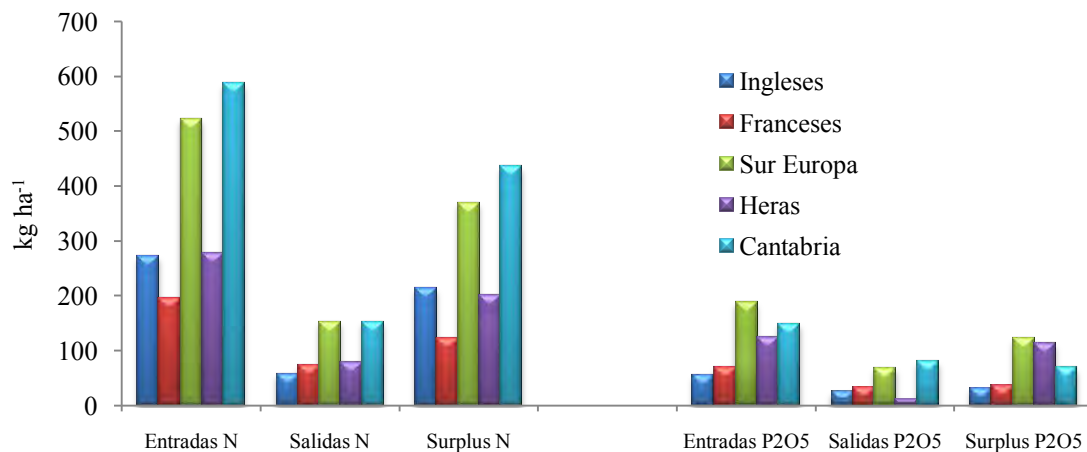


Figura 29.- Eficiencia de P₂O₅ entre sistemas de producción de leche

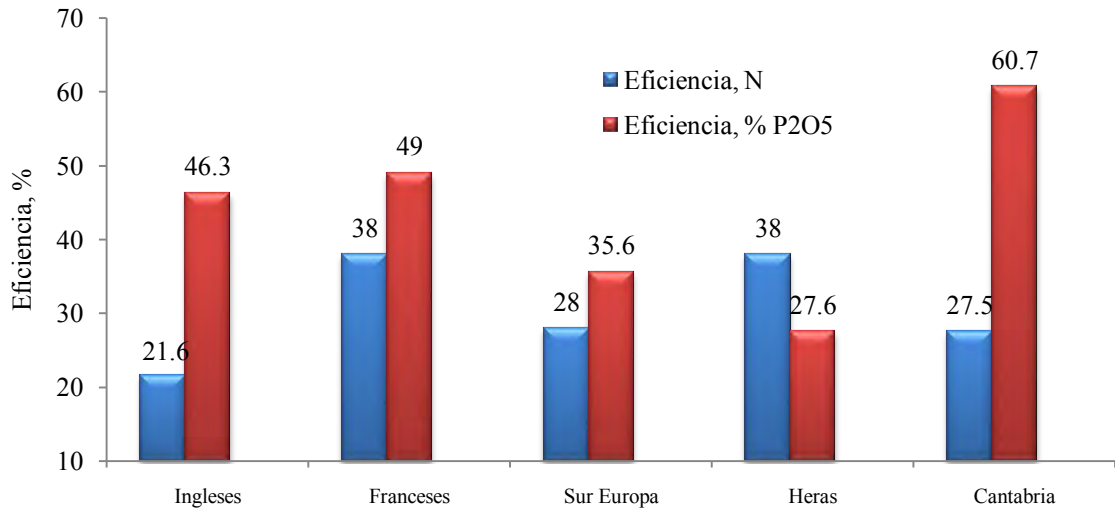
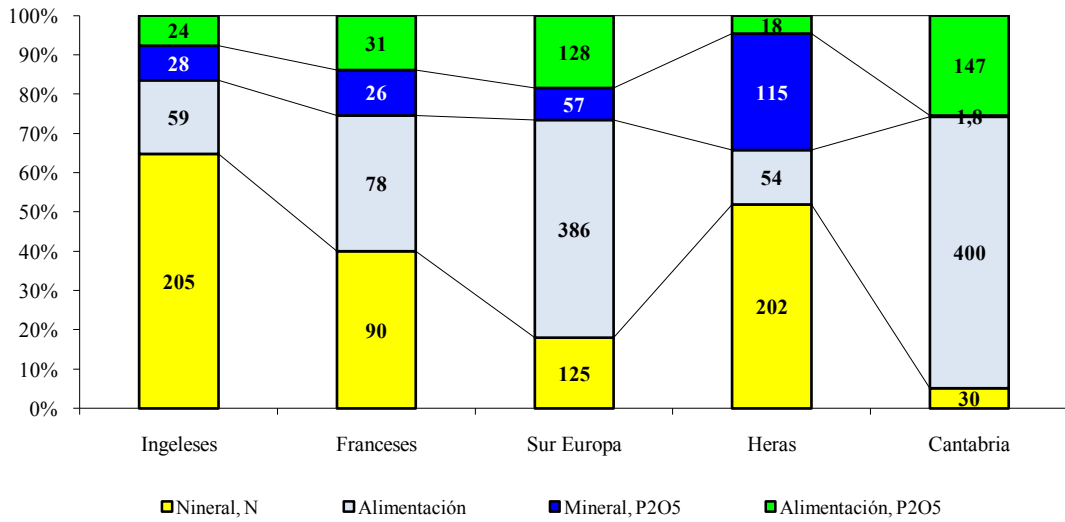


Figura 30.- Entradas de N y P₂O₅ (kg ha⁻¹ año) en los sistemas Ingleses, Franceses, sur de Europa, Heras y Cantabria



4.- Conclusiones parciales

La carga ganadera en las explotaciones lecheras de Cantabria es elevada en los sistemas de producción estudiados. El valor medio del Surplus es de 435 kg de N ha⁻¹, superior a 175 kilogramos señalado por la Directiva Nitratos. Este excedente representa un excedente de 16.9 kg de N por 1000 kg de leche producidos. Mientras en los sistemas a pastoreo el Surplus está situado cerca de lo establecido en aquella Directiva, con valores medios de 200 kg N ha⁻¹.

La variable más relacionada con las entradas de N es el consumo de concentrado, mientras que la cuota láctea, explica el 38% de la varianza respecto a las entradas. Las explotaciones de mayor cuota y superficie manifiestan superior surplus de N por 1000 kg⁻¹ de leche que las de menor cuota y superficie.

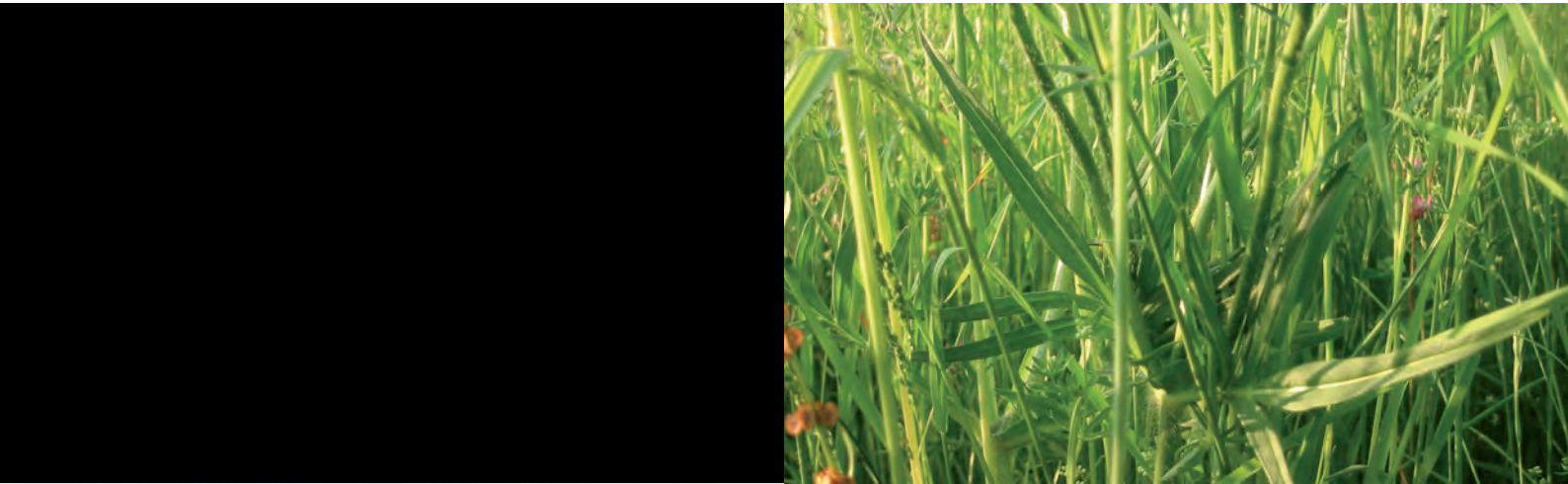
Las entradas mayoritarias de P₂O₅ en los sistemas intensivos y semiintensivos son las de origen alimenticio, siendo la carga ganadera la variable más relacionada; mientras la cuota láctea explica el 37% de la varianza, aumentando hasta el 58% cuando se incluye la superficie para el conjunto de las explotaciones, con diferencias entre sistemas de producción. Por el contrario, en los sistemas a pastoreo, las entradas más importantes corresponden a los fertilizantes.

Las explotaciones con cuota intermedia y mayor superficie manifiestan un surplus intermedio entre las de menor cuota y menor superficie, pero para éstas últimas, la eficiencia global de la explotación es mayor, con menor riesgo ambiental.

Manejo de la explotación

Modelizado del Surplus y Eficiencia del N y P_2O_5 Ha^{-1}

G. Salcedo



MODELIZADO DEL “SURPLUS Y EFICIENCIA DEL N Y P₂O₅ Ha⁻¹”

G. Salcedo

1. Surplus de nitr3geno

1.1. Introducci3n

1.2. An3lisis estad3stico del modelo

1.3. Resultados y discusi3n

1.3.1. Desarrollo de diferentes modelos

1.3.1.1. Interpretaci3n de las observaciones

1.3.1.2. Interpretaci3n del Modelo 10

1.3.2. Interpretaci3n de los resultados

1.3.3. Estimaci3n del Surplus ha⁻¹ seg3n sistema de producci3n (intensivo vs. semiintensivo)

1.3.4. Demostraci3n agron3mica del signo de la variable “Vacas de leche ha⁻¹”

2. Eficiencia del nitr3geno

2.1. Introducci3n

2.1.1. Factores que afectan a la eficiencia de utilizaci3n de N en las vacas lecheras

2.1.1.1 Producci3n de prote3na en leche y eficiencia de utilizaci3n

2.1.1.2. Concentraci3n de urea en leche

2.1.1.3. Efectos de la conservaci3n del forraje en la eficiencia de utilizaci3n del N

2.2. Resultados y discusi3n

2.2.1 Desarrollo de diferentes modelos

2.2.2. Interpretaci3n de los resultados

2.2.3. Estimaci3n de la eficiencia seg3n sistema de producci3n (intensivo vs. semiintensivo)

3. Surplus de P₂O₅

3.1. Introducci3n

3.2. An3lisis estad3stico del modelo

3.3. Resultados y discusi3n

3.3.1. Desarrollo de diferentes modelos

3.3.1.1. Interpretaci3n de las observaciones

3.3.1.2. Interpretaci3n del Modelo 7

3.3.2. Interpretación de los modelos

3.3.3. Estimación del Surplus P_2O_5 ha^{-1} según sistemas de producción (intensivo vs. semiintensivo)

3.3.4. Demostración agronómica del signo de la variable “Vacas de leche ha^{-1} ” para el conjunto de datos

4. Eficiencia del fósforo

4.4. Resultados y discusión

4.1. Desarrollo de diferentes modelos

4.2. Interpretación de los resultados

4.3. Estimación de la eficiencia según sistema de producción (intensivo vs. semiintensivo)

5. Conclusiones parciales

5.1. Modelo “Surplus N ha^{-1} ”

5.2. Modelo “Eficiencia N ha^{-1} ”

5.3. Modelo “Surplus P_2O_5 ha^{-1} ”

5.4. Modelo “Eficiencia P_2O_5 ha^{-1} ”

6.- Bibliografía



1. *Surplus de N*

1.1. Introducción

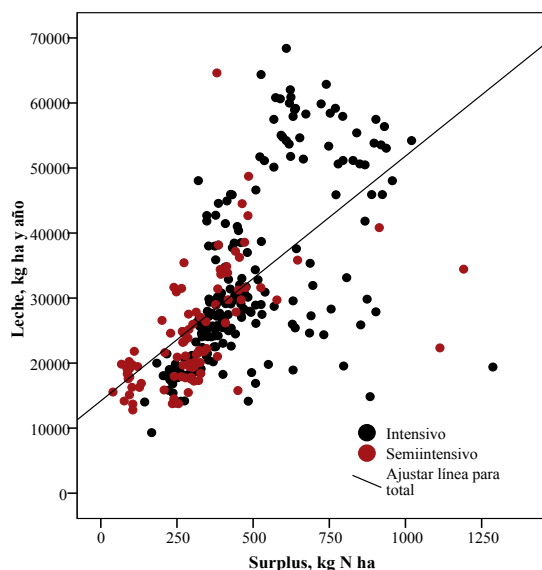
Uno de los mayores activos con los que cuenta la producción agrícola sostenible es el uso eficiente de los nutrientes. El uso ineficiente de los mismos no sólo ocasiona pérdidas económicas, sino que además, genera agentes potencialmente nocivos para el medioambiente (Oenema y Pietrzak, 2002).

Un problema urgente relacionado con la contaminación medioambiental originada por un excesivo aporte de nutrientes, son los debidos a la actividad ganadera, aumentando la concentración de gases de efecto invernadero (Oenema *et al.*, 2001). El dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O) son de relevante importancia en la agricultura (Vellinga, 2006). La actividad agrícola es la responsable de más del 40% N₂O emitido a la atmósfera (Prather *et al.*, 1995). La aplicación de N a través del estiércol y fertilizantes inorgánicos a los cultivos agrícolas son fuentes importantes de N₂O (Freibauer y Kaltschnitt, 2003; Olivier *et al.*, 2003).

La rápida intensificación de los sistemas ganaderos desarrollados a partir de los años 50, incrementó los excedentes de nutrientes (Oenema *et al.*, 1998). El Surplus expresa la pérdida potencial del sistema en términos de volatilización a la atmósfera, desnitrificación y lixiviados en el suelo (Borsting *et al.*, 2003).

La Figura 1 muestra la variabilidad en términos de eficiencia, expresada como la cantidad de leche producida por kilogramo de N de Surplus. Ramírez (2008) señala que la mayoría de las explotaciones flamencas durante los años 1989 a 1990, operaban entre eficiencias del 15 a 40 L de leche por kg de N de Surplus. En las mismas explotaciones durante el 2000-2001, el 90% de las mismas producen 20-60 L y, en la zona de máxima eficiencia, definida en la base de las explotaciones alemanas delimitadas por 60 a 110 L, obteniéndose un valor medio 85 kilogramos. Sólo el 4% de las explotaciones lecheras flamencas operan en esta zona durante el bienio 2000-2001. En Cantabria y para el período 2007-2008, el valor medio es de 80±39 kg; con mínimos de 15 y máximos de 388 kg de leche kg⁻¹ N de Surplus. Entre sistemas los intensivos como medias de 70.8±20 kg kg⁻¹ y 101±60 kg los semiintensivos, con rangos variables de 15 a 150 y 20 a 388 respectivamente.

Figura 1.- Relaci3n entre el Surplus (kg N ha^{-1}) y la producci3n de leche (kg ha^{-1})



$$\text{Conjunto} = 125.2 (24.8) + 0.01 (0.001) \text{ kg leche ha}^{-1}; \pm 166 \text{ } r^2=0.38$$

$$\text{Intensivos} = 202.9 (29.4) + 0.009 (0.001) \text{ kg leche ha}^{-1}; \pm 159 \text{ } r^2=0.35$$

$$\text{Semiintensivos} = 34.6 (50.4) + 0.011 (0.002) \text{ kg leche ha}^{-1}; \pm 163 \text{ } r^2=0.28$$

1.2. Análisis estadístico del modelo

Previo al desarrollo estadístico del modelo y mediante análisis de correlaci3n (Pearson) se estima el grado de linealidad entre las diferentes variables independientes respecto al Surplus N ha^{-1} y Eficiencia del N (Tabla 2).

Las relaciones existentes entre el “Surplus N ha^{-1} ” y las variables independientes Tabla 2, se evalúan utilizando un modelo de regresi3n múltiple paso a paso. Previo al análisis de regresi3n se comprob3 la colinealidad de las variables independientes utilizando el factor inflado de la varianza (FIV). Este estadístico es un indicador que mide la independencia de una variable respecto a las otras variables independientes de la ecuaci3n de regresi3n, calculándose con la siguiente ecuaci3n (Etxeberriá, 1999):

$$FIV = \frac{1}{1 - R_{i1}^2}$$

donde, R_{i1}^2 es el coeficiente de determinaci3n múltiple entre la variable cuya multicolinealidad se est3 calculando y el resto de las variables independientes. El valor de corte del FIV es 10. Asimismo, se analizaron los residuales una vez realizadas las regresiones, con el fin de evaluar si los datos se ajustaron a los supuestos de estos análisis, comprobándose que éstos siguen una distribuci3n normal.

Una vez definido el modelo con un FIV inferior a 10, el estadístico Dubrin-Watson usado est3 próximo o menor de 2 y el valor pronosticado típico de los residuos

fuese 0 y 1.0 la desviación típica. Posteriormente, se realiza un análisis de regresión múltiple con las variables detectadas como buenas incluyendo el efecto “random” (30% de las explotaciones). Más tarde este modelo es analizado para cada sistema de producción “intensivos vs. semiintensivos”.

1.3. Resultados y discusión

La Tabla 1 señala la estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización para el conjunto de explotaciones.

Tabla 1.- Estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización del N

	Mínimo	Máximo	Rango	Media	Std	Varianza
N alimentación, kg ha ⁻¹ (2)	127	1277	1150	549	235	55585
N concentrado, kg ha ⁻¹ (2)	90	932	842	376	173	30227
Vacas leche, (3)	26	172	146	79	37	1386
UGM, ha ⁻¹	1.91	8.04	6.13	4.29	1.34	1.81
N forraje, kg ha ⁻¹ (2)	33	501	468	173	81.7	6686
Leche, kg ha ⁻¹ (4)	9309	68394	59084	30588	12886	166053359
N leche, kg ha ⁻¹ (4)	40.7	298.9	258.2	134.1	56.2	3163
Vacas leche, ha ⁻¹ (3)	1.05	4.84	3.79	2.73	0.99	0.99
Cuota, t ⁻¹ (4)	210	2050	1840	776	489	239359
UGM totales, (3)	48	300	252	127	62	3812
Novillas >12 meses (3)	4	90	86	29	18	344
Has UGM	0.12	0.52	0.40	0.259	0.09	0.008
N fertilizante, kg ha ⁻¹ (1)	0	220	190	31.47	38	1535
Novillas, 12 a 24 meses (3)	5	90	85	28	18	343
Vacas secas, (3)	1	45	44	12	6	38
Pradera, ha ⁻¹ (5)	0	34	34	19.2	8.9	80.8
Concentrado, kg vaca año (2)	2280	5064	2784	3783	734	538918
Forraje, kg vaca año (2)	1893	5976	4082	3816	669	441946
Pradera, %	0	100	100	70.6	28.2	799
Maíz, %	0	92.8	92.8	28.03	25.9	672
N fijación, kg ha ⁻¹ (2)	0.31	4.28	3.97	3.06	1.1	1.22

Std: desviación estándar; (1) Modelo con N comprado como fertilizantes y N fijado; (2) Modelo con N comprado como alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche; (5) Modelo superficie y dedicación de la misma

Tabla 2.- Correlaciones Pearson entre la variable dependiente “Surplus N ha⁻¹” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre par3ntesis, grupo de cada variable

Variable independiente	Surplus N ha ⁻¹
N alimentaci3n, kg ha ⁻¹ (2)	0.793**
N concentrado, kg ha ⁻¹ (2)	0.786**
Vacas leche, (3)	0.623**
UGM, ha ⁻¹ (3)	0.642**
N forraje, kg ha ⁻¹ (2)	0.616**
Leche, kg ha ⁻¹ (4)	0.618**
N leche, kg ha ⁻¹ (4)	0.614**
Vacas leche, ha ⁻¹ (3)	0.597**
Cuota, t ⁻¹ (4)	0.581**
UGM totales, (3)	0.562**
Novillas >12 meses (3)	0.554**
Has UGM (3)	-0.540**
N fertilizante, kg ha ⁻¹ (1)	0.485**
Novillas, 12 a 24 meses (3)	0.468**
Vacas secas, (3)	0.357**
Pradera, ha ⁻¹ (5)	0.261**
Concentrado, kg vaca a3o (2)	0.246**
Forraje, kg vaca a3o (2)	-0.146*
Pradera, % (5)	0.046
Ma3z, % (5)	-0.038
N fijaci3n, kg ha ⁻¹ (2)	0.033

El orden de importancia y el signo de la correlaci3n con el “Surplus ha⁻¹” es coincidente con los resultados de otros estudios. Aarts *et al.* (1992), Kuipers y Mandersloot (1999), Aarts *et al.* (2000), Van Keulen *et al.* (2000), Ondersteijn (2002), Ondersteijn *et al.* (2003a), Swensson (2003), Van Beek *et al.* (2003), Steinshamn *et al.* (2004), Verbruggen *et al.* (2004), Nielsen y Kristensen (2005), Nevens *et al.* (2006), Oenema (2006), Vellinga (2006) y Thomassem (2008) quienes afirman que la cantidad de fertilizantes **Grupo 1** y concentrados **Grupo 2**, son las variables m3s directamente relacionadas con el “Surplus ha⁻¹”.

Las variables del **Grupo 3** son moderadas y correlacionadas positivamente con el “Surplus ha⁻¹”. Las del **Grupo 4** producci3n de leche, presentan buena correlaci3n y las del **Grupo 5**, representadas por la superficie de la explotaci3n y dedicaci3n de la misma (pradera o ma3z) son las de menor correlaci3n (Tabla 2).

1.3.1. Desarrollo de diferentes modelos

El Modelo del **Grupo 1** calculado por regresi3n simple del “Surplus N ha⁻¹” con la variable independiente “kg de N fertilizantes ha⁻¹”, describe la relaci3n con el Surplus ha⁻¹, porque es una variable con moderada correlaci3n $r=0.48$ (Tabla 2), inferior a la observada por Ram3rez (2008) de 0.81 en las explotaciones lecheras de Flanders y es f3cilmente medible. Posiblemente, el bajo coeficiente de determinaci3n observado en el

presente trabajo modelo [1] (Tabla 3), tenga su origen en el menor empleo de abonos nitrogenados de origen sintético ($31.4 \text{ kg N ha}^{-1}$, 5.3% del total de inputs) en Cantabria frente a 323 kg ha^{-1} en Flanders (Ramírez, 2008). Además, la menor carga ganadera observada en aquel trabajo (3.1 vs. 4.29 en Cantabria) permite pensar en una mayor utilidad de estiércol por hectárea dedicada a los cultivos forrajeros.



Reparto de alimento con carro mezclador

■ ■ ■ **Tabla 3.-** Análisis de regresión simple del “Surplus N ha^{-1} ” con los “kg de N fertilizantes ha^{-1} ”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	409.5***	11.06	
Kg N de fertilizante ha^{-1}	0.827***	0.087	0.485

*** $P < 0.001$

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 409.5 (11.06) + 0.82 (0.08) \text{ kg N fertilizante}; \pm 185 \text{ r}^2 = 0.235 \text{ [1]}$$

El modelo [2] con variables dependientes del **Grupo 2** calculado también por regresión simple del “Surplus N ha^{-1} ” (Tabla 4) con la variable independiente “kg de N alimentación ha^{-1} ” presenta un aceptable coeficiente de determinación ($r^2 = 0.63$) pero elevado error estándar de la regresión.

■ ■ ■ **Tabla 4.-** Análisis de regresión simple del “Surplus N ha^{-1} ” con los “kg de N alimentación ha^{-1} ”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	44.7**	18.9	
Kg N de alimentación ha^{-1}	0.71***	0.032	0.73

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 44.7 (18.9) + 0.71 (0.03) \text{ kg N alimentación ha}^{-1}; \pm 129 \text{ r}^2 = 0.63 \text{ [2]}$$

Cuando el “N alimentaci3n ha⁻¹” del modelo [2] **Grupo 3** se subdivide en “kg de concentrado ha⁻¹” y “kg de N forraje ha⁻¹ comprados” (Tabla 5), el coeficiente de determinaci3n y el error est3ndar de la regresi3n no mejora el modelo [3].

Tabla 5.- An3lisis de regresi3n m3ltiple del “Surplus N ha⁻¹” con los “kg de N concentrado y forraje ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	50.1***	18.9	
Kg N de concentrado ha ⁻¹	0.816***	0.057	0.671
Kg N de forraje ha ⁻¹	0.453***	0.121	0.175

*** P<0.001

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 50.1 (18.9) + 0.816 (0.057) \text{ kg N concentrado ha}^{-1} + 0.453 (0.121) \text{ kg de N forraje ha}^{-1}; \pm 128 \text{ r}^2=0.63 \text{ [3]}$$

En el presente trabajo, los “kg de N del concentrado por hect3rea”, presenta mejor correlaci3n (r=0.78) que la observada por Ram3rez (2008) en explotaciones lecheras de Flanders (r=0.67), lo que explicaría el grado de intensificaci3n en las cántabras, con mayor “Surplus ha⁻¹” (435 kg N) frente a 318 kg N. El “N concentrado ha⁻¹” en modelos de regresi3n simple (Tabla 6) explica el 61.7% de la varianza del “Surplus N ha⁻¹”, pero el error est3ndar de la regresi3n sigue siendo elevado, modelo [4].

Tabla 6.- An3lisis de regresi3n simple del “Surplus ha⁻¹” con los “kg N concentrado ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	75.8***	18.09	
Kg N de concentrado ha ⁻¹	0.956***	0.044	0.78

*** P<0.001

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 75.8 (18.09) + 0.956 (0.044) \text{ kg N concentrado ha}^{-1}; \pm 131 \text{ r}^2=0.62 \text{ [4]}$$

La sustituci3n de “N alimentaci3n, ha⁻¹” del modelo [2] (Tabla 4) por el “N concentrado, ha⁻¹” modelo [4] (Tabla 6) la pendiente obtenida resulta similar a 0.89 y 0.78 respectivamente obtenidas por Ram3rez (2008) en Flanders.

El que la pendiente de la variable “N fertilizantes ha⁻¹” sea inferior a “kg concentrado ha⁻¹”, cabe imputarla a la baja compra de fertilizantes nitrogenados (5.6%) frente a 93.6% de los alimentos (concentrado + forrajes). En modelos m3ltiples incluyendo “N concentrado ha⁻¹” y “N fertilizantes ha⁻¹” modelo [5], tanto el coeficiente de determinaci3n como el error est3ndar de la regresi3n mejora significativamente respecto a los modelos [1, 2, 3 y 4], obteniéndose la ecuaci3n:

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 19.02 (7.4) + 0.97 (0.02) \text{ kg N fertilizante ha}^{-1} + 1,02 \text{ kg N concentrado ha}^{-1} (0.01); \pm 52.6 \text{ } r^2=0.94 \text{ [5]}$$

El modelo que incluye las variables independientes de alta correlaci3n (kg N alimentaci3n ha⁻¹, r=0.79) y moderada (kg N fertilizante ha⁻¹, r=0.48) con el “Surplus N ha⁻¹”, el coeficiente de determinaci3n del modelo [6] (Tabla 7), mejora respecto al modelo [5] un 3.4% y el error est3ndar de la regresi3n disminuye 16.7 kg de N.

Tabla 7.- An3lisis de regresi3n m3ltiple del “Surplus N ha⁻¹” con los “kg N alimenticio y fertilizante ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-22.2***	5.4	
Kg N de alimenticio ha ⁻¹	1.007***	0.017	0.59
Kg N fertilizante ha ⁻¹	0.77***	0.009	0.865

*** P<0.001

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = -22.2 (5.4) + 1.007 (0.017) \text{ kg N fertilizaci3n ha}^{-1} + 0.77 (0.009) \text{ kg de N alimentaci3n ha}^{-1}; \pm 35.9 \text{ } r^2=0.97 \text{ [6]}$$

Al dividir el N alimenticio del modelo [6] en sus dos componentes (N del concentrado y N forraje, kg ha⁻¹) e incluir el de los fertilizantes, modelo [7] (Tabla 8), el coeficiente de determinaci3n no mejora, pero el error est3ndar de la regresi3n disminuye en una unidad.

Tabla 8.- An3lisis de regresi3n m3ltiple del “Surplus ha⁻¹” con los “kg de N concentrado, forraje y fertilizante, (kg ha⁻¹)”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	-19.09***	5.29			
Concentrados, kg N ha ⁻¹	0.83***	0.015	0.682	0.568	1.76
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.64***	0.033	0.247	0.563	1.77
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	1.002***	0.016	0.587	0.981	1.01

*** P<0.001; FIV: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = -19.09 (5.29) + 0.83 (0.015) \text{ kg N concentrados ha}^{-1} + 0.64 (0.033) \text{ kg N forraje ha}^{-1} + 1.002 (0.016) \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1}; \pm 34.9 \text{ } r^2=0.97 \text{ [7]}$$

La variable “Vacas leche ha⁻¹” en modelos de regresi3n simple presenta un coeficiente de determinaci3n bajo y un error est3ndar de 9.7 (Tabla 9).

Tabla 9.- Caracter3sticas de la regresi3n simple del “Surplus N ha⁻¹” de la variable “Vacas leche ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	89.03***	28.77	
Vacas leche ha ⁻¹	126.5***	9.87	0.597
R ² =0.35			
Std error de la estima=164			
F=164***			

*** P<0.001

La adici3n de la variable “Vacas leche ha⁻¹” al modelo [7] (Tabla 8) “kg N concentrados”, “kg de N forrajes” y “kg N fertilizantes”, con correlaciones de r=0.78, r=0.61 y r=0.48 respecto al “Surplus N ha⁻¹” (Tabla 2), el error est3ndar de la regresi3n disminuye de 34.9 a 30.8 (Tabla 10) modelo [8], sin mejoras significativas para el coeficiente de determinaci3n.

Tabla 10.- An3lisis de regresi3n m3ltiple del “Surplus ha⁻¹” con los “kg de N fertilizantes”, “kg N concentrado”, “kg N forraje” y “Vacas leche ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	5.63 ^{NS}	5.38			
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	0.995***	0.015	0.583	0.97	1.02
Concentrados, kg N ha ⁻¹	0.900***	0.016	0.739	0.43	2.29
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.894***	0.040	0.346	0.29	3.35
Vacas leche ha ⁻¹	-34.56***	3.74	-0.163	0.22	4.36

*** P<0.001; NS: no significativo; FIV: factor de inflaci3n de la varianza

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 5.63 (5.38) + 0.995 (0.015) \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 0.90 (0.016) \text{ kg N concentrados ha}^{-1} + 0.894 (0.04) \text{ kg N forrajes ha}^{-1} - 34.56 (3.74) \text{ Vacas leche ha}^{-1}; \pm 30.8 \text{ r}^2=0.98 \text{ [8]}$$

Con este modelo el error est3ndar del coeficiente de regresi3n de la variable “Vacas de leche ha⁻¹” desciende de 9.87 (Tabla 9) a 3.7 (Tabla 10), debido al descenso del error est3ndar de las estimas de los coeficientes de regresi3n (Tabla 10).

Posiblemente, el signo positivo en el modelo de regresi3n simple y el negativo en el m3ltiple de la variable “Vacas leche ha⁻¹” del modelo [8] no son realmente malos. La naturaleza parcial de los coeficientes de regresi3n causa el signo inverso. El coeficiente de regresi3n de “Vacas leche ha⁻¹” en regresi3n simple (126.5) mide el efecto total de “Vacas leche ha⁻¹” ignorando el contenido de la informaci3n en los “kg de N fertilizantes y el de la alimentaci3n”, como las variables m3s importantes. Cuando el “Surplus ha⁻¹” es calculado en modelos de regresi3n m3ltiple, con las variables independientes (N fertilizantes ha⁻¹, N forraje ha⁻¹, N concentrados ha⁻¹ y Vacas leche

ha⁻¹) el coeficiente de regresi3n toma signo negativo para la variable “Vacas leche ha⁻¹” (-34.56), similar a -37.88 obtenido por Ram3rez (2008). Estos resultados se explican porque -34.56 es un coeficiente de regresi3n parcial; mide el efecto de “Vacas leche ha⁻¹” dado que las dem3s est3n tambi3n en el modelo y son mantenidas constantemente.

Este fen3meno es ilustrado por un ejemplo incluyendo dos variables en el an3lisis de regresi3n: “Vacas leche ha⁻¹” y “Total de inputs ha⁻¹” con buena correlaci3n (Tabla 11).

Tabla 11.- Correlaciones Pearson de la variable dependiente “Surplus N ha⁻¹” y las variables independientes “Total inputs ha⁻¹” y “Vacas leche ha⁻¹”

	Surplus ha ⁻¹	Total inputs ha ⁻¹	Vacas leche ha ⁻¹
Surplus ha ⁻¹	1.0	0.979**	0.593**
Total inputs ha ⁻¹	0.979**	1	0.721**
Vacas leche ha ⁻¹	0.597**	0.721**	1

** P<0.01

El an3lisis de regresi3n m3ltiple entre aquellas dos variables independientes, la “Vacas leche ha⁻¹” adopta signo negativo (Tabla 12).

Tabla 12.- Caracter3sticas de la regresi3n del “Surplus N ha⁻¹” con las variables independientes “Total inputs ha⁻¹” y “Vacas leche ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	9.244*	4.587				
Total inputs ha ⁻¹	0.953***	0.009	1.144	0.48	2.084	
Vacas leche ha ⁻¹	-48.43***	2.243	-0.228	0.80	2.084	
R ² =0.98						
Std de la estima=26.7						
F= 9618***						

* P<0.05; *** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

La cuota l3ctea de la explotaci3n (t⁻¹) presenta un moderado coeficiente de correlaci3n (r=0.58) respecto al “Surplus N ha⁻¹”; r=0.31 “kg N forraje ha⁻¹”; r=0.75 “kg N concentrado ha⁻¹” y r=0.37 “Vacas leche ha⁻¹” (Tabla 2) al incluirla como variable independiente en el modelo [8], el coeficiente no estandarizado resulta significativo (Tabla 13), obteni3ndose un coeficiente de determinaci3n ligeramente superior modelo [8] (r²=0.98) y un menor error est3ndar de la regresi3n:

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 11.8 (5.31) + 1.0 (0.014) \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 0.99 (0.024) \text{ kg N forrajes ha}^{-1} + 0.87 (0.039) \text{ kg N concentrados ha}^{-1} - 40.1 (3.75) \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0,03 \text{ Cuota (0.006)}; \pm 29.5 \text{ r}^2=0.98 \text{ [9]}$$

Tabla 13.- Análisis de regresión múltiple del “Surplus N ha⁻¹” con los kg de N fertilizantes ha⁻¹, “kg N concentrado ha⁻¹”, “kg N forraje ha⁻¹”, “Vacas leche ha⁻¹” y “Cuota t⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	11.80*	5.31				
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	1.00***	0.014	0.586	0.973	1.028	
Concentrados, kg N ha ⁻¹	0.879***	0.039	0.340	0.296	3.379	
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.993***	0.024	0.816	0.173	5.766	
Vacas leche ha ⁻¹	-40.14***	3.75	-0.189	0.210	4.770	
Cuota, t ⁻¹	-0.030***	0.006	-0.070	0.343	2.913	

* P<0.05; *** P<0.001

1.3.1.1. Interpretación de las observaciones

Para mejorar el modelo [9] un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar la bondad del modelo (Tabla 14).

Tabla 14.- Modelo [10] con efecto random “Explotación” modelo [9]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	
	B	Std error	Beta	
Constante	14.86*	7.284		
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	0.985***	0.016	0.639	
Concentrados, kg N ha ⁻¹	1.002***	0.034	0.841	
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.873***	0.049	0.328	
Vacas leche ha ⁻¹	-39.79***	5,216	-0.175	
Cuota, t ⁻¹	-0.037***	0.009	-0.087	
R ² =0.99				
Std de la estima=21.1				
Std residual=22.8				
Nº grupos=84				

* P<0.05; *** P<0.001

Los coeficientes de regresión del modelo [9] y modelo [10] incluyendo el efecto random “explotación” significativamente no cambian y por lo tanto, la interpretación de los modelos [9] y [10] no varía.

1.3.1.2. Interpretación del Modelo [10]

El modelo [10] es:

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 14.86 + 0.985 \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 1.002 \text{ kg N concentrados ha}^{-1} + 0.873 \text{ kg N forrajes ha}^{-1} - 39.79 \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0,037 \text{ Cuota t}^{-1}$$

Coeficientes de regresión no estandarizados

Los coeficientes no estandarizados (Tabla 14) modelo [10] indican que el descenso de 1 kg de N en las variables independientes “kg N fertilizantes ha⁻¹”, “kg N concentrados ha⁻¹” y “kg N forrajes ha⁻¹” causan un declive en la media del “Surplus N ha⁻¹” próximo a 1 kg (0.985; 1.002; 0.873 respectivamente). Las pendientes aquí

obtenidas resultan similares a 1.003 en los fertilizantes y 0.977 kg kg⁻¹ de N para los concentrados señalado por Ramírez (2008) en explotaciones lecheras de Flanders.

El incremento de una vaca leche ha⁻¹ produce un descenso en la media del “Surplus ha⁻¹” de 39.7 kg N ha⁻¹, similar a 37.5 kg de N ha⁻¹ señalado por Ramirez (2008).

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes por la influencia de cada variable en la media del “Surplus N ha⁻¹” y porque el rango de las variables también son diferentes (Tabla 1). Los “kg de N en fertilizantes ha⁻¹” para el modelo [10] tienen un rango de 0 a 220 kg, pero la variable “Vacac lechera ha⁻¹” pasa de 1.05 a 4.84. Los coeficientes no estandarizados no son apropiados para comprar la importancia relativa de las variables.

La magnitud de los coeficientes no estandarizados necesariamente no refleja que la compra de alimentos sea usada más eficientemente por los animales. Sin embargo, pueden reflejar cuando el descenso de N comprado en alimentos es reemplazado por alimentos producidos en la propia explotación.

El coeficiente de “kg N forrajes ha⁻¹”, principalmente alfalfa y paja de cereales de invierno, es menor que “kg N concentrado ha⁻¹”, posiblemente debido al aporte excesivo de concentrados, o a que estos últimos son formulados con contenidos de proteína bruta superiores al requerido por los animales.

Coeficientes de regresión estandarizados (beta)

Los coeficientes estandarizados son más útiles para comparar la importancia relativa de cada variable en el modelo. Los coeficientes beta reflejan los inputs compartidos.

El valor de los coeficientes beta indica el cambio de las desviaciones medias estándar en la variable dependiente “Surplus N ha⁻¹” asociados con un cambio de la desviación estándar en la variable independiente.

Los coeficientes beta están influenciados por las diferentes desviaciones estándar de cada variable. Para las variables medidas en la misma unidad y con un similar coeficiente no estandarizado (kg N fertilizantes ha⁻¹; kg N en concentrados y forrajes ha⁻¹) aquéllas con una alta desviación estándar puede tener un coeficiente beta alto.

Las desviaciones estándar de cada variable del modelo [10] vienen representadas en la Tabla 15, indicando los “kg N concentrado ha⁻¹” con un coeficiente beta más relevante del sistema (0.841). El signo de este coeficiente beta es positivo, lo que corrobora que un incremento de los inputs favorece incrementos en la media del

“Surplus N ha⁻¹”. Este valor es fiel reflejo de los sistemas productivos de leche intensivos, al menos en Cantabria, donde el ganadero prefiere comprar concentrado a fertilizantes nitrogenados. El coeficiente obtenido es el doble que el señalado por Ramírez (2008), atribuido al mayor consumo de concentrado (Tabla 15). Sin embargo, la diferencia en kg ha⁻¹ de N como concentrados en el presente trabajo y el indicado por Ramírez (2008) es del 28.5%. Esta diferencia podría corroborar el mayor aporte de concentrados o un porcentaje superior de proteína en la dieta en las explotaciones de Cantabria.

En conclusión, descensos de N en los concentrados o un menor porcentaje de proteína en los mismos puede reducir el Surplus N ha⁻¹.

Tabla 15.- Desviaciones estándar de cada variable del modelo [10]

	Rango	Mín.	Máx.	Media	Std	Coefficiente Beta	% de los inputs
Concentrados ¹	828	98	926	395	189.8	0.841	63.4
Fertilizantes ¹	923	0	923	41.9	164	0.639	6.72
Forrajes ¹	384	38	422	180.8	84.8	0.328	29.04
Vacas leche ²	3.56	1.1	4.72	2.83	0.99	-0.175	-
Cuota ³	1840	210	2050	817	526	-0.087	-

¹: kg N ha⁻¹; ²: ha⁻¹; ³: t⁻¹

La segunda variable en importancia es “kg N fertilizante ha⁻¹” con un coeficiente beta de 0.639 y signo positivo, corroborando la hipótesis con las expectativas lógicas que un incremento de este inputs causa además un aumento en los outputs, pero menor que el aumento en los inputs, debido a la ineficiencia del sistema de la explotación (suelo y animales), que obstruyen la total transformación de los inputs en outputs.

La tercera variable en importancia es “kg N forraje ha⁻¹” con un coeficiente beta de 0.328, dos veces menor que el procedente de los fertilizantes y signo positivo, que corrobora la hipótesis que un incremento de este input causa además un incremento en la media del “Surplus N ha⁻¹”.

La cuarta y quinta variable “Vacas leche ha⁻¹ y la “Cuota t⁻¹” tienen bajos coeficientes. El signo negativo confirma la hipótesis que un incremento en el número de vacas de leche y cuota el “Surplus N ha⁻¹” desciende.

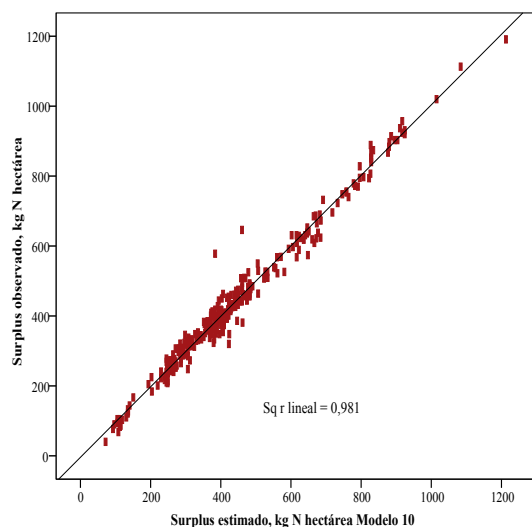
La diferencia en los coeficientes beta de las tres variables “kg N fertilizante ha⁻¹”, “kg N concentrados ha⁻¹” y “kg N forrajes ha⁻¹” son debidas a las diferencias de las desviaciones estándar (porque los coeficientes parciales son prácticamente iguales). Esto se demuestra mediante la comparación de la relación entre los coeficientes beta con la relación de las desviaciones estándar (Tabla 16).

Tabla 16.- Relaci3n de los coeficientes beta y las desviaciones est3andar de las variables independientes del modelo [10]

	Kg N fertilizantes ha ⁻¹ (1)	Kg N concentrados ha ⁻¹ (2)	Kg N forrajes ha ⁻¹ (3)	(1)/(2)	(1)/(3)	(2)/(3)
Coefficientes beta	0.639	0.841	0.328	0.75	1.94	2.56
Desviaci3n est3andar	164	189.9	84.8	0.82	1.93	2.34

La Figura 2 representa la relaci3n entre el “Surplus N ha⁻¹” observado y el obtenido con el modelo [10] incluyendo el efecto random “Explotaci3n”.

Figura 2.- Relaci3n entre el “Surplus N ha⁻¹” observado y el obtenido con el modelo [10] incluyendo el efecto random “Explotaci3n”



1.3.2. Interpretaci3n de los modelos

El modelo [1] es calculado por regresi3n simple del “Surplus ha⁻¹” con la variable independiente “kg N fertilizante ha⁻¹”, porque tiene elevada relevancia sobre el “Surplus ha⁻¹” como se3ala la literatura Aarts *et al.* (1992), Kupiers y Mandersloot (1999), Aarts *et al.* (2000), Van Keulen *et al.* (2000), Ondersteinjn (2002), Ondersteinj *et al.* (2003a), Swensson (2003), Van Beek *et al.* (2003), Steinshamn *et al.* (2004), Verbruggen *et al.* (2004), Nielsen y Kristensen (2005), Nevens *et al.* (2006), Oenema (2006), Vellinga (2006) y Thomassem (2008) y presenta moderada correlaci3n ($r=0.48$, $P<0.01$). El modelo de regresi3n simple incluyendo el N del fertilizante por hect3rea [1] por s3 s3lo, es muy limitado ($r^2=0.23$, ± 185), aunque mejora significativamente cuando se a3aden los “kg N alimenticio ha⁻¹” ($r^2=0.63$, ± 129), modelo [2]; muy similar a $r^2=0.63 \pm 128$ en modelos m3ltiples [3], por subdividir el N alimenticio comprado (concentrados y forraje, kg N ha⁻¹) y $r^2=0.62 \pm 131$ en regresi3n lineal con la variable independiente “kg N concentrado ha⁻¹”, modelo [4]. Este estrecho margen en el coeficiente de determinaci3n es atribuido a la mayor compra de concentrado que forraje,

principalmente alfalfa, con valores medios de 376 ± 173 y 173 ± 81 kg N ha⁻¹ respectivamente, con máximos y mínimos de 932 y 90 kg N ha⁻¹ para los concentrados y 501 y 33 el forraje.

El modelo [5] de regresión múltiple incluye los “**kg N fertilizantes ha⁻¹**” y “**kg N concentrado ha⁻¹**” presenta un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.94$) con menor error estándar de la regresión (± 52.6). Las dos variables presentan un buen coeficiente de correlación ($r=0.48$ y $r=0.78$) respecto al “Surplus ha⁻¹”. Además son fácilmente medibles representando un modelo aceptable para estimar el “Surplus ha⁻¹”. El modelo [6] integrado por las variables independientes “**kg N fertilizantes ha⁻¹**” y “**kg N alimenticio ha⁻¹**” presenta una mejora en el coeficiente de determinación ($r^2=0.97$, ± 35.9) y menor error estándar de la regresión que el modelo [5]. Al añadir al modelo [6] los “**kg N concentrado ha⁻¹**” y “**kg N forraje ha⁻¹**” el modelo resultante [7] no mejora significativamente ($r^2=0.97$, ± 34.9).

El modelo [8] de regresión múltiple del “Surplus ha⁻¹” formado por “**kg N fertilizantes ha⁻¹**” y “**kg N concentrado ha⁻¹**” **kg N forraje ha⁻¹**” y “**Vacas de leche ha⁻¹**” el coeficiente de determinación no sufre modificaciones importantes, pero sí el error estándar de la regresión ± 30.8 . Al incluir la variable independiente “**Cuota lechera ha⁻¹**” se genera el modelo [9] sin grandes diferencias con un coeficiente de determinación $r^2=0.98$ y un error estándar de la regresión de ± 29.5 .

1.3.3. Estimación del Surplus N ha⁻¹ según sistema de producción (*intensivo vs. semiintensivo*)

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Como refleja la Tabla 18 diferencias significativas son observadas entre sistemas de producción para las variables “kg N concentrados ha⁻¹”; “kg N forrajes ha⁻¹” y “Cuota t⁻¹”. La compra de fertilizantes nitrogenados y las vacas de leche por hectárea no son diferentes con valores medios de 32.2 kg ha⁻¹ y 2.78 vacas lecheras ha⁻¹ en los intensivos (Tabla 20) y 29.7 y 2.63 los semiintensivos (Tabla 24). Como cabía esperar, las explotaciones intensivas con superior cuota ($P < 0.001$), son los mayores consumidores de N en forma de concentrados y forrajes ($P < 0.001$).

Tabla 18.- Diferencias significativas de las variables independientes entre los sistemas de producci3n

	Significaci3n sistema producci3n
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	NS
Concentrados, kg N ha ⁻¹	***
Forrajes, kg N ha ⁻¹	***
Vacas leche ha ⁻¹	NS
Cuota, t ⁻¹	***

*** P<0.001, NS: no significativo

El modelo del “Surplus N ha⁻¹” con id3nticas variables independientes del modelo [10] es aceptado como bueno, porque presenta un buen coeficiente de determinaci3n ($r^2=0.98$), bajo error est3ndar de la regresi3n (23.1); los residuos no est3n autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores pr3ximos a 2 considerado como 3ptimo.

Se detecta cierto grado de multicolinealidad en la variable “Vacas leche ha⁻¹” respecto a “kg N concentrado ha⁻¹” y “kg N forraje ha⁻¹”, pero en ning3n caso la inflaci3n de la varianza (FIV) es superior a 10. Adem3s, el valor pronosticado t3pico de los residuos es 0 y su desviaci3n t3pica es 1.0.

Tabla 19.- Estimaci3n del “Surplus N ha⁻¹” en los sistemas *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	12.07*	5.06				
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	1.002***	0.014	0.598	0.939	1.06	
Concentrados, kg N ha ⁻¹	1.027***	0.021	0.913	0.200	4.99	
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.965***	0.039	0.398	0.254	3.94	
Vacas leche ha ⁻¹	-55.38***	3.84	-0.294	0.16	6.23	
Cuota, t ⁻¹	-0.022***	0.005	-0.056	0.407	2.45	
R ² =0.98						
Std de la estima=23.1						
Durbin-Watson=1.94						
N=207						

* P<0.05; *** P<0.001

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = 12.07 + 1.002 \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 1.027 \text{ kg N concentrados ha}^{-1} + 0.965 \text{ kg N forrajes ha}^{-1} - 55.38 \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0.022 \text{ Cuota t}^{-1}$$

Tabla 20.- Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo intensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	207	0	1028	32.2	117.9	13910
Concentrados, kg N ha ⁻¹	207	130	932	427.8	175.6	30837
Forrajes, kg N ha ⁻¹	207	75	501	187.6	81.4	6641
Vacas leche ha ⁻¹	207	1.05	4.84	2.78	1.04	1.09
Cuota, t ⁻¹	207	365	2050	944.8	493.9	244028

El modelo [10] “Surplus N ha⁻¹” en los semiintensivos, resulta menos efectivo que en los intensivos, si bien presenta un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.96$), mayor dispersión (35.1, Tabla 21) y el estadístico de Durbin-Watson próximo a 2, como óptimo. Este modelo presenta multicolinealidad, es decir, hay dependencia lineal entre las variables regresoras para las variables “kg N forrajes ha⁻¹” y “Vacas leche ha⁻¹”, como se desprende del análisis de correlación Tabla 22. Además el diagnóstico de colinealidad FIV es superior a 10, considerado como valor de referencia, lo que distorsiona el modelo, dando lugar a valores de B grandes, incluso cambiarlos de signo (Tabla 21). Por lo tanto desaparece la variable “Vacas leche ha⁻¹” del modelo “Surplus N ha⁻¹” porque aporta mayor proporción de la varianza. Los resultados del modelo vienen representados en la (Tabla 23), donde el coeficiente de determinación ($r^2=0.96$) no sufre grandes variaciones respecto al de la Tabla 21, aunque sí incrementa 2.19 puntos la desviación estándar de la regresión, pero eliminamos el problema de la multicolinealidad manifestado en el modelo de la Tabla 21, donde el valor la FIV disminuye de todas las variables independientes por debajo de 10 y el valor pronosticado típico de los residuos es 0 y 1.0 su desviación típica.

Tabla 21.- Estimación del “Surplus N ha⁻¹” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-15.18 ^{NS}	19.90				
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	0.983***	0.028	0.704	0.99	1.00	
Concentrados, kg N ha ⁻¹	1.156***	0.120	0.588	0.104	9.65	
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.878***	0.167	0.334	0.096	10.3	
Vacas leche ha ⁻¹	-45.01***	16.13	-0.204	0.072	13.8	
Cuota, t ⁻¹	-0.014 ^{NS}	0.050	-0.011	0.283	3.53	
R ² =0.96						
Std de la estima=35.1						
Durbin-Watson=1.75						
N=92						

*** P<0.001; NS: no significativo

Tabla 22.- Análisis de correlación Pearson entre las variables independientes

	Fertilizantes	Concentrado	Forraje	Vacas	Cuota
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	1				
Concentrados, kg N ha ⁻¹	NS	1			
Forrajes, kg N ha ⁻¹	NS	0.832**	1		
Vacas leche ha ⁻¹	NS	0.947**	0.872**	1	
Cuota, t ⁻¹	NS	0.526**	0.792**	0.544**	1

** P<0.01

Tabla 23.- Estimación del “Surplus N ha⁻¹” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	-48.58***	16.50			
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	0.978***	0.029	0.700	0.999	1.01
Concentrados, kg N ha ⁻¹	0.895***	0.079	0.456	0.261	3.83
Forrajes, kg N ha ⁻¹	0.632***	0.147	0.24	0.134	7.45
Cuota, t ⁻¹	0.030 ^{NS}	0.049	0.022	0.315	3.17
R ² =0.96					
Std de la estima=37.2					
Durbin-Watson=1.81					
N=92					

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Surplus N, ha}^{-1} = -48.58 + 0.978 \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 0.895 \text{ kg N concentrados ha}^{-1} + 0.632 \text{ kg N forrajes ha}^{-1} + 0,030 \text{ Cuota t}^{-1}$$

Tabla 24.- Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	92	0	923	29.7	137	18776
Concentrados, kg N ha ⁻¹	92	90	435	260.1	97.3	9486
Forrajes, kg N ha ⁻¹	92	33	294	140.4	72.7	5299
Vacas leche ha ⁻¹	92	1.21	4.5	2.63	0.86	0.753
Cuota, t ⁻¹	92	210	566	395	142	20167

1.3.4. Demostración agronómica del signo de la variable “Vacas leche ha⁻¹”

De las cinco variables más importantes del modelo [10], pero de menor relevancia, es “Vacas leche ha⁻¹” con un coeficiente beta de -0.175, menor que 0.328 “kg N forrajes ha⁻¹” (Tabla 15). Esto significa que cuanto mayor sea el número de vacas lecheras por hectárea y manteniendo constante el resto de las variables, menor será el “Surplus N ha⁻¹”. Cuando aumenta el número de animales en ordeño (manteniendo constante los inputs), la producción total de N en leche y el excretado (heces y orina) incrementa pero el “Surplus N ha⁻¹” disminuye.

Esto ocurre en un intervalo limitado de vacas lecheras por hectárea. Si éstas aumentan por encima de un valor máximo, los input de alimento por animal disminuyen sobre un mínimo aceptable y menor producción de leche por vaca. Cuando los animales son alimentados correctamente o por encima de sus necesidades, un ligero descenso en

el consumo de alimento puede causar menor producción de leche por vaca en las primeras y un pequeño o nulo descenso las segundas. Estas afirmaciones están basadas en las curvas de producción de vacas lecheras señaladas por (Dou *et al.*, 1996; Kohn *et al.*, 1997; Kebreab *et al.*, 2001; Kebreab *et al.*, 2002; Woods *et al.*, 2003). No obstante, puede ocurrir que en vacas sobrealimentadas, la digestibilidad del N disminuye, como consecuencia del aumento en la tasa de paso hacia el retículo-rumen, favoreciendo un mayor contenido de N excretado en heces, por aumentos de concentración (Salcedo, 2006).

Salcedo y Martínez-Suller (sp), proponen una ecuación para estimar los inputs de N en leche a partir del N ingerido vaca y día del tipo:

$$g \text{ N leche vaca}^{-1} \text{ y día} = 65.9 + 0.16 g \text{ de N ingerido vaca y día}; \pm 0.16 r^2=0.28 \text{ [1]}$$

La pendiente de esta ecuación difiere en -0.03 g de N en leche por g de N ingerido a la indicada por Kebreab *et al.* (2001):

$$g \text{ N leche vaca}^{-1} \text{ y día} = 38.2 + 0.19 g \text{ de N ingerido vaca y día}; \pm 26 r^2=0.28$$

El rango de ingestión de N (g vaca y día) en el presente trabajo varía de 360 a 913 g.

La eficiencia de la vaca (Ef, %) es:

$$\text{Eficiencia, \%} = \frac{g \text{ de N leche vaca y día}}{g \text{ de N consumido vaca y día}} \times 100$$

Sustituyendo los g de N en leche vaca y día de la fórmula [1]:

$$\text{Eficiencia, \%} = \frac{65,94}{g \text{ de N consumido vaca y día}} \times 100$$

La definición de Surplus es:

$$\text{Surplus} = \text{Input} - \text{Output}$$

Dos escenarios diferentes son testados:

Escenario 1: El consumo de N total para las vacas de ordeño es fijo como input₁ y alimento a n₁ vacas.

$$\text{Surplus} = \text{Input} - \text{Output}$$

Output₁ es:

$$\text{Output}_1 = \text{Leche Output}_1 + \text{Carne Output}_1 + \text{Cultivos Output}_1$$

Leche Output₁ es:

$$\text{Leche Output}_1 = \text{Producción de N total de la leche}_1$$

$$\text{Leche Output}_1 = n_1 \times \text{Producción de N total de la leche por vaca}^{-1}_1$$

donde n₁ es el número de vacas.

Producci3n de N total de la leche por vaca⁻¹₁ = N ingerido *vaca*⁻¹₁ x 0.16 + 65.94

$$N \text{ consumido vaca} = \frac{N \text{ alimenticio total input}_1}{n_1}$$

$$N \text{ producido por vaca} = \frac{N \text{ alimenticio total input}_1}{n_1} \times 0.16 + 65.94$$

Escenario 2: El consumo total de N es constante = input₁ N alimenticio y el n3mero de vacas incrementa a n₂.

$$Surplus_2 = Input_1 - Output_2$$

Output₂ es:

$$Output_2 = Leche Output_2 + Carne Output_2 + Cultivos Output_2$$

Leche Output₁ es:

$$Leche Output_2 = Producci3n de N total de la leche_2$$

$$Leche Output_2 = n_2 \times Producci3n de N total de la leche por vaca-1$$

donde n₁ es el n3mero de vacas.

Producci3n de N total de la leche por vaca⁻¹₂ = N ingerido *vaca*⁻¹₂ x 0.16 + 65.94

$$N \text{ consumido vaca} = \frac{N \text{ alimenticio total input}_1}{n_1}$$

$$N \text{ producido por vaca} = \frac{N \text{ alimenticio total input}_2}{n_2} \times 0.16 + 65.94$$

Para comprobar la veracidad de la hip3tesis es procesado como sigue:

$$Surplus_1 > Surplus_2$$

$$Input_1 - Output_1 > Input_1 - Output_2$$

$$Output_1 > Output_2$$

$$Producci3n \text{ total de N en leche}_1 > Producci3n \text{ total de N en leche}_2$$

$$n_1 \times \text{producci3n total de N en leche vaca}_1 > n_2 \times \text{producci3n total de N en leche vaca}_1$$

$$n_1 \times \left[\frac{N \text{ total input}_1}{n_1} \times 0.16 + 65.94 \right] < n_2 \times \left[\frac{N \text{ total input}_2}{n_2} \times 0.16 + 65.94 \right]$$

$$Total N input_1 \text{ alimentos} \times 0.16 + 65.94 \times n_1 < Total N input_1 \text{ alimentos} \times 0.16 + 65.94 \times n_2$$

$$n_1 < n_2$$

que prueba la veracidad de los resultados.

El t3rmino de la izquierda de la ecuaci3n es siempre menor que el t3rmino de la derecha de la ecuaci3n, porque el n3mero de vacas en el escenario 2 incrementa respecto al escenario 1.

Concluimos con un ejemplo: dos escenarios con diferente n3mero de vacas e input de N alimenticio constante son seleccionados.

Chequeamos que la suma de la producción de N en leche con la adición de vacas es más alta que la suma del descenso de N producido de la leche por vaca:

Escenario 1: el número de vacas y el consumo de N (kg d^{-1}) es la media del bienio 2007-2008, corresponde al valor observado en los modelos intensivos y semiintensivos. La producción de N en leche (kg d^{-1}) es estimada a partir de la ecuación [1] propuesta por Salcedo y Martínez-Suller (sp). La superficie total y el Surplus N ha^{-1} son de 35.5 ha^{-1} y 499 kg N los intensivos y 20.7 ha^{-1} y 314 kg N los semiintensivos. El N total excretado en heces y orina (kg d^{-1}) calculado como la diferencia entre el $N_{\text{ingerido}} - N_{\text{leche}}$, asumiendo que los animales no cambian de peso.

Escenario 2: en este escenario se ha incrementado un 2% el número de vacas respecto al anterior.

El consumo de N vaca y día (kg) corresponde al del escenario 1. Los kg de N total (kg de N total por día \times nº vacas) se ha dividido entre el número de vacas (+2%). La producción total de N leche (kg d^{-1}) se estimó a partir de la ecuación [1] por el número de vacas del escenario 2 en cada sistema de producción.

La diferencia en producción de leche dentro de cada sistema se obtiene restando la del escenario 1 al 2 (Tabla 25).

Tabla 25.- Diferencia de producción de N en leche y total excretado en heces y orina de los sistemas intensivos vs. semiintensivos en ambos escenarios

	Número vacas	N consumido, kg vaca y día	N leche, kg vaca y día	Input N alimenticio kg día	Output N leche kg día	N total excretado, kg día
Intensivos						
Escenario 1	90	0.585	0.159	55.6	14.3	33.8
Escenario 2	91	0.579	0.159	52.6	14.4	38.8
Semiintensivos						
Escenario 1	53	0.585	0.159	31	8.46	19.9
Escenario 2	54	0.574	0.159	31	8.52	19.9

El porcentaje de esta diferencia en el total del Surplus ha^{-1} y año es calculado en base a la media del Surplus ha^{-1} dentro de cada sistema de producción y escenario. Incrementos de 1 vaca en los intensivos y semiintensivos, representa aumentos de 0.72 y 1.05 kg N por ha^{-1} y año respectivamente en la producción anual. Estos valores representan descensos en el Surplus por hectárea y año de 0.146% en los intensivos y 0.124% los semiintensivos (Tablas 26 y 27).

Salcedo (2006), propone una ecuación lineal para calcular el N total excretado (heces + orina) del tipo:

$$N_{\text{heces + orina}} (\text{g vaca día}) = -21.5 + 0.68 (N_{\text{ingerido}}, \text{g d}^{-1}); \pm 47.3 \text{ } r^2 = 0.72$$

La suma de N excretado en heces y orina para los escenarios 1 y 2 en ambos sistemas de producción, resulta similar al obtenido por la ecuación señalada por Salcedo (2006) de 33.86 y 33.85 para los intensivos y 19.94 y 19.92 los semiintensivos respectivamente (Tabla 25).

 **Tabla 26.-** Sistemas intensivos

<i>Sistemas intensivos</i>	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
Nº vacas	90			90			90		
N ingerido, kg vaca día	0.585			0.735			0.435		
N producido leche, kg vaca día	0.159			0.183			0.135		
N total ingerido, kg día	52.65			66.15			39.15		
N total leche, kg día	14.36			16.52			12.2		
N excretado, kg vaca día	0.376			0.478			0.274		
N total excretado, (H+O) kg día	33.86			43.04			24.68		
Surplus, kg N ha ⁻¹	499			499			499		
Superficie, ha ⁻¹	35.5			35.5			35.5		
	Escenario			Escenario			Escenario		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Nº vacas	91	96	101	91	96	101	91	96	101
N ingerido, kg vaca día	0.579	0.548	0.521	0.727	0.689	0.655	0.43	0.408	0.388
N producido leche, kg vaca día	0.159	0.154	0.149	0.182	0.176	0.171	0.135	0.131	0.128
N total leche, kg día	14.43	14.75	15.08	16.59	16.91	17.24	12.26	12.6	12.93
N excretado, kg vaca día	0.372	0.351	0.333	0.473	0.447	0.424	0.271	0.256	0.242
N total excretado, (H+O) kg día	33.85	33.74	33.63	43.03	42.92	42.81	24.67	24.56	24.45
Diferencia N total leche, kg día	0.07	0.39	0.72	0.07	0.39	0.72	0.06	0.40	0.73
Dif. Outputs kg N leche, año	25.8	141.4	262.5	23.9	143.5	264.5	22.3	144.9	266.4
% del surplus	0.146	0.798	1.482	0.135	0.81	1.493	0.126	0.818	1.504
Dif. N total excretado, kg año	-0.022	-0.129	-0.236	-0.021	-0.129	-0.236	-0.022	-0.129	-0.236

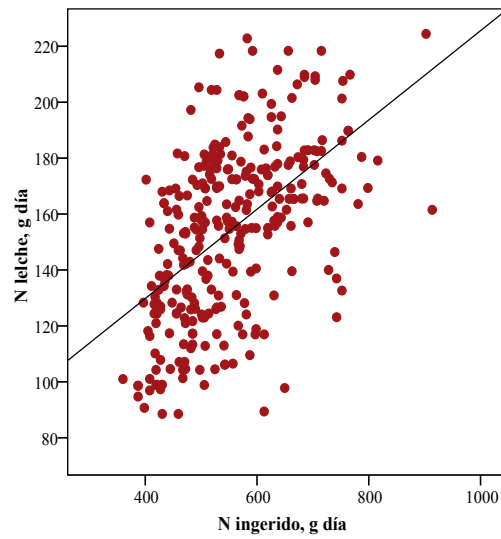
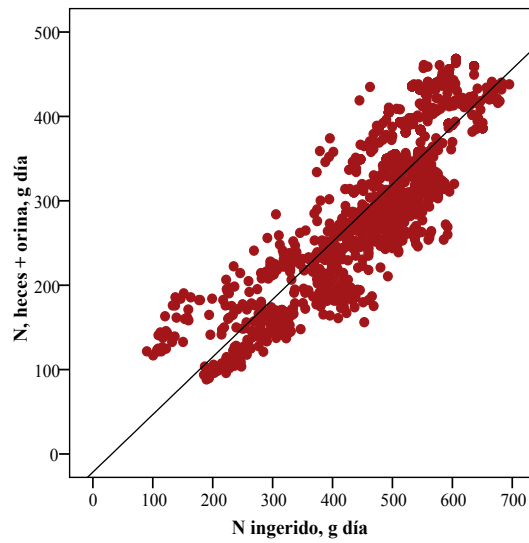
H: heces; **O:** orina

Tabla 27.- Sistemas semiintensivos

<i>Sistemas semiintensivos</i>	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
Nº vacas	53			53			53		
N ingerido, kg vaca día	0.585			0.735			0.435		
N producido leche, kg vaca día	0.159			0.183			0.135		
N total ingerido, kg día	31.0			38.95			23.05		
N total leche, kg día	8.46			9.73			7.18		
N excretado, kg vaca día	0.376			0.478			0.274		
N total excretado, (H+O) kg día	19.94			25.34			14.53		
Surplus, kg N ha ⁻¹	314			314			314		
Superficie, ha ⁻¹	20.7			20.7			20.7		
	Escenario			Escenario			Escenario		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Nº vacas	54	58	62	54	58	62	54	58	62
N ingerido, kg vaca día	0.574	0.534	0.500	0.721	0.672	0.628	0.427	0.397	0.372
N producido leche, kg vaca día	0.158	0.151	0.146	0.181	0.173	0.166	0.134	0.129	0.125
N total leche, kg día	8.52	8.78	9.05	9.79	10.06	10.32	7.25	7.51	7.78
N excretado, kg vaca día	0.369	0.342	0.319	0.469	0.435	0.406	0.269	0.249	0.231
N total excretado, (H+O) kg día	19.92	19.83	19.75	25.33	25.24	25.15	14.51	14.43	14.34
Diferencia N total leche, kg día	0.06	0.32	0.59	0.06	0.33	0.59	0.07	0.33	0.60
Dif. Outputs kg N leche, año	21.94	116.8	214.7	21.9	120.7	214.6	25.5	119.9	218.4
% del surplus	0.124	0.659	1.21	0.12	0.68	1.21	0.14	0.67	1.23
Dif. N total excretado, kg año	-0.021	-0.107	-0.193	-0.025	-0.111	-0.197	-0.017	-0.103	-0.189

H: heces; **O:** orina

Figura 3.- Relaciones entre el N total ingerido y el excretado en heces y orina (Salcedo, 2006) y N de la leche en g d^{-1} (Salcedo y Martínez-Suller, sp)



El incremento del número de vacas compensa el descenso en la producción de N por vaca y año. Los ejemplos de las Tablas 26 y 27 ilustran el aumento de una vaca favorece la producción de 25.8 kg de N por año y 21.9 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente; reduciéndose la media del Surplus N ha⁻¹ en 0.146 y 0.124%.

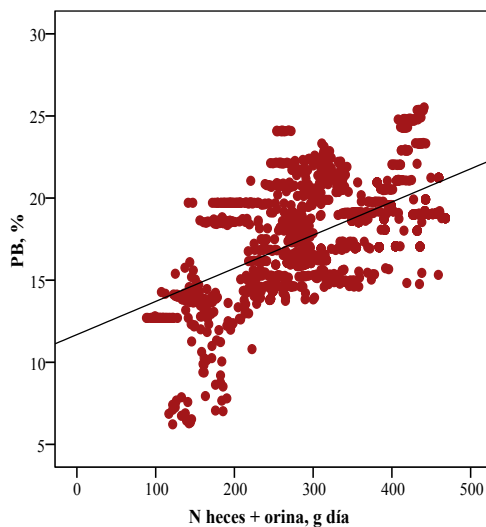
Incrementando el número de vacas de 90 a 96 en los intensivos y de 53 a 58 los semiintensivos, la producción de N en leche aumenta 142.3 y 116.8 kg de N año⁻¹, y se reduce la media del “Surplus N ha⁻¹” 0.79 y 0.65% respectivamente (Tablas 26 y 27). En conclusión, aumentando el número de vacas para incrementar la producción total de N (y reducir la excreción total) con ánimo de disminuir el Surplus ha⁻¹, ofrece pequeña ventaja en las explotaciones de baja carga ganadera o en explotaciones con alto consumo de N por vaca. Esto es válido si el consumo de N permanece constante al aumento del número de vacas de leche.

En dietas de bajo contenido proteico el “Surplus N ha⁻¹” decrece. Esto está en línea con las investigaciones de Oenema (2006), quien señala que la minimización de las pérdidas de N en los sistemas de producción animal puede conseguirse con sólo reducir el porcentaje de proteína de las dietas en los sistemas intensivos. Estas afirmaciones fueron corroboradas por Salcedo (2006) (Figura 4), señalando mejoras de +0.45 g N heces + orina por gramo de N ingerido en dietas con menos de 15% de proteína y +0.806 con porcentajes superiores al 15%, según las ecuaciones:

$$< 15\% PB = 40.8 + 0.495 N_{\text{ingerido}} (\text{g } d^{-1}); \pm 42.5 r^2=0.62$$

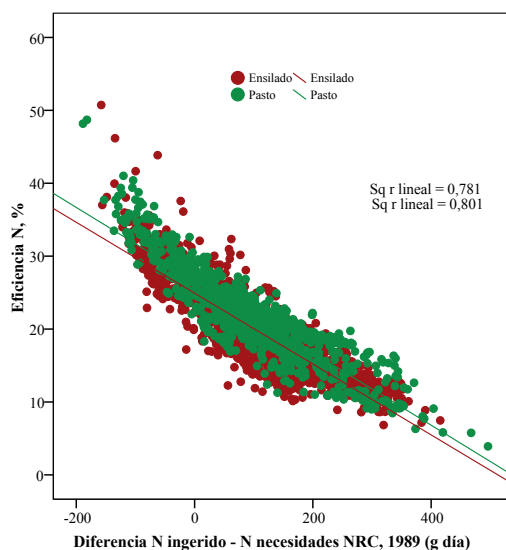
$$> 15\% PB = -84.9 + 0.806 N_{\text{ingerido}} (\text{g } d^{-1}); \pm 46.3 r^2=0.64$$

Figura 4.- Estimación del N heces y orina a partir del contenido proteico de las dietas en vacas lecheras a pastoreo y ensilados con mínimo aporte de concentrado, (Salcedo, 2006)



La utilización del N (como el porcentaje de N en leche respecto al ingerido), mejora cuando se reduce el consumo de N (Figura 5).

Figura 5.- Eficiencia de utilización del N, (Salcedo, 2006)

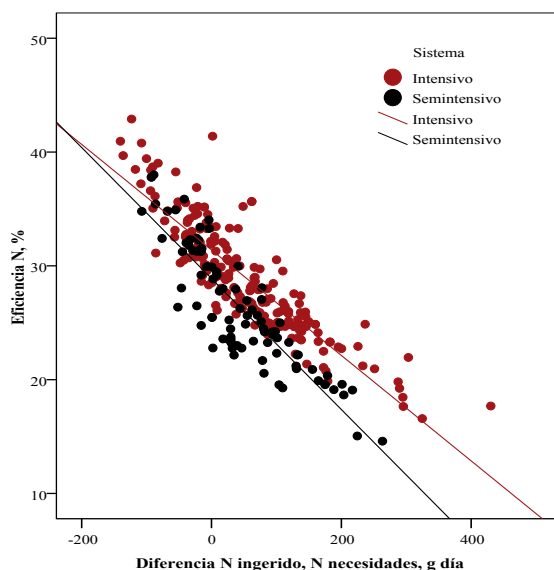


$$\text{Eficiencia dietas ensilados, \%} = 24.8 - 0.049 \text{ Dif N (g d}^{-1}\text{)}; r^2=0.78 \text{ n} =1663$$

$$\text{Eficiencia dietas pastoreo, \%} = 26.6 - 0.050 \text{ Dif N (g d}^{-1}\text{)}; r^2=0.80 \text{ n} =1053$$

La Figura 6 señala el coeficiente de utilización del N en dietas intensivas y semiintensivas (Salcedo y Martínez-Suller, sp), coincidiendo la máxima eficiencia, cuando el N ingerido es similar con las necesidades.

Figura 6.- Eficiencia de utilización del N, (Salcedo y Martínez-Suller, sp)

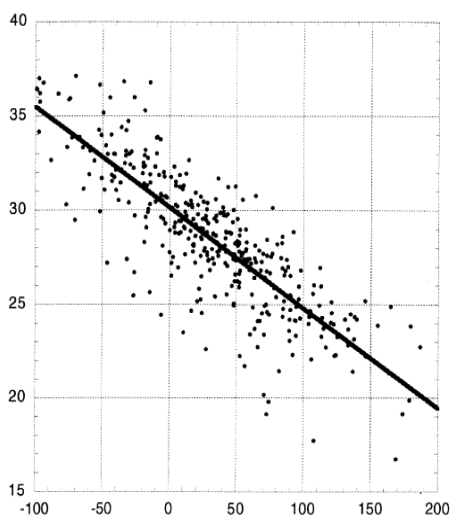


$$\text{Eficiencia Intensivas, \%} = 31.4 - 0.046 \text{ Dif N (g d}^{-1}\text{); } r^2=0.78 \text{ n} =207$$

$$\text{Eficiencia dietas pastoreo, \%} = 28.8 - 0.058 \text{ Dif N (g d}^{-1}\text{); } r^2=0.77 \text{ n} =92$$

Las pendientes obtenidas por Salcedo (2006) en dietas a pastoreo o ensilados con mínimo aporte de concentrado (-0.049 y -0.05 g g⁻¹); Salcedo y Martínez-Suller (sp) en explotaciones lecheras intensivas y semiintensivas de Cantabria (-0.046 y -0.058 g g⁻¹) y las de Jonker *et al.* (2002) (Figura 7) en dietas intensivas de -0.053 g g⁻¹ resultan similares entre sí. Estos valores señalan que aumentar el consumo de N por encima de las necesidades nitrogenadas de las vacas, la eficiencia disminuye, lo que cabe pensar en un aumento del Surplus ha⁻¹.

Figura 7.- Eficiencia de utilización del N en sistemas intensivos (Jonker *et al.*, 2002)



$$\text{Eficiencia dietas intensivas, \%} = 30 - 0.053 \text{ Dif N (g d}^{-1}\text{); } r^2=0.76$$

La pregunta es: *¿cuántas vacas pueden incrementarse sin poner en peligro el mínimo consumo de 0.435 kg N d⁻¹?* Un incremento potencial en el número de vacas depende del número inicial y los kilogramos de consumo por vaca y día. En situaciones con elevado número de vacas e ingestión de N, la inclusión de una vaca extra en ambos sistemas (intensivo y semiintensivo), no afecta al consumo de todas, pero sí se reduce el N excretado (Tablas 26 y 27). La ecuación que define este concepto es:

$$\text{Máximo incremento en el N}^\circ \text{ vacas} = \text{N}^\circ \text{ inicial de vacas} \times (\text{N ingerido vaca y día}) \times 0.435$$

donde: $[\text{N}^\circ \text{ inicial de vacas} \times (\text{N consumido vaca y día} - 0.435)]$ en kilogramos de N día es la suma total de kg de N día que puede rebajarse el consumo de todas las vacas. Esto se divide entre 0.435 kg de N vaca y día con el fin de conocer cuantas vacas pueden alimentarse con esta cantidad de N, de tal manera que todas se alimenten con un mínimo de 0.435 kg de N día.

El número máximo de vacas es transformado en unidades de ganado¹ con la siguiente ecuación:

Máximo incremento en Unidades de ganado vacas lecheras=

$$\left[1 + \frac{\text{Producción leche vaca, kg} - 4000^1}{1000} \times 0.1 \right]$$

Con este nuevo cálculo de las unidades de ganado introducidas, puede cargarse al modelo 10 en función de si la explotación es intensiva o semiintensiva.

¹ Unidad de ganado mayor representa una vaca de leche que produce 4000 kilogramos de leche. Para incrementos de 1000 kg sumar 0.1.



2. Modelizado de la “Eficiencia N”

2.1. Introducción

2.1.1. Factores que afectan a la eficiencia de utilización del N en vacas lecheras

En la Cornisa Cantábrica, la hierba verde, los ensilados de hierba y maíz constituyen el alimento mayoritario en las dietas del ganado vacuno. La calidad del forraje en términos de proteína, y de su proporción de proteína verdadera y nitrógeno no proteico (NNP) presenta una buena relación en la utilización eficiente de las fracciones nitrogenadas. En forrajes verdes, la proteína verdadera representa del 75 al 90% del N total, sin embargo durante los procesos de ensilado del 45 al 60% del N es degradado a NNP (Woolford, 1984). Prácticas de manejo en las praderas como fertilización nitrogenada y estado de madurez a la recolección, modifican la relación proteína verdadera ÷ NNP, su degradabilidad y la concentración de carbohidratos solubles en agua (Peyraud *et al.*, 1997). Una elevada proporción de la proteína que llega al rumen es degradada a NNP e incorporada como proteína microbiana, representando una baja eficiencia.

La suplementación con concentrados amiláceos o fibrosos también influye sobre la degradación del N en rumen, incrementándose desde 17% a 30% en las vacas lecheras alimentadas con ensilados o hierba verde (Valk *et al.*, 1990).

Otra de las causas de la baja eficiencia en las explotaciones lecheras es la proporción y distribución en el tiempo de los *fertilizantes nitrogenados* a los cultivos forrajeros. La aplicación de éstos últimos incrementa la degradabilidad ruminal del N y reduce la concentración de carbohidratos solubles en agua (Peyraud y Astigarraga, 1998). Van Vuuren *et al.* (1992) demuestran mayores concentraciones de amoníaco ruminal y concentraciones de urea en sangre a dosis altas de N (Astigarraga *et al.*, 1993) en animales son alimentados con hierba fertilizada a base de 500 kg N ha⁻¹ en lugar de 275 kg. La mayor proporción de N es eliminada a través de la orina. La posibilidad de convertir N en proteína por los microorganismos ruminales es baja, de ahí la menor eficiencia al incrementar la dosis de fertilizantes nitrogenados. Elevados aportes de N a la hierba, incrementa la concentración de proteína, pero disminuye la concentración de carbohidratos solubles en agua, reduciéndose aún más la eficiencia en la utilización del N alimenticio.

Beever y Siddons (1986) sugieren que las pérdidas de N procedentes de la absorción de amoníaco desde el rumen son consecuencia del desequilibrio existente

entre las tasas de degradación del N de la hierba y la producción de energía de la materia orgánica. Numerosas investigaciones se han desarrollado para estudiar el efecto de alimentar con raigrás inglés a diferentes concentraciones de carbohidratos solubles en agua, tanto sobre la producción como en el contenido de proteína de la leche (Miller *et al.*, 2001b). Los resultados de aquellas investigaciones sugieren que la eficiencia en la utilización del N incrementa por encima del 7% respecto a la variedad control de raigrás inglés y la eficiencia media en conjunto para la producción de leche es mayor del 37%, cuando se suministran carbohidratos solubles. En condiciones *in vivo* Lee *et al.* (2002b) e *in vitro* (Miller *et al.*, 2001b; Lee *et al.*, 2002a), demuestran que la incubación de hierbas con altas concentraciones de carbohidratos solubles en agua produce menos amoníaco e incrementa la producción de ácido propiónico en rumen, comparado con el control sólo hierba.

Se han observado *variaciones diurnas* en la concentración de carbohidratos solubles en agua de la hierba, mayores al atardecer, debido al mayor tiempo de actividad fotosintética. En este sentido, Orr *et al.* (2001) presentan incrementos del 5% en la producción de leche cuando las vacas pastan por la tarde respecto a la mañana, posiblemente debido a un aumento en el contenido de carbohidratos solubles en agua.

En los ensilados, la eficiencia de utilización del N es el resultado de las reacciones proteolíticas y desaminación de la proteína verdadera del forraje acaecidas durante los procesos de fermentación, tales como la formación de amoníaco y aminoácidos libres principalmente. Incrementos de NNP originan aumentos en la degradabilidad ruminal del N, comparado con el material fresco (Keady y Murphy, 1998; Van Straalen *et al.*, 1993). La eficiencia de utilización del N disminuye del 21% para consumos de hierba verde al 18% en forma de ensilado; por el contrario, cuando se añade carbohidratos fermentables como la sacarosa a dietas basadas en ensilados de hierba, la eficiencia y la producción proteína en leche aumenta también; atribuido a un mayor suministro de proteína microbiana llegada al intestino delgado.

Los efectos de la *suplementación* en la mejora de la eficiencia de utilización del N, están bien documentados. Por ejemplo, la adición de proteína incrementa a menudo la producción de NNP en leche pero no la eficiencia. En experimentos con vacas en pastoreo recibiendo suplementación extra de 2 kg de soja, la producción de N en leche se incrementa ligeramente debido al aumento de leche, aunque la eficiencia de utilización del N disminuye alrededor del 6%, y esta reducción es el resultado de más N excretado en orina (Astigarraga *et al.*, 1993; Delagarde *et al.*, 1997).

Similares efectos son observados cuando las vacas se alimentan con ensilados de hierba, suplementadas a diferentes niveles de proteína y degradabilidad ruminal, donde la eficiencia de utilización del N disminuye al incrementarlas, sin efectos sobre la producción o contenido proteico de la leche, pese al mayor aumento en el flujo de proteína no degradable llegada al intestino (Castillo *et al.*, 2000a). La revisión de Santos *et al.* (1998) concluye que incrementos en las concentraciones de proteína no degradable tienen escaso efecto en la producción, especialmente cuando existe escasez de proteína degradable en rumen. Raciones a base de ensilados de hierba con elevados porcentajes de N, el suministro de fuentes adicionales de carbohidratos mejora la eficiencia de utilización del N (Keady *et al.*, 1998; Reynolds *et al.*, 2001; Valk, 1994).

La eficiente captura del N de la dieta y la síntesis de proteína microbiana requiere un suministro adecuado de N y energía. Cuando son escasos o se encuentran en desequilibrio, las pérdidas de amoníaco ruminal y urea en orina son inevitables. En experimentos con vacas en pastoreo (Kolver *et al.*, 1998), comparan dietas sincrónicas y asincrónicas, obteniéndose pequeñas diferencias en la utilización del N y producción de leche, pero la concentración de urea en sangre es superior en las vacas alimentadas con dietas asincrónicas.

En condiciones *in vivo* e *in vitro* (Annison, 1970; Hume *et al.*, 1970; Satter y Slyter, 1974; Mercer y Annison, 1976; Mehrez *et al.*, 1977; Rooke *et al.*, 1987) sugieren que concentraciones de amoníaco superiores a 470 mg L^{-1} de líquido ruminal, pueden limitar la síntesis de proteína microbiana. Por su parte, Kanjanapruthipong y Leng (1998) indican eficiencias de proteína microbiana mayores al 47% cuando la concentración de amoníaco es superior a $200 \text{ mg de N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$. En cualquier caso, una mínima concentración de amoníaco en rumen es necesaria, puesto que la proteína microbiana contribuye significativamente al suministro total de proteína al animal. En este sentido, Satter y Slyter (1974) concluyen que la actividad celulolítica del rumen se paraliza a concentraciones inferiores a $50 \text{ mg de N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ de líquido ruminal, debido a las estrechas relaciones entre la disponibilidad de N y energía en el rumen, en definitiva la población microbiana es quien gobierna la disponibilidad en convertir N a proteína microbiana.

El uso de *suplementos* que mejoren la eficiencia de utilización del N en dietas con forraje, resulta de actuaciones como: a) optimizar la sincronía entre los aportes de energía y proteína en el rumen; b) incrementar el suministro de glucosa postruminal; c) reducir el contenido de nitrógeno; d) mejorar los forrajes conservados (ricos en N

soluble) con la adición de conservantes como el ácido fórmico, bacterias lácticas, o bien el presecado del forraje.

Múltiples ecuaciones han sido publicadas (Valk *et al.*, 1990; Valk Hobbelink, 1992; Astigarraga *et al.*, 1993; Van Vuuren, 1993; Valk, 1994; Petit Tremblay, 1995; Delagarde *et al.*, 1997; Peyraud *et al.*, 1997; Keady *et al.*, 1998; Keady Murphy, 1998; Aston *et al.*, 1998; Kolver *et al.*, 1998; Moorby y Theobald, 1999; Castillo *et al.*, 2000b; Castillo *et al.*, 2000a; Kebreab *et al.*, 2000; Reynolds *et al.*, 2001; Miller *et al.*, 2001a; Miller *et al.*, 2001b; Kebreab *et al.*, 2001; Moorby *et al.*, 2001; Salcedo, 2006) que relacionan la eficiencia de utilización del N con el ingerido y el excretado en orina. Las ecuaciones obtenidas a partir de la bibliografía anteriormente descrita son del tipo:

$$\text{Eficiencia (\%)} = 37.1 + 0.00048 N_i (\text{g } d^{-1}) \pm 3.98 \text{ } r^2=0.59$$

$$\text{Eficiencia (\%)} = 37.1 - 0.058 N_o (\text{g } d^{-1}) \pm 3.98 \text{ } r^2=0.59$$

siendo: N_i : N ingerido y N_o : N orina

La constante de la ecuación indica eficiencias teóricas máximas próximas al 40%; el 60% restante representa las pérdidas obligadas a través de proteína ingerida. En condiciones experimentales, el suministro de glucosa postruminal se realiza mediante infusiones intragástricas de precursores glucogénicos o glucosa. En la práctica, el suministro de almidón al intestino delgado está influenciado por varios factores, como la fuente, estado de madurez del forraje y procesado del suplemento. La resistencia a la degradación del almidón en los ensilados de maíz es una consecuencia del estado avanzado de madurez, demostrando un alto fraccionamiento del N con incremento en el contenido de N en leche y descensos de N en orina (Cammell *et al.*, 2000a). Por su parte, Sutton *et al.* (1998) y Abadía *et al.* (1999) observan en vacas lecheras alimentadas con forraje de trigo incrementos de almidón al duodeno, pero un procesado insuficiente durante el ensilado da lugar a la presencia de granos intactos en las heces.

2.1.1.1. Producción de proteína en leche y eficiencia de utilización

Los procesos de síntesis de proteína láctea en la glándula mamaria son otra fuente de ineficiencia asociada con la utilización del nitrógeno. Por esta razón, la posibilidad de manipularlos está centrada en mejorar la eficiencia de utilización del N en la vaca lechera. En este sentido, el empleo de aminoácidos protegidos (metionina y lisina) en la alimentación del vacuno lechero, tiene efecto positivo en la excreción del N en leche y su eficiencia (Robinson *et al.*, 1995). Lisina y metionina son dos aminoácidos limitantes en la producción de leche en vacas alimentadas con ensilados de maíz. La

ineficiencia se debe al hecho que la relación entre la síntesis de proteína en la glándula mamaria y la excretada en leche es 1.5-2.6 : 1.

Bach *et al.* (2000) demuestran que cuando el contenido de proteína bruta de la dieta disminuye, el perfil de aminoácidos llega a ser más importante en orden a mantener la producción. Infusiones postruminales de metionina se obtienen respuestas lineales en la producción de caseína láctea cuando se suministra suficiente lisina (7.3% del total de los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado) (Pisulewski *et al.*, 1996); observándose además, descensos de urea en sangre, con pequeños incrementos en la eficiencia de utilización del N. Robinson *et al.* (1995) muestran incrementos del 2% en la eficiencia de utilización del N (30.6 a 32.6%) con la suplementación de metionina y lisina protegida a las dietas de vacas lecheras. Sin embargo, cuando se infunde metionina sola en rumen, las respuestas no son tan claras (Polan *et al.*, 1991).

En dietas con ensilados de hierba los resultados son más confusos. Numerosos experimentos demuestran que además de lisina y metionina, otros aminoácidos como la histidina, son también importantes (Vanhatalo *et al.*, 1999). En dietas con ensilados de hierba e infusiones abomasales de histidina sola o en combinación con metionina y lisina, la producción de leche y su contenido en proteína incrementa (Vanhatalo *et al.*, 1999) y futuros incrementos asociados con la adición de otros aminoácidos están ligados a la respuesta de histidina. Por el contrario Varvikko *et al.* (1999), demuestran que la adición de metionina y lisina no tiene efecto en la producción de leche y proteína en vacas alimentadas con ensilados de hierba.

Tanto el balance de energía como el suministro de proteína, suplementación con aminoácidos, perfil de aminoácidos absorbidos desde el intestino delgado suministrado a la glándula mamaria y estado de lactación, pueden afectar a la eficiencia de utilización del N en respuesta a la suplementación de aminoácidos. Incrementos de grasa en la leche al principio de lactación son más comunes que hacia la mitad, al igual que en vacas con balance energético negativo suplementadas con metionina que aquellas en balance energético positivo o en media lactación (Lindquist *et al.*, 1983; Robinson *et al.*, 1995; Rulquin y Delaby, 1997; Iwanska *et al.*, 1999). La lisina puede tener efectos en la concentración de grasa y proteína de la leche (Guinard y Rulquin, 1994). Cuando la vaca está en balance energético negativo, los aminoácidos son importantes por dos razones: la primera, como constituyente de caseína y otras proteínas; y la segunda, como precursora de otras moléculas involucradas en el metabolismo energético del animal. La metionina está comprometida en la síntesis de lipoproteínas de baja densidad

en el hígado y cuando el animal se encuentra en balance energético negativo, la concentración en plasma de los ácidos grasos no esterificados se incrementa junto con la demanda hepática para la metionina. Incrementando las concentraciones de ácidos grasos no esterificados también se aumenta la demanda de lisina, involucrada en el metabolismo hepático de los ácidos grasos no esterificados como un componente del transporte de las moléculas de carnitina. Por lo tanto, el balance energético negativo y particularmente en animales consumiendo dietas con elevados porcentajes de maíz, la competencia de lisina y metionina entre proteína láctea y otros aminoácidos desaparecidos pueden reducir la eficiencia de utilización del N.

Un suministro de proteína elevado y consecuentemente incorrecto perfil de aminoácidos suministrados a la glándula mamaria es probablemente, la principal razón para una escasez de respuesta a la suplementación de aminoácidos protegidos en rumen.

2.1.1.2. Concentración de urea en leche

La concentración de urea en leche es una herramienta utilizada para monitorizar la utilización del N en las explotaciones lecheras (Jonker *et al.*, 1998; Godden *et al.*, 2001; Salcedo, 2009a). La urea en leche está relacionada con las concentraciones de amoníaco en rumen y urea en sangre, a su vez, afectada por las concentraciones de proteína de la dieta y la relación proteína ÷ energía (Oltner y Wiktorson, 1983; Oltner *et al.*, 1985; Blauwiekel y Kincaid, 1986; DePeters y Ferguson, 1992; Roseler *et al.*, 1993). No obstante, la interpretación de la concentración de urea en leche en relación al manejo nutricional no es fácil, de hecho, algunos estudios demuestran relaciones positivas entre la urea y la producción de leche (Oltner *et al.*, 1985), mientras que en otros, son negativas o sin relación (Carroll *et al.*, 1988; Baker *et al.*, 1995).

A pesar de las dificultades de interpretar la urea en leche, Jonker *et al.* (1999) sugieren concentraciones de 10 a 16 mg dl⁻¹ de leche. A nivel de tanque, concentraciones superiores a 16 mg dl⁻¹ indican elevada proporción de proteína en la dieta y bajo suministro de energía fácilmente fermentable, o la combinación de ambos. Valores por debajo de 10 mg dl⁻¹ indican consumos de proteína insuficientes, balance de proteína degradable y no degradable en rumen incorrecto o un aporte elevado de carbohidratos fermentables, pudiendo indicar baja producción de proteína en leche.

2.1.1.3.- Efectos de la conservación del forraje en la eficiencia de utilización del N

La fracción proteica de la hierba es muy vulnerable a la degradación durante los procesos de ensilado. Excesiva proteólisis y desaminación por las bacterias presentes en

el forraje ensilado, originan acúmulos de nitrógeno no proteico (principalmente aminoácidos libres y amoníaco). En ensilados de baja calidad el componente del NNP puede constituir más del 80% del N total, pudiendo estar el 25% en forma de amoníaco. Por el contrario, en ensilados bien fermentados con pH inferior a 4.0 el NNP puede representar el 50% del N total, con acumulaciones de amoníaco del 10% (Merry *et al.*, 1995; Davies *et al.*, 1998; Winters *et al.*, 2000; Winters *et al.*, 2001; Winters *et al.*, 2002). El bajo suministro energético de los ensilados, radica en que la fracción de la materia orgánica puede suponer el 17% de ácido láctico y el 26% de otros ácidos de la fermentación (Harrison *et al.*, 1994). Por lo tanto, se limita la eficiencia de utilización del N en rumiantes alimentados exclusivamente con ensilados.

La madurez del forraje disminuye la eficiencia en la síntesis de proteína microbiana, debido a la lignificación de la fibra, reduciendo la fermentación del tejido vegetal (McAllan *et al.*, 1994). Esta hipótesis no está confirmada en el estudio de Rinne *et al.* (1997), quienes señalan que aumentos en la madurez de la hierba no afecta a la eficiencia en la síntesis de proteína microbiana. Sin embargo, elevadas pérdidas ruminales están asociadas con hierba joven muy digestible, debido principalmente al aumento de la solubilidad de las fracciones proteicas. Comparaciones con hierba verde y su correspondiente ensilado, demuestran que el N lentamente degradable aumenta como resultado de la maduración de la hierba (Rinne *et al.*, 1997). La eficiencia de utilización del N en vacas alimentadas con ensilados de hierba no es altamente dependiente en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana en el rumen (expresado como la relación proteína microbiana producida respecto a la materia orgánica aparentemente digerida en rumen, MOADR). Se acepta que el presecado de la hierba restringe la fermentación del ensilado, disminuyendo el pH, menor producción de ácidos grasos volátiles y altas concentraciones residuales de carbohidratos solubles en agua. En términos de calidad proteica, la velocidad y extensión del presecado es muy importante, porque los procesos de proteólisis y desaminación dentro de la hierba se incrementan, a una concentración óptima de materia seca, pero si aquella está muy seca los procesos de fermentación se paralizan, dando lugar a un aumento de amoníaco en el ensilado, Gordon, (1981), Yan *et al.* (1996). Reducir el tiempo de presecado para conseguir proporciones óptimas de materia seca reduce la proteólisis y desaminación (Yan *et al.*, 1996). Por esta razón, esparcir el forraje durante el presecado, ayuda a controlar la degradación de la proteína (Wilkinson *et al.*, 1999), reduciéndose las concentraciones de amoníaco frente a presecar el material durante 48 horas. A pesar de

los beneficios del presecado en el consumo de materia seca (Gordon y Peoples, 1986; Dawson *et al.*, 1999), en términos de eficiencia parece haber pequeñas respuestas en rumiantes alimentados con ensilado presecado frente al no presecado (Gordon, 1981; Kebreab *et al.*, 2000; Kebreab *et al.*, 2001). Por su parte, Gordon y Peoples (1986), establecen consumos mayores en vacas lecheras alimentadas con ensilados presecados, pero producen menos leche cuando se compara con los no presecados, destacando una significativa reducción en la eficiencia de utilización del N para la producción de leche (25.3% para el no presecado y 22.5% en el presecado). Esto puede ser debido a la pérdida de carbohidratos fermentables durante el presecado por la acción de los microorganismos (Gordon y Peoples, 1986).

2.2. Resultados y discusión

La Tabla 28 señala las correlaciones Pearson entre diferentes variables independientes con la dependiente “Eficiencia”.

Tabla 28.- Correlaciones entre la variable dependiente “Eficiencia” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, número de grupo de cada variable

Variable independiente	Eficiencia N
Concentrado, kg vaca año (2)	-0.459**
N fertilizante, kg ha ⁻¹ (1)	-0.411**
Novillas, 12 a 24 meses (3)	-0.335**
UGM totales, (3)	-0.34**
Vacas secas, (3)	-0.319**
Superficie total ha ⁻¹ (5)	-0.311**
Novillas >12 meses (3)	-0.309**
N concentrado, kg ha ⁻¹ (2)	-0.289**
Vacas leche, (3)	-0.265**
N alimentación, kg ha ⁻¹ (2)	-0.260**
Forraje, kg vaca año (2)	0.260**
Cuota, t ⁻¹ (4)	-0.244**
Has UGM ⁻¹ (3)	0.147*
N forraje, kg ha ⁻¹ (2)	-0.137*
UGM, ha ⁻¹ (3)	-0.13*
Pradera, ha ⁻¹ (5)	-0.127*

(1) Modelo con N comprado como fertilizantes; (2) Modelo con N comprado como alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche; (5) Modelo superficie y dedicación de la misma

Las correlaciones de las variables independientes con la variable dependiente “Eficiencia” (Tabla 28) son mucho menores que la variable dependiente del “Surplus ha⁻¹” (Tabla 2). Esto puede sugerir una ecuación de regresión múltiple con bajo poder de predicción, a menos que un bajo grado de multicolinealidad pueda ser demostrado.

La literatura señala a la compra de fertilizantes y concentrados como las variables más correlacionadas con la “Eficiencia” pero de forma negativa Aarts *et al.*, (1992); Kuipers y Mandersloot (1999); Aarts *et al.* (2000); Van Keulen *et al.* (2000);

Ondersteijn *et al.* (2003b); Swensson (2003); Van Beek *et al.* (2003); Steinshamn *et al.* (2004); Verbruggen *et al.* (2004); Nielsen y Kristensen (2005); Nevens *et al.* (2006), Oenema (2006) y Vellinga (2006).

Sólo dos variables independientes “Forraje, kg vaca año” y “Has UGM⁻¹” presentaron signo positivo, pero con baja correlación (Tabla 28).

2.2.1. Desarrollo de diferentes modelos

El modelo [1_E] es calculado por regresión simple de la “Eficiencia” (Tabla 29) con la variable independiente “kg de N fertilizantes ha⁻¹” del **Grupo 1** porque es la variable que la bibliografía señala como más relevante y presenta un similar coeficiente de correlación ($r=-0.41$, $P<0,01$) (Tabla 28) y $r=-0.46$, $P<0,05$ (Ramírez, 2008). Este modelo presenta poca información.

■ ■ ■ **Tabla 29.-** Análisis de regresión simple de la “Eficiencia” con “kg N fertilizantes ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	28.35***	0.456	
Kg N de fertilizante ha ⁻¹	-0.028***	0.004	-0.411

*** $P<0.001$

$$\text{Eficiencia, \%} = 28.3 (0.456) - 0.028 (0.004) \text{ kg N fertilizante; } \pm 7.66 \text{ } r^2=0.17 \text{ [1}_E\text{]}$$

El modelo [2_E] calculado por regresión múltiple de la “Eficiencia” (Tabla 30) incluye la variable independiente “kg concentrado vaca y año” del **Grupo 2** (Tabla 28), por ser la variable de mayor correlación ($r=-0.45$) y, señalada en la bibliografía de importancia sobre la “Eficiencia”. Sin embargo, los “kg N concentrado ha⁻¹” presenta un bajo coeficiente de correlación ($r=-0.28$), aunque ligeramente superior a -0.053 señalado por Ramirez (2008).

■ ■ ■ **Tabla 30.-** Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con “kg de N fertilizante ha⁻¹” y “kg concentrado vaca y año”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	46.56***	2.06	
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.025***	0.003	-0.37
Concentrado, kg vaca año	-0.005***	0.001	-0.42

*** $P<0.001$

$$\text{Eficiencia, \%} = 46.5 (2.06) - 0.025 (0.003) \text{ kg N fertilizante} - 0.005 (0.001) \text{ kg concentrado vaca y año; } \pm 6.79 \text{ } r^2=0.35 \text{ [2}_E\text{]}$$

El modelo [3_E] (Tabla 31) incluye la variable “UGM totales” **Grupo 3** por presentar un moderado coeficiente de correlación ($r=-0.34$), pero superior al señalado por Ramirez (2008) de $r=0.09$.

Tabla 31.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con “kg de N fertilizante ha⁻¹”; “kg concentrado vaca año” y “UGM totales”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	46.55***	2.008				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.026***	0.003	-0.384	0.986	1.01	
Concentrado, kg vaca año	-0.004***	0.001	-0.337	0.831	1.20	
UGM totales	-0.029***	0.007	-0.216	0.838	1.19	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflación de la varianza

Eficiencia, % = 46.5 (2.008) - 0.026 (0.003) kg N fertilizantes; -0.004 (0.001) kg concentrado vaca año -0.029 (0.007) UGM totales; ±6.59 r²=0.38 [3_E]

El modelo [4_E] (Tabla 32) incluye la variable independiente “kg de N concentrado ha⁻¹” del **Grupo 2** por presentar un moderado coeficiente de correlación ($r=-0.28$) e indicada en la literatura como relevante en la “Eficiencia” de la explotación. Sin embargo, esta variable presenta un mayor coeficiente de correlación que el obtenido por Ramirez (2008) de $r=-0.05$.

Tabla 32.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con “kg concentrado vaca año”; “kg de N fertilizante ha⁻¹”; “UGM totales” y “kg N concentrado ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	47.31***	2.02				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.027***	0.003	-0.397	0.97	1.03	
Concentrado, kg vaca año	-0.004***	0.001	-0.333	0.83	1.20	
UGM totales	-0.015 ^{NS}	0.009	-0.107	0.43	2.29	
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.007*	0.003	-0.152	0.46	2.14	

* P<0.05; *** Significativo P<0.001; **NS**: no significativo; **FIV**: factor de inflación de la varianza

Eficiencia, % = 47.3 (2.02) - 0.027 (0.003) kg N fertilizantes; - 0.004 (0.001) kg concentrados vaca año - 0.015 (0.015) UGM totales - 0.007 (0.003) kg N concentrado; ±6.55 r²=0.39 [4_E]

El modelo [5_E] incluye la variable independiente “Cuota t⁻¹” (Tabla 33) del **Grupo 4** por presentar un moderado coeficiente de correlación ($r=-0.24$) y “% Vacas leche” ($r=-0.26$).

Tabla 33.- An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eficiencia” con “kg de N fertilizante ha⁻¹”; “kg concentrado vaca a3o”; “UGM totales”; “kg N concentrado ha⁻¹”; “Cuota t⁻¹” y “% Vacas leche”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	29.14***	5.80				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.029***	0.003	-0.435	0.95	1.04	
Concentrado, kg vaca a3o	-0.004***	0.001	-0.328	0.81	1.22	
UGM totales	-0.084***	0.014	-0.639	0.15	6.50	
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.013***	0.003	-0.279	0.41	2.39	
Cuota t ⁻¹	0.010***	0.002	0.609	0.13	7.28	
% Vacas leche	0.245***	0.063	0.171	0.89	1.11	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

Eficiencia, % = 29.1 (5.8) - 0.029 (0.003) kg N fertilizantes - 0.004 (0.001) Concentrado vaca a3o - 0.084 (0.014) UGM totales - 0.013 (0.003) kg N concentrado ha⁻¹ + 0.010 (0.002) Cuota t⁻¹ + 0.245 (0.063) + 0.245 (0.063) % vacas leche; ±6.04 r²=0.49 [5E]

Al modelo [5E] se sustituy3 las “UGM totales” del **Grupo 3** por la “superficie total de la explotaci3n ha⁻¹” del **Grupo 5**, resultando el modelo [6E], mejorando el error est3ndar de la regresi3n y mejor coeficiente de determinaci3n.

Tabla 34.- An3lisis de regresi3n m3ltiple de la “Eficiencia” con “kg de N fertilizante ha⁻¹”; “kg concentrado vaca a3o”; “kg N concentrado ha⁻¹”; Cuota t⁻¹; “% Vacas leche” y “Superficie Total ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	31.23***	5.64				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.028***	0.003	-0.410	0.95	1.04	
Concentrado, kg vaca a3o	-0.003***	0.001	-0.220	0.70	1.41	
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.040***	0.004	-0.827	0.19	5.12	
Cuota t ⁻¹	0.013***	0.002	0.777	0.12	7.91	
% Vacas leche	0.252***	0.061	0.176	0.89	1.11	
Superficie total, ha ⁻¹	-0.334***	0.045	-0.591	0.25	3.87	

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflaci3n de la varianza

Eficiencia, % = 31.2 (5.64) - 0.028 (0.003) kg N fertilizantes - 0.003 (0.001) Concentrado vaca a3o - 0.04 (0.004) kg N concentrado ha⁻¹ + 0.013 (0.002) Cuota t⁻¹ + 0.252 (0.061) % vacas leche¹ - 0.334 (0.045) Superficie total ha⁻¹; ±5.85 r²=0.52 [6E]



Inyección de purín en praderas

2.2.2. Interpretación de las observaciones

Los modelos [5_E y 6_E] son elegidos para estimar la eficiencia de la explotación. Para mejorar el modelo [5_E] un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 35).

Tabla 35.- Modelo [5_E] con efecto random “Explotación” [7_{Er}]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	45.93***	10.46	
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.024***	0.004	-0.46
Concentrado, kg vaca año	-0.005***	0.001	-0.38
UGM totales	-0.085***	0.027	-0.64
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.016***	0.005	-0.37
Cuota t ⁻¹	0.012***	0.003	0.74
% Vacas leche	0.101 ^{NS}	0.108	0.069
R ² =0.56			
Std de la estima=6.04			
Nº grupos=96			

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Eficiencia, \%} = 45.9 (10.46) - 0.024 (0.004) \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} - 0.005 (0.001) \text{ Concentrado vaca año} - 0.085 (0.027) \text{ UGM totales} - 0.016 (0.005) \text{ kg N concentrado ha}^{-1} + 0.012 (0.003) \text{ Cuota} + 0.101 (0.108) \% \text{ vacas leche}$$

Los coeficientes no estandarizados de la Tabla 35 modelo [7_{Er}] indican que descensos de 1 de N “kg N fertilizantes ha⁻¹” y 1 kg “kg N concentrado ha⁻¹” puede incrementar la “Eficiencia” de la explotación en 0.024 y 0.016 unidades porcentuales respectivamente, si se mantienen constantes las otras variables. El signo de estos dos coeficientes estandarizados es negativo y como cabía esperar, contrarios al “Surplus ha⁻¹”, lo que significa que la salida puede descender significativamente menos cuando se disminuyen los “kg de fertilizante ha⁻¹” que los “kg de N concentrado ha⁻¹”. Las pendientes son inferiores a -0.065 y -0.061 obtenidas por Ramírez (2008). Cada

incremento en 1 tonelada en la cuota de leche puede representar aumentos de 0.012 unidades porcentuales en la eficiencia. Por el contrario, el % de vacas de leche indican que aumentos de una unidad porcentual puede incrementar la eficiencia de la explotación en 0.101 unidades porcentuales. Posiblemente el que la variable “UGM totales” tenga signo negativo, sea debido al elevado porcentaje de reposición que presentan las explotaciones de Cantabria, como señala la Tabla 1, y correlaciones moderadas respecto al número de vacas secas, novillas mayores de un año y de 12 a 24 meses de edad.

Para mejorar el modelo [6_E] un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 36). Este modelo presenta coeficientes no estandarizados similares al [7_{Er}], para los “kg N fertilizantes ha⁻¹”, “kg N concentrado ha⁻¹” y “% vacas de leche”, también con efecto random “Explotación”.

Tabla 36.- Modelo [6_E] con efecto random “Explotación” modelo [8_{Er}]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	32.43	12.33	
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.024	0.004	-0.441
Concentrado, kg vaca año	-0.002	0.001	-0.156
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.040	0.009	-0.697
Cuota t ⁻¹	0.013	0.004	0.631
% Vacas leche	0.206	0.130	0.129
Superficie total, ha ⁻¹	-0.333	0.094	-0.544
R ² =0.60			
Std de la estima=5.79			
Nº grupos=96			

$$\text{Eficiencia, \%} = 32.4 (12.33) - 0.024 (0.004) \text{ kg N fertilizantes} - 0.002 (0.001) \text{ Concentrado vaca año} - 0.040 (0.009) \text{ kg N concentrados} + 0.013 (0.004) \text{ Cuota} + 0.206 (0.13) \text{ \% vacas leche} - 0.333 (0.094) \text{ Superficie total ha}^{-1}$$

Los coeficientes de regresión estandarizados, la variable “kg N fertilizantes ha⁻¹” en el modelo [7_{Er}] tiene un alto coeficiente beta (-0.468), similar al modelo [8_{Er}] (-0.44), donde, las variables más relevantes son los “kg de N del concentrado ha⁻¹” (-0.697) y la cuota (0.631) (Tabla 36).

2.2.3. Estimación de la Eficiencia según sistema de producción (*intensivo vs. semiintensivo*)

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Como describe la Tabla 37, diferencias significativas son obtenidas entre sistemas de producción para las variables Concentrados, kg vaca año; UGM totales; Kg N concentrado ha⁻¹ y Cuota y Superficie total (P<0.001), con valores medios de 4039-

3207; 147-80; 427-260; 944-395 y 35.5-20.7 los intensivos y semiintensivos respectivamente. Por el contrario, la compra de fertilizantes nitrogenados y porcentaje de vacas en ordeño no fue significativo, con valores medios de 32-30 kg de N fertilizante ha⁻¹ y 86-85% las vacas lecheras.

■ ■ ■ **Tabla 37.-** Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Significación sistema producción	
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	NS
Concentrado, kg vaca año	***
UGM totales	***
Kg N concentrado ha ⁻¹	***
Cuota, t ⁻¹	***
% Vacas leche	NS
Superficie total, ha ⁻¹	***

*** P<0.001; NS: no significativo

El modelo “Eficiencia” con idénticas variables independientes del [7_{Er}] es aceptado como bueno (Tabla 38), porque presenta un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.56$), bajo error estándar de la regresión (4.08); los residuos no están autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores de 2 que son los más óptimos. No se detecta multicolinealidad, entre variables, el FIV es superior a 10 y el valor pronosticado típico de los residuos es 0 y su desviación típica es 1.0.

■ ■ ■ **Tabla 38.-** Estimación de la “Eficiencia” en los *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	25.11***	5.12				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.027***	0.002	-0.53	0.934	1,07	
Concentrado, kg vaca año	-0.001***	0.001	-0.14	0.808	1,23	
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.029***	0.004	-0.83	0.211	4,73	
Cuota t ⁻¹	0.010***	0.001	0.82	0.155	6,43	
% Vacas leche	0.226***	0.053	0.82	0.833	1,20	
Superficie total, ha ⁻¹	-0.283***	0.034	-0.72	0.292	3,42	
R ² =0.56						
Std de la estima=4.08						
Durbin-Watson=2.09						
N=207						

*** P<0.001; **FIV**: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia, \%} = 25.1 (5.12) - 0.027 (0.002) \text{ kg N fertilizantes} - 0.001 (0.001) \text{ Concentrado vaca año} - 0.029 (0.004) \text{ kg N concentrados} + 0.010 (0.001) \text{ Cuota} + 0.226 (0.053) \% \text{ vacas leche} - 0.283 (0.034) \text{ Superficie total ha}^{-1}$$

Tabla 39.- An3lisis descriptivo de las variables independientes del modelo intensivo

	N	M3nimo	M3ximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	207	0	220	32.2	25.8	1391
Concentrado, kg vaca a3o	207	2376	5064	4039	632	399515
UGM totales	207	65	300	147	62	3857
Kg N concentrados ha ⁻¹	207	130	932	427	175	30837
Cuota, t ⁻¹	207	365	2050	944	493	244028
% Vacas orde3o	207	62.5	95.5	86.1	5.84	34.1
Superficie total, ha ⁻¹	207	15	70	35.5	15.4	239.2

El modelo “Eficiencia” en los semiintensivos explica menos que los intensivos, con un coeficiente de determinaci3n inferior ($r^2=0.49$) y mayor dispersi3n (7.98) (Tabla 40), sin diferencias entre sistemas para el estadístico Durbin-Watson, pr3ximo a 2. En este modelo la colinealidad se sitúa al l3mite (10) (Tabla 40), debido a la existencia de cierta relaci3n entre algunas variables independientes (Tabla 41). El an3lisis descriptivo de las variables independientes del modelo semiintensivo viene representado en la Tabla 42.

Tabla 40.- Estimaci3n de la “Eficiencia” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	57.46***	17.13				
Kg N fertilizantes ha ⁻¹	-0.026***	0.006	-0.32	0.98	1.01	
Concentrado, kg vaca a3o	-0.006*	0.003	-0.31	0.28	3.45	
Kg N concentrado ha ⁻¹	-0.083***	0.025	-0.74	0.11	8.66	
Cuota t ⁻¹	0.029 ^{NS}	0.019	0.37	0.10	10.0	
% Vacas leche	0.326*	0.154	0.17	0.86	1.15	
Superficie total, ha ⁻¹	-1.185**	0.469	-0.54	0.12	7.83	
R ² =0.49						
Std de la estima=7.98						
Durbin-Watson=1.9						
N=92						

* P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo; FIV: factor de inflaci3n de la varianza

Tabla 41.- An3lisis de correcci3n bivariadas entre las variables independientes

	Superficie ha ⁻¹	Kg N concentrado ha ⁻¹	Cuota, t ⁻¹
Superficie, ha ⁻¹	1		
Kg N concentrado	0.765**	1	
Cuota, t ⁻¹	0.553**	-0.227*	1

* P<0.05; ** P<0.01

■ ■ ■ Tabla 42.- Análisis descriptivo de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes, kg N ha ⁻¹	92	0	923	29.7	137	18776
Concentrados, kg vaca año	92	2280	4154	3207	613	376444
UGM totales	92	48	123	80.9	25.2	639
Kg N concentrados ha ⁻¹	92	90	435	260.1	97.3	9486
Cuota, t ⁻¹	92	210	566	395	142	20167
% Vacas ordeño	92	65.9	98.7	85.1	5.8	34.3
Superficie total, ha ⁻¹	92	13	26	20.7	4.99	24.9



3. Modelizado del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹”

3.1. Introducción

La vaca lechera es relativamente ineficiente en la conversión de nutrientes a leche o carne. Aproximadamente el 62% de la materia seca ingerida es digerida (Van Horn *et al.*, 1991). Aunque la utilización de los nutrientes es considerablemente baja, aproximadamente el 35% del P ingerido va destinado a la producción de leche, desarrollo fetal e incremento de peso vivo (Klausner, 1993; Coelho, 1994). A nivel de explotación la eficiencia de utilización del P es baja. Beede y Davidson (1999) estiman que solo del 20 al 30% del P alimenticio es exportado de la explotación en carne y leche, similar a otras estimas de 20-31% en explotaciones lecheras (Morse *et al.*, 1992). En Holanda el coeficiente de utilización de P por las vacas lechera es del 25% (Tamminga, 1992).

Morse *et al.* (1992) demuestra que una reducción del 40% en el P de la dieta, el excretado desciende un 23% y en otro estudio desarrollado por Metcalf *et al.* (1996) se obtiene el 30%. Estudios realizados en Florida (Van Horn, 1990) señalan que con reducciones de fósforo en la concentración de la dieta del 0.45% a 0.40%, la excreción anual se reduce entre 18 y 21 kg vaca.

Diversos trabajos conducidos por Sansinema *et al.* (1999); Powell *et al.* (1999) y Goodall *et al.* (2000) indican aportes de P en vacas lecheras superiores al recomendado por el NRC (1989) del 30 al 40% de la materia seca. Sin embargo, los nutricionistas recomiendan el 0.48% (Satter y Wu, 1999), 25% superior al señalado por el NRC (1989). Reducir el P en la dieta no afecta al desarrollo animal (Brintrup *et al.*, 1993; Valk y Ebeck, 1999; Wu y Satter, 2000; 2001), ni a la producción de leche cuando se ofrecen raciones del 0.48 al 0.38% de fósforo (Wu y Satter, 2000).

3.2. Análisis estadístico del modelo

Previo al desarrollo estadístico del modelo y mediante análisis de correlación (Pearson) se estimó el grado de linealidad entre las diferentes variables independientes respecto al Surplus P_2O_5 ha⁻¹.

Las relaciones existentes entre el “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” y las diferentes variables independientes se evaluaron utilizando un modelo de regresión múltiple paso a paso.

Previamente al análisis de regresión se comprueba la colinealidad de las variables independientes utilizando el factor inflado de la varianza (FIV). Este estadístico es un indicador que mide la independencia de una variable respecto a las otras variables independientes de la ecuación de regresión, calculándose con la siguiente ecuación (Etxeberria, 1999):

$$FIV = \frac{1}{1 - R_{i1}^2}$$

donde: R_{i1}^2 es el coeficiente de determinación múltiple entre la variable cuya multicolinealidad se está calculando y el resto de las variables independientes. El valor de corte del FIV es 10. Asimismo, se analizaron los residuales una vez realizadas las regresiones, con el fin de evaluar si los datos se ajustaron a los supuestos de estos análisis, comprobándose que éstos siguen una distribución normal.

Una vez definido el modelo con un FIV inferior a 10, el estadístico Durbin-Watson usado fue próximo o menor de 2 y el valor pronosticado típico de los residuos fuese 0 1.0 la desviación típica. Posteriormente, se realiza un análisis de correlación múltiple con las variables detectadas como buenas incluyendo el efecto “random” (30% de las explotaciones). Posteriormente este modelo es analizado para cada sistema de producción “intensivos vs. semiintensivos”.

3.3. Resultados y discusión

La Tabla 43 señala la estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización para el conjunto de explotaciones, más las incluidas en la Tabla 1 de la modelización del Surplus N ha⁻¹.

Tabla 43.- Estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹”

	Mínimo	Máximo	Rango	Media	Std	Varianza
P ₂ O ₅ alimentación, kg ha ⁻¹ (2)	30	332	292	146	73.5	5402
P ₂ O ₅ fertilizante, kg ha ⁻¹ (1)	1.21	96	94	26.8	27.1	736

Contrario a lo que ocurre con el “Surplus N ha⁻¹”, el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” presenta menor correlación con la variable del Grupo 1 (Tabla 44) (r=0.17) imputable al escaso empleo de fertilizantes fosfatados (1.20; 0.77 y 2.53 unidades porcentuales respecto al total de inputs en conjunto de explotaciones, sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente). Estos coeficientes confirman lo expuesto en el “Surplus N ha⁻¹” para las explotaciones de Cantabria, donde el empleo de concentrados para la producción de leche es superior al uso de fertilizantes.

Tabla 44.- Correlaciones Pearson entre la variable dependiente “Surplus P_2O_5 ha^{-1} ” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, número de grupo de cada variable

	Surplus
P_2O_5 alimento, $kg\ ha^{-1}$ (2)	0.888**
Novillas menos 12 meses (3)	0.674**
Leche ha^{-1} año (4)	0.588**
Vacas leche ha^{-1} (3)	0.585**
P leche, $kg\ ha^{-1}$ (4)	0.583**
Cuota (4)	0.557**
UGM totales (3)	0.538**
UGM ha^{-1} (3)	0.535**
Novillas 12 a 24 meses (3)	0.535**
Has UGM ⁻¹ (3)	-0.511**
Vacas secas (3)	0.44***
% P dieta (2)	0.366**
Superficie pradera, ha^{-1} (5)	0.314**
P_2O_5 fertilizante, $kg\ ha^{-1}$ (1)	0.174**
Superficie total, ha^{-1} (5)	0.155**
Superficie maíz, ha^{-1} (5)	NS

(1) Modelo con P_2O_5 comprado como fertilizantes; (2) Modelo con P_2O_5 comprado como alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche; (5) Modelo superficie y dedicación de la misma

Al igual que sucede con el “N alimentación, $kg\ ha^{-1}$ ” (Tabla 2), el “ P_2O_5 alimentación, $kg\ ha^{-1}$ ” (**Grupo 2**) es la variable más directamente relacionada con el “Surplus $P_2O_5\ ha^{-1}$ ” ($r=0.88$) (Tabla 44). Por el contrario, la concentración de P en la dieta (% sobre materia seca) presenta correlación inferior ($r=0.36$), atribuido al similar porcentaje de P medio de todas las explotaciones, con valores medios de 0.40, 0.42 y 0.37 en el conjunto de explotaciones sistemas intensivos y semiintensivos respectivamente.

Las variables del **Grupo 3** referido a la clase de ganado (Tabla 44), manifiestan coeficientes de correlación aceptables respecto al “Surplus $P_2O_5\ ha^{-1}$ ”, con valor medio para el conjunto de variables de este grupo de $r=0.55$ y $r=-0.51$ la variable “Has UGM⁻¹”. El **Grupo 4** formado por la “producción de leche, $kg\ ha^{-1}$ ”, “ $kg\ P_2O_5$ en leche ha^{-1} ” y “Cuota, t^{-1} ” presenta un coeficiente de correlación medio similar ($r=0.57$) a las del **Grupo 3**. Las variables del **Grupo 5** no son relevantes referente al “Surplus $P_2O_5\ ha^{-1}$ ”, aunque la superficie dedicada a pradera manifiesta una ligera correlación ($r=0.31$) en relación a la superficie total o la dedicada al maíz para ensilado.

3.3.1. Desarrollo de diferentes modelos

El modelo [1] del **Grupo 1** calculado por regresión simple del “Surplus $P_2O_5\ ha^{-1}$ ” con la variable independiente “ kg de P_2O_5 fertilizantes ha^{-1} ” (Tabla 45) muestra un coeficiente de determinación bajo ($r^2=0.03$). Posiblemente debido al escaso empleo de abonos fosfóricos ($1.79\ kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$: 1.20% del total de inputs).

Tabla 45.- An3lisis de regresi3n simple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con los “kg P₂O₅ fertilizante ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	66.7***	2.97	
Kg P ₂ O ₅ fertilizante ha ⁻¹	0.927***	0.305	0.174

*** P<0.001

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5, \text{ ha}^{-1} = 66.7 (2.97) + 0.927 (0.305) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizante ha}^{-1}; \pm 50.4 r^2=0.03 [1]$$

Entre otras razones, el bajo aporte de f3sforo mineral al suelo sea debido a la elevada concentraci3n, con valores medios de 214 ppm, m3nimos de 34.5 ppm y m3ximos de 897 ppm. El P₂O₅ excretado en heces y orina por hect3rea y a3o para el conjunto de la explotaci3n (vacas lecheras y novillas de reposici3n) es de 147 kg, con m3nimos de 25 y m3ximos de 162 kg P₂O₅ ha⁻¹ y a3o. El valor medio de 147 kg es coincidente con las entradas de P₂O₅ ha⁻¹ y a3o de 148 (ver Tabla 5, Cap3tulo 7 “Balance de N y P”).

Para el conjunto de explotaciones, la superficie dedicada a pradera y ma3z son 19.2 y 15.9 ha⁻¹ respectivamente. Las producciones medias de materia seca ha⁻¹, concentraciones (% P₂O₅) y extracciones de P₂O₅ (kg ha⁻¹) para la hierba y ma3z de 7000-12000; 0.78% y 0.51%; 54.7 y 61 kg ha⁻¹ respectivamente. Por lo tanto, el aportado con el esti3rcol y el contenido en el suelo, son suficientes para cubrir las necesidades nutritivas de las producciones anteriormente se3aladas.

El modelo [2] con variables del Grupo 2 calculado tambi3n por regresi3n simple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” (Tabla 46) con la variable independiente “kg P₂O₅ alimentaci3n ha⁻¹” presenta mejor coeficiente de determinaci3n (r²=0.79) y bajo error est3ndar de la regresi3n. La raz3n de este aceptable coeficiente es atribuida al elevado input de P₂O₅ en forma de concentrados y forrajes, representando el 99.05% del total de inputs.

Tabla 46.- An3lisis de regresi3n simple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con los “kg P₂O₅ alimentaci3n ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-22.31***	3.04	
Kg P ₂ O ₅ de alimentaci3n ha ⁻¹	0.618***	0.019	0.888

*** P<0.001

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5, \text{ ha}^{-1} = -22.3 (3.0) + 0.61 (0.01) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentaci3n ha}^{-1}; \pm 23.5 r^2=0.79 [2]$$

Al a3adir al modelo [2] la variable independiente “kg P₂O₅ de fertilizante ha⁻¹”, modelo [3] por ser los inputs mayores de la explotaci3n, mejorando el modelo significativamente respecto a los [1 y 2], (Tabla 47).

Tabla 47.- Análisis de regresión múltiple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y “kg P₂O₅ fertilizante ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-25.29***	2.72	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	0.62***	0.017	0.897
Kg P ₂ O ₅ fertilizante ha ⁻¹	1.13***	0.127	0.213

*** P<0.001

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = -25.29 (2.72) + 0.62 (0.01) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} + 1.13 (0.127) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizante ha}^{-1}; \pm 20.9 r^2=0.83 \text{ [3]}$$

El que la pendiente de la variable independiente “kg P₂O₅ fertilizante ha⁻¹” sea superior a “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” es imputable al bajo efecto que ejerce la fertilización fosfórica a nivel de explotación.

Cuando al modelo [2] **Grupo 2** “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” se le añade el porcentaje de fósforo sobre materia seca de la dieta de las vacas lecheras “% P dieta”, modelo [4], la estimación no mejora significativamente, disminuyendo 9.85 unidades porcentuales el coeficiente de regresión y 10.5 el error estándar de la regresión (Tabla 48). No obstante, la variable “% de P dieta” presenta un bajo coeficiente beta estandarizado, atribuido a que aquella sólo está referida a la concentración de P para las dietas de vacas lecheras y, el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” corresponde al conjunto de la explotación, como se desprende del bajo coeficiente de correlación obtenido (Tabla 44).

Tabla 48.- Análisis de regresión múltiple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y “% P dieta”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	-39.99***	6.03	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	0.598***	0.019	0.858
% P dieta	50.70***	15.02	0.093

*** P<0.001

La ecuación obtenida en este nuevo modelo es:

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = -39.99 (6.03) + 0.598 (0.019) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} + 50.70 (15.02) \% \text{ P dieta}; \pm 23.1 r^2=0.79 \text{ [4]}$$

En modelos de regresión múltiple incluyendo las variables del **Grupo 1** “kg P₂O₅ fertilizante ha⁻¹”, **Grupo 2** “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y las del **Grupo 3** “UGM ha⁻¹”, “Vacas leche ha⁻¹” y “UGM totales” modelo [5], mejora significativamente respecto a los anteriores, con mayor porcentaje de explicación y menor error estándar de la regresión (Tabla 49).

Tabla 49.- Análisis de regresión múltiple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con los “kg P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹”; “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”; “UGM ha⁻¹”, “Vacas leche ha⁻¹” y “UGM totales”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	2.25 ^{NS}	3.46				
kg P ₂ O ₅ fertilizantes ha ⁻¹	1.14***	0.099	0.21	0.99	1.00	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	0.91***	0.028	0.83	0.20	4.9	
UGM ha ⁻¹	2.12 ^{NS}	1.60	0.05	1.8	5.28	
Vacas leche ha ⁻¹	-26.86***	2.74	-0.52	0.11	8.41	
UGM totales	-0.049**	0.02	-0.05	0.48	2.06	

*** P<0.001; ** P<0.01; NS: no significativo; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = 2.25 (3.46) + 1.14 (0.02) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.91 (0.02) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} + 2.12 (1.6) \text{ UGM ha}^{-1} - 26.8 (0.02) \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0.049 (0.02) \text{ UGM totales}; \pm 16.2 r^2=0.89 \text{ [5]}$$

La cuota láctea de la explotación (t⁻¹) presenta un moderado coeficiente de correlación (r=0.55) respecto al “Surplus P₂O₅, ha⁻¹” (Tabla 44), e incluirla en el modelo [5] sin la variable independiente UGM ha⁻¹ por presentar una pendiente no significativa, el coeficiente de determinación es muy similar, pero el error estándar de la regresión disminuye 0.43 kg P₂O₅, ha⁻¹, modelo [6], Tabla 50.

Tabla 50.- Análisis de regresión múltiple del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con “kg P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹”; “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”; “Vacas leche ha⁻¹”; “UGM totales” y “Cuota”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-1.2 ^{NS}	3.39				
kg P ₂ O ₅ fertilizantes ha ⁻¹	1.13***	0.09	0.21	0.99	1.0	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	0.93***	0.028	0.84	0.20	4.8	
Vacas leche ha ⁻¹	-24.3***	1.71	-0.47	0.28	3.5	
UGM totales	0.11***	0.03	0.13	0.15	3.4	
Cuota, t ⁻¹	-0.02***	0.005	-0.21	0.14	7.0	

*** P<0.001; NS: no significativo; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = -1.2 (3.39) + 1.13 (0.09) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.93 (0.02) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} - 24.3 (1.7) \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 0.11 (0.03) \text{ UGM totales} - 0.02 (0.005) \text{ Cuota}; \pm 15.77 r^2=0.90 \text{ [6]}$$

3.3.1.1. Interpretación de las observaciones

Para mejorar el modelo [6], un efecto random “Explotación” (30%) fue incluido para comprobar la bondad del mismo (Tabla 51).

Tabla 51.- Modelo [7_r] con efecto random “Explotación” modelo [6]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	2.54 ^{NS}	6.58	
kg P ₂ O ₅ fertilizantes ha ⁻¹	1.07***	0.172	0.197
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	0.96***	0.046	0.89
Vacas leche ha ⁻¹	-27.7***	3.04	-0.511
UGM totales	0.07 ^{NS}	0.071	0.083
Cuota t ⁻¹	-0.015 ^{NS}	0.008	-0.14
R ² =0.90			
Std de la estima=16.3			
Nº grupos=102			

*** P<0.001; NS: no significativo

Los coeficientes de regresión de los modelos [6] y [7_r] significativamente no cambian y, por lo tanto, la interpretación no varía.

3.3.1.2. Interpretación del Modelo [7_r]

El modelo [7_r] es:

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = 2.54 + 1.07 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.96 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} - 27.7 \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0.07 \text{ UGM totales} - 0,015 \text{ Cuota t}^{-1} \text{ [7}_r\text{]}$$

Coeficientes de regresión no estandarizados

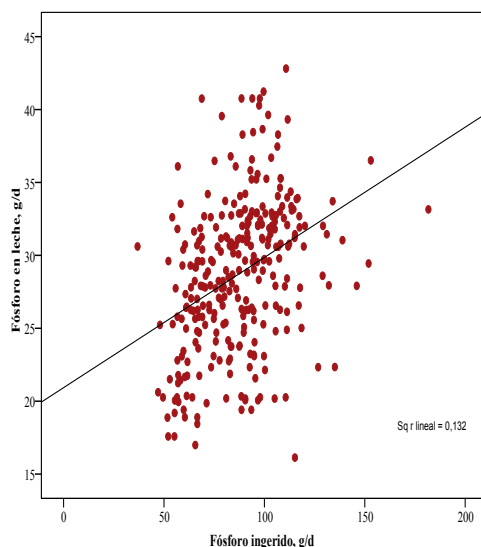
Los coeficientes no estandarizados (Tabla 51) modelo [7_r] señalan que descensos de 1 kg de P₂O₅ en las variables independientes “kg P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹” y “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” causan descenso en la media del “Surplus ha⁻¹” próximo a 1 kg (1.07 y 0.96 respectivamente). Las pendientes aquí obtenidas son similares al “Surplus N ha⁻¹”, modelo [10] (Tabla 14).

Aumentos de una vaca leche ha⁻¹ causa un descenso en la media del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” de 27.7 kg ha⁻¹, inferior a 39.7 kg respecto al “Surplus N ha⁻¹”.

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes por la influencia de cada variable en la media del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” y porque, el rango de las variables también son diferentes (Tabla 43). Los “kg P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹” para el modelo [7_r] tienen un rango de 0 a 69 kg, pero la variable “Vacas lechera ha⁻¹” varía de 1.13 a 4.8.

La magnitud de los coeficientes no estandarizados necesariamente no refleja que la compra de alimentos sea usada más eficientemente por los animales. Sin embargo, puede reflejar descensos de P₂O₅ cuando se reemplaza alimentos comprados por los producidos en la explotación.

Figura 8.- Relación entre la ingestión de P y el recuperado en leche



Coeficientes de regresión estandarizados (beta)

Los coeficientes estandarizados son más útiles para comparar la importancia relativa de cada variable en el modelo. Los coeficientes beta reflejan los inputs compartidos.

El valor de los coeficientes beta indica el cambio de las desviaciones medias estándar en la variable dependiente “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” asociados con un cambio de la desviación estándar en la variable independiente.

Los coeficientes beta están influenciados por las diferentes desviaciones estándar de cada variable. Para las variables medidas en la misma unidad y con un similar coeficiente no estandarizado (“kg P_2O_5 fertilizantes ha⁻¹” y “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹”) aquellas con una alta desviación estándar puede tener un coeficiente beta alto.

Las desviaciones estándar de cada variable del modelo [7,] vienen representadas en la Tabla 52, indicando que la segunda variable “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹” con un coeficiente beta más relevante del sistema (0.89). El signo de éste coeficiente beta es positivo, lo que corrobora que un incremento de los inputs origina aumentos en la media del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹”. Este valor es fiel reflejo de los sistemas productivos de leche intensivos, al menos en Cantabria, donde el ganadero prefiere comprar concentrado a fertilizantes fosfatados, discutido anteriormente.

La primera variable en importancia es “kg P_2O_5 fertilizantes ha⁻¹” con un coeficiente beta de 0.89, que corrobora la hipótesis con las expectativas lógicas que un incremento de este input causa además un incremento en la media del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹”.

Tabla 52.- Desviaciones estándar de cada variable independiente del modelo [7_r]

	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Std.	Coefficiente Beta	% de los inputs
Fertilizantes ha ⁻¹	69	0	69	1.91	9.6	0.197	1.29
Alimentación ha ⁻¹	287	34	322	146.9	74.3	0.89	98.6
Vacas leche ha ⁻¹	3.79	1.05	4.84	2.71	0.96	-0.511	-
UGM totales	235	51	286	124.6	57.0	0.083	-
Cuota t ⁻¹	1840	210	2050	758	491	-0.14	-

En conclusión descensos en el porcentaje de P de las dietas o concentrados puede reducir el Surplus P₂O₅ ha⁻¹.

La tercera variable en importancia es “Vacas leche ha⁻¹” con un coeficiente beta de -0.51, corroborando la hipótesis que un incremento de este input causa además un aumento en los output, pero este es menor que el incremento en los inputs, debido a la ineficiencia del sistema de la explotación entre el suelo y los animales, que obstruyen la total transformación de los inputs en outputs.

La cuarta y quinta variable “UGM totales” y la “Cuota t⁻¹” tienen bajos coeficientes. El signo negativo de la cuota confirma la hipótesis que incrementos en el número de la misma descende el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹”.

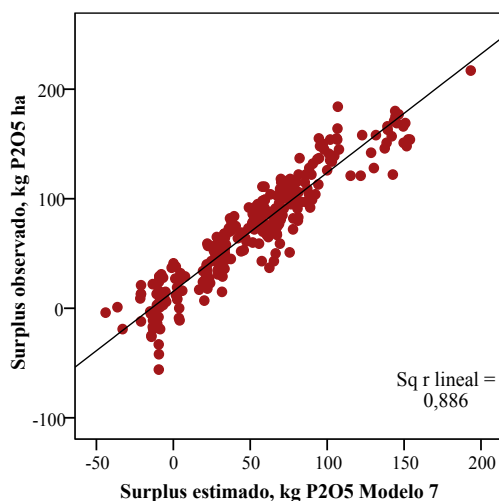
La diferencia en los coeficientes beta de las tres variables “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y “kg P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹” se debe a las diferencias de las desviaciones estándar (porque los coeficientes parciales son prácticamente iguales). Esto se demuestra mediante la comparación de la relación entre los coeficientes beta con la relación de las desviaciones estándar (Tabla 53).

Tabla 53.- Relación de los coeficientes beta y las desviaciones estándar de las variables independientes del modelo [10]

	Kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹ (1)	Kg P ₂ O ₅ fertilizantes ha ⁻¹ (2)	(1)/(2)
Coefficientes beta	0.197	0.89	0.22
Desviación estándar	9.6	74.3	0.13

La Figura 9 representa la relación entre el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” observada y la obtenida con el modelo [7_r] incluyendo el efecto random “Explotación”.

Figura 9.- Relación entre el Surplus P_2O_5 (Modelo 7_r estimado) y el observado



3.3.2. Interpretación de los modelos

El modelo [1] calculado por regresión simple del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” con la variable independiente “kg P_2O_5 fertilizante ha⁻¹”, de baja relevancia sobre el “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” e insignificante correlación ($r=0.03$). Por el contrario, el modelo [2] también con regresión simple y variable independiente “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹” muestra un buen coeficiente de determinación con bajo error estándar ($r^2=0.79 \pm 23.5$).

El modelo [3] de regresión múltiple incluye las variables “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹” y “kg P_2O_5 fertilizante ha⁻¹” exhibe mejor coeficiente de determinación ($r^2=0.83$) y menor error estándar (± 20.9) que el modelo [2]. Las pendientes de este modelo [3] respecto al [2] (Tabla 47), son muy semejantes (0.61 y 0.62 respectivamente) y, en ambos casos, coincidente con los valores observados de eficiencia de la explotación (ver Tabla 5 Capítulo 7, “*Balance de N y P*”).

El modelo [4] incluye las variables independientes “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹” y “% P en la dieta”, presenta similar coeficiente de determinación y error estándar ($r^2=0.79 \pm 23.1$) de la regresión al modelo [2].

El modelo [5] de regresión múltiple con las variables independientes “kg P_2O_5 fertilizante ha⁻¹”, “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹”, “UGM ha⁻¹”, “Vacas leche ha⁻¹” y “UGM totales”, el error estándar de la regresión disminuye e incrementa el coeficiente de determinación ($r^2=0.90 \pm 16.2$).

El modelo [6] de regresión múltiple con las variables independientes “kg P_2O_5 fertilizante ha⁻¹”, “kg P_2O_5 alimentación ha⁻¹”, “Vacas leche ha⁻¹”, “UGM totales” y “Cuota t⁻¹”, el error estándar de la regresión disminuye e incrementa el coeficiente de

determinación ($r^2=0.90 \pm 15.7$). La diferencia respecto al modelo [5] se sitúa en que la variable “UGM ha⁻¹” no es significativa y la “Cuota t⁻¹” sí ($P<0.001$).

3.3.3. Estimación del Surplus P₂O₅ ha⁻¹ según sistema de producción (*intensivo vs. semiintensivo*)

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

La Tabla 54 refleja las diferencias significativas entre sistemas de producción para las variables “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y la “Cuota t⁻¹”. La compra de fertilizantes fosfóricos y las vacas de leche por hectárea no son significativas, con valores medios de 1.26 kg ha⁻¹ y 2.78 vacas lecheras ha⁻¹ en los intensivos (Tabla 56) y 2.99 y 2.63 los semiintensivos (Tabla 59). Como cabía esperar, los intensivos con mayor cuota ($P<0.001$) son los más consumidores de P₂O₅ en forma de concentrados y forrajes ($P<0.001$).

■ ■ ■ Tabla 54.- Diferencias significativas de las variables independientes entre los diferentes sistemas de producción

	Significación sistema producción
Fertilizantes, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	NS
Concentrados, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	***
Forrajes, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	***
Vacas leche ha ⁻¹	NS
Cuota, t ⁻¹	***

NS: no significativo; *** $P<0.001$

El modelo del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” con idénticas variables independientes del modelo [6] (Tabla 55) es aceptado como bueno, porque muestra un elevado coeficiente de determinación ($r^2=0.91$), bajo error estándar de la regresión (14.7); los residuos no están autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores próximos a 2 considerado como óptimo.

No se detecta multicolinealidad entre variables. En ningún caso, la inflación de la varianza (FIV) es superior a 10. Además, el valor pronosticado típico de los residuos es 0 y su desviación típica es 1.0.

Tabla 55.- Estimación del “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” en los *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-2.76 ^{NS}	3.77				
Fertilizantes ha ⁻¹	1.07***	0.159	0.145	0.967	1.03	
Alimentación ha ⁻¹	0.97***	0.032	0.83	0.196	5.09	
Vacas leche ha ⁻¹	-28.49***	1.971	-0.616	0.248	4.03	
UGM totales	0.109***	0.037	0.140	0.200	5.01	
Cuota t ⁻¹	-0.017***	0.005	-0.173	0.169	5.93	
R ² =0.91						
Std de la estima=14.7						
Durbin-Watson=1.9						
N=207						

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = -2.76 + 1.07 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.97 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} - 28.49 \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 0.109 \text{ UGM totales} - 0.017 \text{ Cuota t}^{-1} \text{ [6]}$$

Tabla 56.- Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo intensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes ha ⁻¹	207	0	63.1	1.26	6.5	43
Alimentación ha ⁻¹	207	65	322	160	72.6	5277
Vacas leche ha ⁻¹	207	1.05	4.84	2.78	1.04	1.09
UGM totales	207	65	300	147	62.1	3857
Cuota t ⁻¹	207	365	2050	944	494	244028

El modelo [6] “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” en los semiintensivos, resulta menos efectivo que en los intensivos, si bien exhibe un buen coeficiente de determinación (r²=0.91), una mayor dispersión (15.6, Tabla 57) y el estadístico de Durbin-Watson próximo a 2, como valor óptimo. En este modelo si se detecta multicolinealidad para las variables “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” con las variables independientes “Vacas leche ha⁻¹”, “UGM totales” y “Cuota t⁻¹” como se desprende del análisis de correlación Tabla 58. Además, el diagnóstico de colinealidad FIV es superior a 10 para “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”, considerado como valor de referencia, distorsionando el modelo, dando lugar a valores de B grandes. Por lo tanto se eliminó la variable “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”, del modelo “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” porque aporta mayor proporción de la varianza.

Los resultados del nuevo modelo vienen representados en la (Tabla 59), donde el coeficiente de determinación no sufre grandes variaciones respecto al obtenido en la Tabla 57 (r²=0.83), aunque sí, incrementa 5.9 puntos el error estándar de la regresión, pero se elimina el problema de la multicolinealidad manifestado en el modelo de la Tabla 57, donde el valor la FIV disminuye de todas las variables independientes por debajo de 10 y el valor pronosticado típico de los residuos es 0 y 1.0 su desviación típica.

Tabla 57.- Estimación del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-12.28 ^{NS}	12.5				
Fertilizantes ha ⁻¹	1.05***	0.118	0.28	0.966	1.03	
Alimentación ha ⁻¹	0.885***	0.100	0.93	0.063	15.87	
Vacas leche ha ⁻¹	-17,74***	4.15	-0.289	0.209	4.79	
UGM totales	0.192 ^{NS}	0.171	0.091	0.144	6.93	
Cuota t ⁻¹	-0.025 ^{NS}	0.029	-0.066	0.155	6.44	
R ² =0.91						
Std de la estima=15.6						
Durbin-Watson=1.63						
N=92						

*** P<0.001; NS: no significativo

Tabla 58.- Análisis de correlación entre las variables independientes

	Fertilizante	Alimentación.	Vacas	UGM	Cuota
Fertilizante ha ⁻¹	1				
Alimentación ha ⁻¹	NS	1			
Vacas leche ha ⁻¹	NS	0.832**	1		
UGM totales	NS	0.947**	0.872**	1	
Cuota t ⁻¹	NS	0.526**	0.792**	0.544**	1

** P<0.01

Tabla 59.- Estimación del “Surplus P_2O_5 ha⁻¹” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	-107.9***	8.67				
Fertilizantes, P_2O_5 ha ⁻¹	0.95***	0.161	0.253	0.976	1.02	
Vacas leche ha ⁻¹	12.94***	3.2	0.211	0.693	1.44	
UGM totales	1.06***	0.193	0.504	0.215	4.64	
Cuota, t ⁻¹	0.093**	0.036	0.247	0.195	5.12	
R ² =0.84						
Std de la estima=21.5						
Durbin-Watson=1.79						
N=92						

*** P<0.001

$$\text{Surplus } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} = -107.9 + 0.95 \text{ kg } P_2O_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 12.94 \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 1.06 \text{ UGM totales} + 0,093 \text{ Cuota t}^{-1}$$

Tabla 60.- Análisis descriptivos de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
Fertilizantes, P_2O_5 ha ⁻¹	92	0	96	2.99	14.2	202
Vacas leche ha ⁻¹	92	1.21	4.5	2.63	0.86	0.75
UGM totales	92	48	123	80.9	25.2	639
Cuota, t ⁻¹	92	210	566	395	142	20167

3.3.4. Demostraci3n agron3mica del signo de la variable “Vacas leche ha⁻¹” para el conjunto de datos

De las cinco variables m3s importantes del modelo [6] pero de gran relevancia es “Vacas leche ha⁻¹”, con un coeficiente beta de -0.51, menos notable que 0.083 “UGM totales⁻¹” (Tabla 51). Cuando aumenta el n3mero de animales en ordeño (manteniendo constante los inputs), la producci3n total de P₂O₅ en leche y el excretado (heces y orina) incrementa, pero el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” disminuye. Esto ocurre en un intervalo limitado de vacas lecheras por hect3rea, pero si aumentan por encima de un valor m3ximo, los input de alimento por animal disminuyen sobre un m3nimo aceptable y puede originar menor producci3n de leche por vaca. Cuando los animales son alimentados seg3n sus necesidades o por encima de ellas, un ligero descenso en el consumo de alimento puede causar menor producci3n de leche por vaca para las primeras y, un pequeño o nulo descenso las segundas.

Salcedo y Mart3nez-Suller (sp) proponen una ecuaci3n para estimar los inputs de P₂O₅ en leche a partir del P₂O₅ ingerido vaca y d3a del tipo:

$$g \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ leche vaca d3a} = 47.8 + 0.091 \text{ g de P}_2\text{O}_5 \text{ ingerido vaca y d3a}; \pm 11 \text{ r}^2=0.13 \text{ [1]}$$

El rango de ingest3n de P₂O₅ (g vaca y d3a) en el presente trabajo var3a de 82 a 405 g con un valor medio de 194, equivalente a 85.4 g P vaca d3a.

La eficiencia de la vaca (Ef, %) es:

$$\text{Eficiencia, \%} = \frac{\text{g de P}_2\text{O}_5 \text{ leche vaca y d3a}}{\text{g de P}_2\text{O}_5 \text{ consumido vaca y d3a}} \times 100$$

Sustituyendo los g de P₂O₅ en leche vaca y d3a de la f3rmula [1]:

$$\text{Eficiencia, \%} = 0.091 + \frac{47.8}{\text{g de P}_2\text{O}_5 \text{ consumido vaca y d3a}} \times 100$$

La definici3n de Surplus es:

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 = \text{Input P}_2\text{O}_5 - \text{Output P}_2\text{O}_5$$

Dos escenarios diferentes son testados:

Escenario 1: El consumo de P₂O₅ total para las vacas de ordeño es fijo como input₁ y alimento a n₁ vacas.

$$\text{Surplus} = \text{Input} - \text{Output}$$

Output₁ es:

$$\text{Output}_1 = \text{Leche Output}_1 + \text{Carne Output}_1 + \text{Cultivos Output}_1$$

Leche Output₁ es:

$$\text{Leche Output}_1 = \text{Producci3n de total de la leche}_1$$

$$\text{Leche Output}_1 = n_1 \times \text{Producción de P}_2\text{O}_5 \text{ total de la leche por vaca}^{-1}_1$$

donde n_1 es el número de vacas.

$$\text{Producción de P}_2\text{O}_5 \text{ total de la leche por vaca}^{-1}_1 = \text{P}_2\text{O}_5 \text{ ingerido vaca}^{-1}_1 \times 0.091 + 47.8$$

$$\text{P2O5 consumido vaca} = \frac{\text{P2O5 alimenticio total input}_1}{n_1}$$

$$\text{P2O5 producido por vaca} = \frac{\text{P2O5 alimenticio total input}_1}{n_1} \times 0.091 + 47.8$$

Escenario 2: El consumo total de P_2O_5 es constante = input_1 P_2O_5 alimenticio y el número de vacas incrementa a n_2 .

$$\text{Surplus}_2 = \text{Input}_1 - \text{Output}_2$$

Output₂ es:

$$\text{Output}_2 = \text{Leche Output}_2 + \text{Carne Output}_2 + \text{Cultivos Output}_2$$

Leche Output₁ es:

$$\text{Leche Output}_2 = \text{Producción de P}_2\text{O}_5 \text{ total de la leche}_2$$

$$\text{Leche Output}_2 = n_2 \times \text{Producción de P}_2\text{O}_5 \text{ total de la leche por vaca}^{-1}_2$$

donde n_1 es el número de vacas.

$$\text{Producción de P}_2\text{O}_5 \text{ total de la leche por vaca}^{-1}_2 = \text{P}_2\text{O}_5 \text{ ingerido vaca}^{-1}_2 \times 0.091 + 47.8$$

$$\text{P2O5 consumido vaca} = \frac{\text{P2O5 alimenticio total input}_1}{n_1}$$

$$\text{P2O5 producido por vaca} = \frac{\text{P2O5 alimenticio total input}_2}{n_2} \times 0.091 + 47.8$$

Para comprobar la veracidad de la hipótesis es procesado como sigue:

$$\text{Surplus}_1 > \text{Surplus}_2$$

$$\text{Input}_1 - \text{Output}_1 > \text{Input}_1 - \text{Output}_2$$

$$\text{Output}_1 > \text{Output}_2$$

$$\text{Producción total de P}_2\text{O}_5 \text{ en leche}_1 > \text{Producción total de P}_2\text{O}_5 \text{ en leche}_2$$

$$n_1 \times \text{producción total de P}_2\text{O}_5 \text{ en leche vaca}_1 > n_2 \times \text{producción total de P}_2\text{O}_5 \text{ en leche vaca}_2$$

$$n_1 \times \left[\frac{\text{P2O5 total input}_1}{n_1} \times 0.091 + 47.8 \right] < n_2 \times \left[\frac{\text{P2O5 total input}_2}{n_2} \times 0.091 + 47.8 \right]$$

$$\text{Total P}_2\text{O}_5 \text{ input}_1 \text{ alimentos} \times 0.04 + 20.92 \times n_1 < \text{Total P}_2\text{O}_5 \text{ input}_1 \text{ alimentos} \times 0.091 + 47.8 \times n_2$$

$$n_1 < n_2$$

lo que prueba la veracidad de los resultados.

En la ecuaci3n el t3rmino de la izquierda es siempre menor que el de la derecha, porque el n3mero de vacas en el escenario 2 incrementa con respecto al escenario 1.

Ejemplo: seleccionamos dos escenarios con diferente n3mero de vacas y constante input de P₂O₅ alimenticio.

Chequeamos que la suma de la producci3n de P₂O₅ en leche con la adici3n de vacas es m3s alta que la suma del descenso de P₂O₅ producido de la leche por vaca:

Escenario 1: el n3mero de vacas es la media durante los a3os 2007 y 2008 y el consumo de P₂O₅ (kg d3a) corresponde al valor observado en los modelos intensivos y semiintensivos. La producci3n de P₂O₅ en leche (kg d3a) estimada a partir de la ecuaci3n [1] propuesta por Salcedo y Mart3nez-Suller (sp). La superficie total y el Surplus P₂O₅ ha⁻¹ para cada sistema de producci3n es de 35.5 ha⁻¹ y 75.7 kg P₂O₅ en los intensivos y 20.7 ha⁻¹ y 51.7 kg P₂O₅ los semiintensivos. El P₂O₅ total excretado en heces y orina (kg d3a) calculado seg3n la ecuaci3n propuesta por Salcedo (2007):

$$g \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ heces y orina (g d3a}^{-1}) = [-13.9 + (0,71 \times P \text{ ingerido} - g \text{ d}^{-1})] \times 2.3; \pm 1.67 \text{ r}^2=0.90 \text{ [2]}$$

Escenario 2: en este escenario se ha incrementado un 2% el n3mero de vacas

El consumo de P₂O₅ en kilogramos vaca y d3a corresponde al del escenario 1. Los kilogramos de P₂O₅ total (kg de P₂O₅ total por d3a x n3o vacas) se ha dividido entre el n3mero de vacas (+2%). La producci3n total de P₂O₅ leche (kg d3a) se estim3 a partir de la ecuaci3n [1] por el n3mero de vacas del escenario 2 en cada sistema de producci3n.

La diferencia en producci3n de leche dentro de cada sistema se estim3 restando la del escenario 1 al 2.

El ejemplo viene representado en la Tabla 61.

Tabla 61.- Diferencia de producci3n de P₂O₅ en leche y el total excretado en heces para los sistemas intensivos vs. semiintensivos de ambos escenarios

	N3mero vacas	P ₂ O ₅ consumido, kg vaca y d ⁻¹	P ₂ O ₅ leche, kg vaca y d ⁻¹	Input P ₂ O ₅ alimenticio kg d ⁻¹	Output P ₂ O ₅ leche kg d ⁻¹	P ₂ O ₅ total excretado, kg d ⁻¹
Intensivos						
Escenario 1	90	0.194	0.0654	17.46	5.89	11.15
Escenario 2	91	0.192	0.0652	17.46	5.94	11.13
Semiintensivos						
Escenario 1	53	0.48	0.0654	10.28	3.47	6.56
Escenario 2	54	0.471	0.065	10.28	3.51	6.53

El porcentaje de esta diferencia en el total del Surplus ha⁻¹ y a3o es calculado en base a la media del Surplus ha⁻¹ dentro de cada sistema de producci3n y escenario. Incrementos de 1 vaca en los intensivos y semiintensivos, equivalen a aumentos de 0.516 y 0.705 kilogramos respectivamente en la producci3n anual. Estos valores

representan descensos en el Surplus por ha⁻¹ y año de 0.67% en los intensivos y 1.53% los semiintensivos (Tablas 62 y 63).

Por su parte (Salcedo, 2007) propone la ecuación [2] para estimar el P₂O₅ excretado por vaca y día en heces y orina. La suma total para los escenarios 1 y 2 en ambos sistemas de producción, resulta similar al obtenido por las ecuaciones de 11.15 y 11.13 kg día para los intensivos y 6.56 y 6.53 kg día los semiintensivos (Tabla 61).

Tabla 62.- Sistemas intensivos

<i>Sistemas intensivos</i>	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
Nº vacas	90			90			90		
P ₂ O ₅ ingerido, kg vaca día	0.194			0.244			0.144		
P ₂ O ₅ producido leche, kg vaca día	0.065			0.070			0.060		
P ₂ O ₅ total ingerido, kg día	17.46			21.96			12.96		
P ₂ O ₅ total leche, kg día	5.89			6.3			5.48		
P ₂ O ₅ excretado, kg vaca día	0.123			0.159			0.088		
P ₂ O ₅ total excretado, (H+O) kg día	11.15			14.34			7.95		
Surplus, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	75.7			75.7			75.7		
Superficie, ha ⁻¹	35.3			35.3			35.3		
	Escenario			Escenario			Escenario		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Nº vacas	91	96	101	91	96	101	91	96	101
P ₂ O ₅ ingerido, kg vaca día	0.192	0.182	0.173	0.241	0.229	0.217	0.142	0.135	0.128
P ₂ O ₅ producido leche, kg vaca día	0.0652	0.0643	0.0635	0.0697	0.0686	0.0675	0.0607	0.06	0.0594
P ₂ O ₅ total leche, kg día	5.94	6.18	6.42	6.35	6.59	6.82	5.53	5.77	6
P ₂ O ₅ excretado, kg vaca día	0.122	0.102	0.096	0.143	0.134	0.126	0.075	0.070	0.066
P ₂ O ₅ total excretado, (H+O) kg día	11.13	9.81	9.7	12.98	12.87	12.76	6.86	6.75	6.64
Diferencia P ₂ O ₅ total leche, kg día	0.05	0.29	0.53	0.05	0.29	0.52	0.05	0.29	0.52
Dif. Outputs kg P ₂ O ₅ leche año	18.16	105.3	129.6	16.6	105.6	190.6	16.6	105.1	191.3
% del surplus	0.676	3.92	7.16	0.61	3.93	7.09	0.62	3.91	7.12
Dif. P ₂ O ₅ total excretado, kg año	-0.018	-1.34	-1.44	-1.36	-1.47	-1.57	-1.09	3.99	3.89

H: heces; **O:** orina

Tabla 63.- Sistemas semiintensivos

<i>Sistemas semiintensivos</i>	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
Nº vacas	53			53			53		
P ₂ O ₅ ingerido, kg vaca día	0.194			0.244			0.144		
P ₂ O ₅ producido leche, kg vaca día	0.0654			0.070			0.0609		
P ₂ O ₅ total ingerido, kg día	10.28			12.93			7.63		
P ₂ O ₅ total leche, kg día	3.47			3.71			3.23		
P ₂ O ₅ excretado, kg vaca día	0.123			0.159			0.088		
P ₂ O ₅ total excretado (H+O) kg día	6.56			8.45			4.68		
Surplus, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	51.7			51.7			51.7		
Superficie, ha ⁻¹	20.7			20.7			20.7		
	Escenario			Escenario			Escenario		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Nº vacas	54	58	62	54	58	62	54	58	62
P ₂ O ₅ ingerido, kg vaca día	0.190	0.177	0.166	0.239	0.223	0.209	0.141	0.132	0.123
P ₂ O ₅ producido leche, kg vaca día	0.065	0.0639	0.0629	0.0695	0.068	0.0668	0.0606	0.0598	0.0589
P ₂ O ₅ total leche, kg día	3.51	3.71	3.9	3.76	3.95	4.14	3.27	3.47	3.66
P ₂ O ₅ excretado, kg vaca día	0.121	0.112	0.104	0.156	0.144	0.134	0.086	0.080	0.073
P ₂ O ₅ total excretado, (H+O) kg día	6.53	6.48	6.45	8.41	8.38	8.34	4.66	4.63	4.55
Diferencia P ₂ O ₅ total leche, kg día	0.04	0.24	0.43	0.05	0.24	0.43	0.04	0.24	0.43
Dif. Outputs kg P ₂ O ₅ leche, año	16.37	86.36	157	16.66	87.3	157.9	16.09	87.2	156
% del surplus	1.53	3.21	5.84	0.62	3.25	5.87	0.599	3.24	5.8
Dif. P ₂ O ₅ total excretado, kg año	-0.026	-0.077	-0.114	-0.037	-0.073	-0.112	-0.025	-0.05	-0.127

H: heces; **O:** orina

El incremento del número de vacas compensa el descenso en la producción de P_2O_5 por vaca. Los ejemplos de las Tablas 62 y 63 ilustran el incremento de una vaca, favorece la producción de 18.1 kg de P_2O_5 por año y 16.3 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente; reduciéndose la media del Surplus P_2O_5 ha^{-1} 0.67% y 1.53%.

Cuando se aumenta el número de vacas de 90 a 96 en los intensivos y de 53 a 58 los semiintensivos, la producción de leche incrementa 105.3 y 83.3 kg P_2O_5 $año^{-1}$, reduciéndose la media del “Surplus N ha^{-1} ” en 3.92% y 3.21% respectivamente (Tablas 62 y 63). En conclusión, incrementando el número de vacas para aumentar la producción total de P_2O_5 (y reducir la excreción total) con ánimo de reducir el Surplus ha^{-1} , ofrece pequeña ventaja en las explotaciones de baja carga ganadera o en explotaciones con alto consumo de P_2O_5 por vaca. Esto es válido, si el consumo de P_2O_5 permanece constante al aumento del número de vacas de leche.

De todos los minerales esenciales para el ganado, el fósforo representa el mayor potencial de riesgo medioambiental vía contaminación de la superficie del agua (NRC, 2001). En rumiantes, la mayoría del fósforo excretado procede de las heces (69% del ingerido); 30% en leche y 1% de la orina (Amaral, 2000). En las condiciones donde se realizó el experimento, la eficiencia media o el P_2O_5 recuperado en leche respecto al ingerido se sitúa en porcentajes de $35.4 \pm 8.26\%$ en los sistemas intensivos; $34.3 \pm 9.59\%$ los semiintensivos, para un valor medio para el conjunto de explotaciones es $35.1 \pm 8.6\%$. En todos los casos similar al señalado por Amaral (2000).

Tanto el ganado lechero como el de reposición, requieren un suministro adecuado de fósforo para la remineralización del hueso, secreción de leche, metabolismo energético, transporte de ácidos grasos, síntesis de fosfolípidos, metabolismo de los aminoácidos y síntesis de proteína (NRC, 2001). Las concentraciones de fósforo recomendadas por el NRC (2001) para novillas de reposición se sitúan entre 0.30% y 0.35%, asegurando un buen desarrollo del esqueleto y concentraciones aceptables de fósforo en sangre. Sin embargo, en vacas lecheras Sansinema *et al.* (1999), Powell *et al.* (1999) y Goodall *et al.* (2000) señalan aportes de fósforo superior al 30% y 40% en la mayoría de las dietas, respecto a las necesidades teóricas (NRC, 2001). Porcentajes inferiores al 0.2% pueden comprometer la reproducción, pero no con 0.32%, tanto en novillas como vacas lactantes (Wu y Satter, 2000). Por su parte Ferris *et al.* (2004), no observan efectos significativos sobre la producción de leche y fertilidad, durante un estudio de dos años con vacas primíparas

alimentadas a dos niveles de fósforo en el concentrado (0.53% y 0.38% sobre materia seca). Si bien, desde un punto de vista medioambiental, la menor concentración se reduce un 45% la excreción de fósforo en heces. En el presente trabajo, la concentración media de P en las dietas fue de $0.43\pm 0.08\%$; $0.39\pm 0.09\%$ y $0.41\pm 0.09\%$ sobre materia seca; en ambos casos superior a 0.32% señalado por (Wu y Satter, 2000), lo que representa aportes superiores del 24.9%; 19.4% y 21.6% en las explotaciones intensivas, semiintensivas y en conjunto respectivamente.

Por su parte Kolesch y Lesoing (1999), establecen tres categorías de riesgo ambiental a partir de las entradas y salidas: (Riesgo bajo 0:1; moderado: 1:1 a 1:2 y elevado $> 2:1$). Según dicha clasificación, el riesgo ambiental medio para las intensivas es de 1.93 ± 0.48 ; 1.74 ± 0.82 las semiintensivas y 1.87 ± 0.61 conjunto explotaciones, siendo lineal hasta 200 kg de P ha⁻¹ y año de input; después disminuye, imputable al número de animales presentes en la explotación (Figura 10). Sin embargo, para las vacas lecheras las relaciones obtenidas son superiores, 3.02 ± 0.65 ; 3.24 ± 1.03 y 3.09 ± 0.79 las intensivas, semiintensivas y conjunto explotaciones respectivamente, obteniéndose una respuesta lineal ($r^2=0.48$) (Figura 11).

■ ■ ■ **Figura 10.-** Relación entre la entradas totales de P₂O₅ en la explotación y el riesgo ambiental

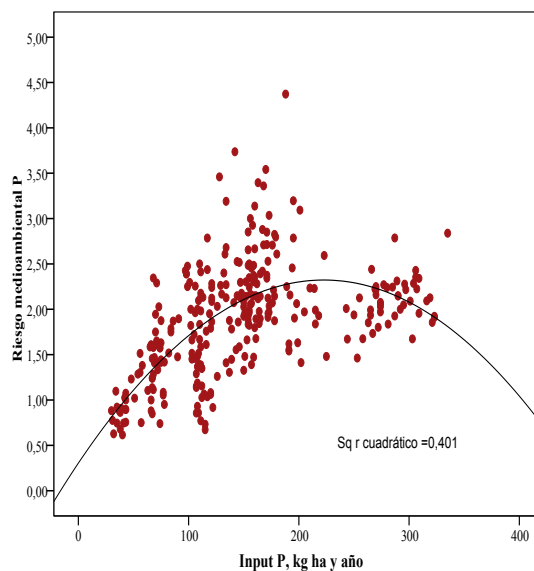
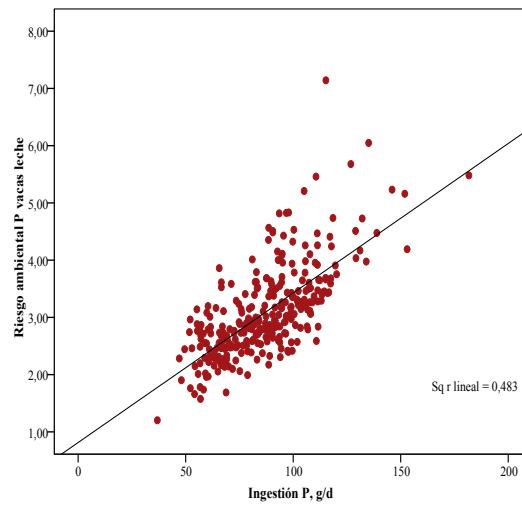


Figura 11.- Relación entre la ingestión de fósforo (g vaca día) con el riesgo ambiental





4. Modelizado de la “Eficiencia P_2O_5 ”

4.4. Resultados y discusión

La Tabla 64 señala las correlaciones (Pearson) entre diferentes variables independientes con la dependiente “Eficiencia, %” y el incremento en porcentaje del coeficiente de correlación respecto a la “Eficiencia del N, %”.

■ **Tabla 64.-** Correlaciones entre la variable dependiente “Eficiencia” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, número de grupo de cada variable

	Eficiencia	Incremento (%) respecto al N
P_2O_5 alimento, $kg\ ha^{-1}$ (2)	-0.515**	+98
Novillas menos 12 meses (3)	-0.45**	+26.7
UGM totales (3)	-0.437**	+28.5
Vacas leche (3)	-0.438**	+65.2
Vacas secas (3)	-0.437**	+15.9
Novillas 12 a 24 meses (3)	-0.429**	+28
% P dieta (2)	-0.401**	
Cuota (4)	-0.37**	+51.6
Superficie total, ha^{-1} (5)	-0.363**	+9.6
Superficie maíz, ha^{-1} (5)	-0.33**	
Kg concentrado vaca ⁻¹ año (2)	-0.26**	
Has UGM (3)	0.232**	+57.8
Leche ha^{-1} año (4)	-0.137**	
Superficie pradera, ha^{-1} (5)	-0.194**	
UGM ha^{-1} (3)	-0.184**	+41.5
Kg forraje vaca año	-0.187**	
P_2O_5 fertilizante, $kg\ ha^{-1}$ (1)	-0.165**	
Vacas leche ha^{-1} (3)	-0.145*	
P leche, $kg\ ha^{-1}$ (4)	-0.129*	

(1) Modelo con P_2O_5 comprado como fertilizantes; (2) Modelo con P_2O_5 comprado como alimentos; (3) Modelo carga ganadera; (4) Modelo producción de leche; (5) Modelo superficie y dedicación de la misma

Al igual que ocurre con la Eficiencia del N, las correlaciones de las variables independientes con la dependiente “Eficiencia” son menores que la variable del “Surplus $P_2O_5\ ha^{-1}$ ” (Tabla 44). Dicha Tabla señala el porcentaje de correlación entre la Eficiencia P_2O_5 respecto a la Eficiencia N.

Las correlaciones aquí obtenidas para la “Eficiencia” sugieren una ecuación de regresión múltiple con bajo poder de predicción.

4.1. Desarrollo de diferentes modelos

El modelo [1E] calculado por regresión simple de la “Eficiencia” (Tabla 65) con la variable independiente “kg de P_2O_5 fertilizantes ha^{-1} ” del **Grupo 1** porque es la variable que la bibliografía señala como la más relevante, manifiesta un bajo coeficiente de correlación ($r=-0.16$) en el presente trabajo (Tabla 64). Este modelo presenta poca información.

Tabla 65.- Análisis de regresión simple de la “Eficiencia” con los “kg de P₂O₅ fertilizantes ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	61.56***	1.49	
Kg P ₂ O ₅ de fertilizante ha ⁻¹	-0.442***	0.153	-0.165

*** P<0.001

$$\text{Eficiencia} = 61.5 (1.49) - 0.442 (0.153) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizante}; \pm 25.3 \text{ } r^2=0.027 \text{ [1E]}$$

El modelo [2E] calculado por regresión múltiple de la “Eficiencia” (Tabla 66) incluye la variable independiente “kg P₂O₅ alimentos ha⁻¹” del **Grupo 2** (Tabla 64) por ser la primera de mayor correlación (r=-0.51) y señalada en la bibliografía de importancia sobre la “Eficiencia”.

Tabla 66.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹” y “kg P₂O₅ fertilizante ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	38.43	2.8	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.182***	0.017	-0.523
kg P ₂ O ₅ fertilizante ha ⁻¹	-0.503***	0.13	-0.188

*** P<0.001

$$\text{Eficiencia} = 38.4 (2.8) - 0.182 (0.017) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} - 0.503 (0.13) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizante}; \pm 21.5 \text{ } r^2=0.30 \text{ [2E]}$$

El modelo [3E] (Tabla 67) incluye la variable independiente “Superficie total ha⁻¹” **Grupo 5**; la “Cuota t⁻¹” **Grupo 4** y el “consumo de concentrado vaca año” **Grupo 2**, por presentar moderados coeficientes de correlación (r=-0.36; r=-0.37 y r=-0.26 respectivamente), mejorando significativamente el coeficiente de determinación y el error estándar de la regresión, sin observarse colinealidad entre ellas.

Tabla 67.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”; “Superficie total ha⁻¹”; “Cuota t⁻¹” y “Concentrado vaca año”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	151.9***	6.52			
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.349***	0.022	-1.0	0.376	2.65
Total ha ⁻¹	-1.26***	0.108	-0.73	0.395	2.52
Cuota t ⁻¹	0.042***	0.004	0.802	0.226	4.24
Concentrado, kg vaca año	-0.009***	0.002	-0.253	0.749	1.33

*** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia} = 151.9 (6.52) - 0.349 (0.02) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} - 1.26 (0.10) \text{ Total ha}^{-1} + 0.042 (0.004) \text{ Cuota} - 0.009 \text{ kg concentrado vaca y año (0.002)}; \pm 17.3 \text{ } r^2=0.55 \text{ [3E]}$$

El modelo [4E] (Tabla 68), presenta mejoras en el coeficiente de determinación respecto al [3E] cuando la superficie total se divide en la dedicada a pradera y maíz, disminuyendo ligeramente el error estándar de la regresión.

Tabla 67.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”; “Superficie pradera ha⁻¹”; “Cuota t⁻¹”; “Superficie maíz ha⁻¹” y “Concentrado vaca año”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	168.09***	7.04				
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.395***	0.027	-0.955	0.41	2.42	
Superficie pradera ha ⁻¹	-0.98***	0.17	-0.358	0.44	2.24	
Cuota t ⁻¹	0.043***	0.004	-0.837	0.24	4.15	
Superficie maíz ha ⁻¹	-1.31***	0.124	-0.76	0.34	2.90	
Concentrado, kg vaca año	-0.013***	0.002	-0.369	0.57	1.75	

*** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia} = 168.09 (7.04) - 0.395 (0.027) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} - 0.98 (0.17) \text{ Superficie pradera} + 0.043 (0.004) \text{ Cuota} - 1.31 (0.124) \text{ Superficie maíz} - 0.013 (0.002) \text{ kg concentrado vaca y año}; \\ \pm 16.14 \text{ } r^2 = 0.65 \text{ [4E]}$$

El modelo [5E] (Tabla 69) incluye el modelo [4E] y variable independiente del Grupo 3 “UGM ha⁻¹” por presentar ligero coeficiente de correlación ($r = -0.184$).

Tabla 69.- Análisis de regresión múltiple de la “Eficiencia” con los “kg P₂O₅ alimentación ha⁻¹”; “Superficie pradera ha⁻¹”; “Cuota t⁻¹”; “Superficie maíz ha⁻¹”; “Concentrado vaca año” y “UGM ha⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	140.7***	9.35				
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.521***	0.04	-0.78	0.179	5.58	
Cuota t ⁻¹	0.035***	0.005	0.684	0.202	4.95	
Superficie maíz ha ⁻¹	-0.876***	0.158	-0.506	0.196	5.10	
Superficie pradera ha ⁻¹	-0.46**	0.206	-0.169	0.288	3.47	
Concentrado vaca año	-0.013***	0.002	-0.351	0.567	1.76	
UGM ha ⁻¹	7.81***	1.84	0.445	0.148	6.75	

** P<0.01; *** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia} = 140.7 (9.35) - 0.521 (0.04) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} + 0.035 (0.005) \text{ Cuota} - 0.876 (0.158) \text{ Superficie maíz} - 0.46 (0.20) \text{ Superficie pradera} - 0.013 (0.002) \text{ kg concentrado vaca y año} + 7.81 (1.84) \text{ UGM ha}^{-1}; \\ \pm 15.19 \text{ } r^2 = 0.68 \text{ [5E]}$$

4.2. Interpretación de los resultados

Los modelos [4_E y 5_E] son elegidos candidatos para estimar la eficiencia de la explotación. Para mejorar el modelo [4_E] un efecto random “Explotación” (30%) es incluido para comprobar la bondad del modelo (Tabla 70).

■ ■ **Tabla 70.-** Modelo [4_E] con efecto random “Explotación” [6_{Er}]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	150.3***	12.8	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.40***	0.048	-0.87
Cuota t ⁻¹	0.048***	0.007	0.48
Superficie pradera ha ⁻¹	-1.65***	0.307	-0.648
Superficie maíz ha ⁻¹	-1.48***	0.20	-0.885
Concentrado, kg vaca año	-0.006 ^{NS}	0.004	-0.171
R ² =0.66			
Std de la estima=14.2			
Nº grupos=59			

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Eficiencia} = 150.3 (12.8) - 0.40 (0.04) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} + 0.048 (0.007) \text{ Cuota} - 1.65 (0.307) \text{ Superficie pradera} - 1.48 (0.20) \text{ Superficie maíz} - 0.006 (0.004) \text{ kg concentrado vaca y año [6}_{Er}]$$

Los coeficientes no estandarizados del modelo [6_{Er}] indican que descensos de 1 kg de “P₂O₅ alimentación P₂O₅ ha⁻¹” puede aumentar la eficiencia de la explotación en 0.40 unidades porcentuales si se mantienen constantes las otras variables. De igual modo, incrementos de 1 hectárea de pradera y maíz puede aumentar la eficiencia de la explotación en 1.65 y 1.48 unidades porcentuales respectivamente. El signo de estos coeficientes estandarizados es negativo y, como cabía esperar, contrarios al Surplus ha⁻¹, lo que significa que la salida puede descender significativamente menos cuando se disminuye los kg de P₂O₅ alimentación o incrementa la superficie dedicada a pradera o maíz. Por el contrario, aumentos de una tonelada de cuota puede representar descensos de 0.048 unidades porcentuales en la eficiencia. El consumo de concentrado no es significativo, lo que cabe pensar que la eficiencia se más afectada por la concentración de P₂O₅ del concentrado que el consumo de éste por vaca y año.

Para mejorar el modelo [5_E] un efecto random “Explotación” (30%) es incluido para comprobar su bondad (Tabla 71), modelo [7_{Er}], presentando mayor coeficiente de determinación y, menor error estándar de la regresión respecto al modelo [5_E], sin variaciones importantes para los coeficientes no estandarizados de las variables independientes “P₂O₅ alimentación”; “Cuota” y “Superficie pradera y maíz ha⁻¹”.

Tabla 71.- Modelo [5_E] con efecto random “Explotación” [7_{Er}]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	102.8***	16.4	
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.58***	0.062	-0.73
Cuota t ⁻¹	0.03***	0.08	0.707
Superficie maíz ha ⁻¹	-0.814***	0.244	-0.485
Superficie pradera ha ⁻¹	-0.704 ^{NS}	0.36	-0.27
Concentrado, kg vaca año	-0.004 ^{NS}	0.003	-0.11
UGM ha ⁻¹	12.34***	3.09	0.84
R ² =0.74			
Std de la estima=12.5			
Nº grupos=59			

*** P<0.001; NS: no significativo

$$\text{Eficiencia} = 102.8 (16.4) - 0.58 (0.062) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} + 0.03 (0.08) \text{ Cuota} - 0.814 (0.244) \text{ Superficie maíz} - 0.704 (0.36) \text{ Superficie pradera} - 0.004 (0.003) \text{ kg concentrado vaca y año} + 12.34 (3.09) \text{ UGM ha}^{-1} [7_{Er}]$$

4.3. Estimación de la Eficiencia según sistema de producción (*intensivo* vs. *semiintensivo*) modelos [7_{Er}]

Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

Como señala la Tabla 72, diferencias significativas son observadas entre sistemas de producción (P<0.001) para las variables “P₂O₅ alimentos ha⁻¹”; “Cuota t⁻¹”; “Superficie pradera ha⁻¹”; “Superficie maíz ha⁻¹”; “UGM ha⁻¹” y “Concentrado, kg vaca año”, con valores medios de 161-115; 944-395; 20.4-16.6; 17.8-8.9; 4.43-3.96 y 4039-3207 los intensivos y semiintensivos respectivamente.

Tabla 72.- Diferencias significativas de las variables independientes entre sistemas de producción

	Significación sistema producción
Alimentación, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	***
Cuota, t ⁻¹	***
Superficie pradera, ha ⁻¹	***
Superficie maíz, ha ⁻¹	***
UGM ha ⁻¹	***
Concentrado, kg vaca año	***

*** P<0.001

El modelo “Eficiencia” con idénticas variables independientes del modelo [7_{Er}] es aceptado como válido (Tabla 73), presenta buen coeficiente de determinación (r²=0.74); bajo error estándar de la regresión (12.5) y los residuos no están autocorrelacionados como indica el estadístico de Durbin-Watson con valores de 2 que son los más óptimos. No se detecta multicolinealidad, ninguna variable el FIV es

superior a 10 y el valor pronosticado típico de los residuos es 0 y su desviación típica es 1.0.

Tabla 73.- Estimación de la “Eficiencia” en los *intensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	104.1***	14.6				
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.57**	0.05	-0.76	0.123	8.09	
Cuota t ⁻¹	0.03***	0.005	0.78	0.134	7.48	
Superficie maíz ha ⁻¹	-0.635***	0.146	-0.528	0.174	5.73	
Superficie pradera ha ⁻¹	-0.139 ^{NS}	0.189	-0.072	0.27	3.7	
Concentrado, kg vaca año	-0.007**	0.003	-0.212	0.387	2.58	
UGM ha ⁻¹	-11.48***	1.75	0.876	0.145	6.91	
R ² =0.60						
Std de la estima=12.9						
Durbin-Watson=1.92						
N=160						

** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia} = 104.1 (14.6) - 0.57 (0.05) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} + 0.03 (0.005) \text{ Cuota} - 0.635 (0.146) \text{ Superficie maíz} - 0.139 (0.189) \text{ Superficie pradera} - 0.007 (0.003) \text{ kg concentrado vaca y año} - 11.48 (1.75) \text{ UGM ha}^{-1}$$

Tabla 74.- Análisis descriptivo de las variables independientes del modelo intensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	207	65	322.5	160.6	72.6	5277
Cuota t ⁻¹	207	365	2050	945	494	244028
Superficie maíz ha ⁻¹	207	4	65	17.8	17.04	290.7
Superficie pradera ha ⁻¹	207	0	34	20.3	9.8	96.8
Concentrado, kg vaca año	207	2376	5064	4039	632	399515
UGM ha ⁻¹	207	1.91	8.04	4.43	1.46	2.13

Para los semiintensivos, el modelo [7_{Er}] exhibe colinealidad entre todas las variables independientes, adoptándose otro que no la presentase, representado en la Tabla 75.

Tabla 75.- Estimación de la “Eficiencia” en los *semiintensivos*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV	
Constante	146.2***	8.83				
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	-0.481***	0.081	-0.912	0.152	6.56	
Cuota t ⁻¹	0.125***	0.039	0.516	0.144	6.93	
Superficie pradera ha ⁻¹	-1.49***	0.49	-0.258	0.71	1.39	
UGM totales	-1.49***	0.41	-0.258	0.71	1.39	
R ² =0.68						
Std de la estima=19.8						
Durbin-Watson=1.93						
N=92						

*** P<0.001; FIV: factor de inflación de la varianza

$$\text{Eficiencia} = 146.2 (8.83) - 0.481 (0.081) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación} + 0.125 (0.039) \text{ Cuota} - 1.49 (0.49) \text{ Superficie pradera} - 1.49 (0.41) \text{ UGM totales}$$

Tabla 76.- Análisis descriptivo de las variables independientes del modelo semiintensivo

	N	Mínimo	Máximo	Media	Std	Varianza
kg P ₂ O ₅ alimentación ha ⁻¹	92	30	238	115	65.5	4290
Cuota t ⁻¹	92	210	566	395	142	20167
Superficie pradera ha ⁻¹	92	4	26	16.5	5.9	35.8
UGM totales	92	48	123	81	25.2	639

5. Conclusiones

El objetivo de este experimento es desarrollar modelos de regresión múltiple para determinar el “Surplus N y P₂O₅ ha⁻¹” y la “Eficiencia del N y P₂O₅ ha⁻¹” en explotaciones lecheras en Cantabria de diferente sistema de producción (intensivos vs. Semiintensivos).

El criterio principal para seleccionar las variables fueron:

- 1) Que las variables independientes elegidas sean de fácil medición, o al menos se disponga de información en la explotación.
- 2) Las variables independientes elegidas estén señaladas en la literatura como influyentes sobre el “Surplus y “Eficiencia”, consideradas como dependientes.
- 3) Controlar la mayoría de las variables y evitar estimadores sesgados.
- 4) Cumplir todas las hipótesis de regresión múltiple.
- 5) Lograr un bajo grado de multicolinealidad.
- 6) Obtener modelos con un mínimo aceptable capacidad de predicción.

Dos coeficientes diferentes son estudiados en orden a evaluar el impacto de cada variable independiente en la variable dependiente y la relativa importancia de las variables independientes:

3. Los coeficientes no estandarizados
4. Los coeficientes estandarizados (beta)

5.1. Modelo “Surplus N ha⁻¹”

Para el conjunto de explotaciones el modelo elegido como válido que estima el “Surplus N ha⁻¹” es el [9]:

$$\text{Surplus N ha}^{-1} = 11.8 (5.31) + 1.0 (0.014) \text{ kg N fertilizantes ha}^{-1} + 0.993 (0.024) \text{ kg N forrajes ha}^{-1} + 0.879 (0.039) \text{ kg N concentrados ha}^{-1} - 40.14 (3.75) \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0.03 \text{ Cuota (0.006)}; \pm 29.5 \text{ r}^2=0.98$$

En la Tabla 77 se señalan los coeficientes Beta, indicando la prioridad las variables independientes sobre el “Surplus N ha⁻¹”

■ ■ ■ **Tabla 77.-** Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [9]

Orden de acción	Incremento	Decrece
1		Forrajes (0.816)
2		Fertilizantes (0.586)
3		Concentrados (0.340)
4	Vacas leche (-0.189)	
5	Cuota (-0.070)	

Al convertir en porcentaje los coeficientes beta del modelo [9] (Tabla 78), no se observan cambios en el orden de acción de cada variable independiente. Las tres variables que descienden el “Surplus N ha⁻¹” es la compra de forrajes, fertilizantes y concentrados. Estos resultados son coincidentes con los señalados en la literatura por (Kupiers y Mandersloot, 1999; Aarts *et al.*, 2000; Van Keulen *et al.*, 2000; Borsting *et al.*, 2003; Verbruggen *et al.*, 2004; Nielsen y Kristensen, 2005; Nevens *et al.*, 2006 y Vellinga, 2006) quienes indican que la compra de alimentos y fertilizantes son las más directamente afectan al Surplus N ha⁻¹. En cualquier caso y para la compra de forrajes, fertilizantes y concentrados, un descenso o incrementos de 0.957 kg de N ha⁻¹, origina descensos o incrementos de 1 kg de N del Surplus ha⁻¹, coincidente con Ramírez (2008).

■ ■ ■ **Tabla 78.-** Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido del porcentaje de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [9]

Orden de acción	Incremento	Decrece
1		Forrajes (0.55)
2		Fertilizantes (0.39)
3		Concentrados (0.229)
4	Vacas leche (-0.12)	
5	Cuota (-4.7)	

Por el contrario, la variable independiente “Vacas de leche ha⁻¹” está negativamente relacionada con el “Surplus N ha⁻¹”, atribuido a un incremento del total de inputs. En modelos de regresión simple, la variable “Vacas de leche ha⁻¹” presenta una relación positiva con el “Surplus N ha⁻¹” del tipo:

$$\text{Surplus N ha}^{-1} = 89.03 (28.7) + 126.5 (9.8) \text{ Vacas leche ha}^{-1}; \pm 170 \text{ r}^2=0.35$$

coincidente con (Borsting *et al.*, 2003). En modelos de regresión múltiple esta variable es más exacta que en los simples, debido al menor error del coeficiente de regresión.

Los trabajos de Salcedo (2006) en vacas lecheras alimentadas con dietas a pastoreo o ensilados y mínimo aporte de concentrado, señala que incrementos de 100 g de N vaca y día por encima de 400 g, la producción de N en leche incrementa un 8.5% y 7% y, mientras el excretado en heces y orina, aumenta un 24.5 y 28.5% respectivamente. Esta circunstancia demuestra que a más input de N de origen alimenticio, el Surplus por vaca no mejora, pero manteniendo constante el consumo de N, incrementos de carga ganadera lo reduce. No obstante, esta circunstancia origina menores producciones unitarias de N por vaca y, un aumento para el conjunto de la explotación, reduciéndose el Surplus (ver Tablas 26 y 27).

A partir del modelo [9] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto random explotación 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos.

2.1.1. Modelo explotaciones intensivas:

$$\text{Surplus } N \text{ ha}^{-1} = 12.07 + 1.002 \text{ kg } N \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 1.027 \text{ kg } N \text{ concentrados ha}^{-1} + 0.965 \text{ kg } N \text{ forrajes ha}^{-1} - 55.38 \text{ Vacas leche ha}^{-1} - 0.022 \text{ Cuota t}^{-1}$$

5.1.2. Modelo explotaciones semiintensivas:

$$\text{Surplus } N \text{ ha}^{-1} = -48.58 + 0.978 \text{ kg } N \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.895 \text{ kg } N \text{ concentrados ha}^{-1} + 0.632 \text{ kg } N \text{ forrajes ha}^{-1} + 0.030 \text{ Cuota t}^{-1}$$

La Tabla 79 señala las diferencias es el orden de prioridad para las cinco variables incluidas en el modelo. Para los intensivos, el consumo de concentrado y la compra de fertilizantes en los semiintensivos son las variables de primer orden que actúan sobre el Surplus, situándose los forrajes, en ambos casos en tercer lugar. De igual modo, para el conjunto de explotaciones, un descenso de 0.998 y 0.835 kg de N ha⁻¹ favorece un descenso o incrementos de 1 kg de N del Surplus ha⁻¹ en los intensivos y semiintensivos respectivamente. Por el contrario, incrementos de una vaca lechera ha⁻¹, desciende 0.294 kg N ha⁻¹ de Surplus y -0.204 kg en los intensivos y semiintensivos respectivamente.

Tabla 79.- Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [9] con efecto rando dentro de cada sistema de producción

Orden de acción	Intensivos	Incremento	Decrece
1			Concentrados (0.913)
2			Fertilizantes (0.598)
3			Forrajes (0.398)
4		Vacas leche (-0.294)	
5		Cuota (-0.056)	
Semiintensivos			
1			Fertilizantes (0.704)
2			Concentrados (0.588)
3			Forrajes (0.334)
4		Vacas leche (-0.204)	
5		Cuota (-0.011)	

5.2. Modelo “Eficiencia N ha⁻¹”

Para el conjunto de datos el modelo elegido como válido para estimar el “Surplus N ha⁻¹” es el [6E]:

$$\text{Eficiencia} = 31.23 (5.64) - 0.028 (0.003) \text{ kg N fertilizantes} - 0.003 (0.001) \text{ Concentrado vaca año} - 0.04 (0.004) \text{ kg N concentrado ha}^{-1} + 0.013 (0.002) \text{ Cuota t}^{-1} + 0.252 (0.061) \% \text{ vacas leche} - 0.334 (0.045) \text{ Has}; \pm 5.85 r^2=0.52$$

La Tabla 80 se señala los coeficientes Beta e indican cómo y en que prioridad las variables independientes afectan al “Surplus N ha⁻¹”

Tabla 80.- Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [6E]

Orden de acción	Decrece	Aumenta
1	Kg N Concentrados (-0.827)	
2	Fertilizantes (-0.41)	
3	Superficie (-0.591)	
4	Concentrados (-0.22)	
5		Cuota (0.777)
6		% vacas lecheras (0.176)

A partir del modelo [6E] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto rando explotación 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos.

5.2.1. Modelo explotaciones intensivas:

$$\text{Eficiencia} = 25.11 (5.12) - 0.027 (0.002) \text{ kg N fertilizantes} - 0.001 (0.001) \text{ Concentrado vaca año} - 0.029 (0.004) \text{ kg N concentrados} + 0.010 (0.001) \text{ Cuota} + 0.226 (0.053) \% \text{ vacas leche} - 0.283 (0.034) \text{ Has}$$

5.2.2. Modelo explotaciones semiintensivas:

$$\text{Eficiencia} = 57.46 (17.13) - 0.026 (0.006) \text{ kg N fertilizantes} - 0.006 (0.003) \text{ Concentrado vaca año} - 0.083 (0.025) \text{ kg N concentrados} + 0.029 (0.019) \text{ Cuota} + 0.326 (0.154) \% \text{ vacas leche} - 1.185 (0.469) \text{ Has}$$

■ ■ ■ **Tabla 81.-** Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [6E] con efecto rando dentro de cada sistema de producción

Orden de acción	Intensivos	Incremento	Decrece
1			Kg N Concentrado (-0.83)
2			Has (-0.72)
3			Fertilizantes (-0.53)
4			Concentrado (-0.14)
5		Cuota (0.82)	
6		% Vacas leche (0.82)	
Semiintensivos			
1			Kg N Concentrado (-0.74)
2			Has (-0.54)
3			Fertilizantes (-0.32)
4			Concentrado (-0.31)
5		Cuota (0.37)	
6		% Vacas leche (0.17)	

En estos modelos, incrementos de 1 una vaca lechera y 1 tonelada de cuota láctea causan aumento de la “Eficiencia”, siempre que los otros inputs permanezcan constantes.

5.3. Modelo “Surplus P₂O₅ ha⁻¹”

Para el conjunto de datos el modelo elegido como válido para estimar el “Surplus P₂O₅ ha⁻¹” es el [6]:

$$\text{Surplus P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = -1.2 (3.39) + 1.13 (0.09) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 0.93 (0.02) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ alimentación ha}^{-1} - 24.3 (1.7) \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 0.11 (0.03) \text{ UGM totales} - 0.02 (0.005) \text{ Cuota}; \pm 15.77 \text{ r}^2 = 0.90$$

En la Tabla 82 se señalan los coeficientes Beta e indican cómo y en que prioridad las variables independientes afectan al “Surplus P₂O₅ ha⁻¹”

■ ■ ■ **Tabla 82.-** Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo

Orden de acción	Incremento	Decrece
1		Alimentación (0.84)
2		Fertilizantes (0.21)
3		UGM totales (0.13)
4	Vacas leche ha ⁻¹ (-0.47)	
5	Cuota (-0.21)	

Para las variables alimentación, fertilizantes y UGM totales, descensos de 1 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en la primera y 1 UGM dan lugar a reducciones de 1 kg de P₂O₅ del

Surplus ha^{-1} . El que las UGM totales haga descender el “Surplus de $P_2O_5 ha^{-1}$ ” cabe imputarlo a que parte del rebaño no produce leche (novillas de reposición).

Por el contrario, la variable independiente “Vacas de leche ha^{-1} ” se relaciona negativamente con el “Surplus $P_2O_5 ha^{-1}$ ” es atribuido al incremento total de los inputs. En modelos de regresión simple, la variable “Vacas de leche ha^{-1} ” presenta una relación positiva con el “Surplus $P_2O_5 ha^{-1}$ ” del tipo:

$$\text{Surplus } P_2O_5 \text{ } ha^{-1} = -13.8 (7.03) + 30.0 (2.41) \text{ Vacas leche } ha^{-1}; \pm 41.5 \text{ } r^2=0.34$$

A la vista de los resultados, un análisis de regresión múltiple es necesario para determinar que otras variables son responsables del “Surplus $P_2O_5 ha^{-1}$ ”. Por lo tanto esta variable en modelos de regresión múltiple es más exacta que un modelo simple, atribuido al menor error del coeficiente de regresión.

Los trabajos de Salcedo y Martínez (2008) en dietas de vacas lecheras alimentadas con ensilado de maíz, alfalfa y una mezcla de concentrados con alfalfa, a tres concentraciones de P en la dieta sobre materia seca (0.5; 0.65 y 0.85% respectivamente), observaron relaciones cuadráticas para el P recuperado en leche respecto al ingerido del tipo: $g \text{ P leche vaca y día} = 25.7 - 0.16 g \text{ P ingerido} + 0.002 g \text{ P ingerido}^2; \pm 5.36 \text{ } r^2=0.225$ y, lineales para el P excretado en heces:

$$g \text{ P heces vaca y d} = -28.13 + 0.85 \text{ P ingerido}; \pm 19.1 \text{ } r^2=0.46$$

Estos datos muestran que incrementos de 1 g de P por encima de 69.1, se excretan en heces 0.85 g, la diferencia a 1 es el recobrado en leche. En resumen, a más input de P_2O_5 procedente del alimento, el Surplus por vaca no mejora, pero si se mantiene constante su consumo, incrementos de carga ganadera o de cuota lo reduce. Sin embargo, aumentos en la ingestión de P_2O_5 la producción de leche permanece constante (Salcedo y Martínez, sp), al menos a las dosis ensayadas, lo que permitiría una reducción significativa del Surplus ha^{-1} (ver Tablas 62 y 63). Semejantes conclusiones son obtenidas por Kebreab *et al.* (2008).

A partir del modelo [6] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto random explotación 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos.

5.3.1. Modelo explotaciones intensivas:

$$\text{Surplus } P_2O_5 \text{ } ha^{-1} = -2.76 + 1.07 \text{ kg } P_2O_5 \text{ fertilizantes } ha^{-1} + 0.97 \text{ kg } P_2O_5 \text{ alimentación } ha^{-1} - 28.49 \text{ Vacas leche } ha^{-1} + 0.109 \text{ UGM totales} - 0.017 \text{ Cuota } t^{-1}$$

5.3.2. *Modelo explotaciones semiintensivas con modelo intensivas presentó problemas de multicolinealidad, tomándose como válido el siguiente:*

$$\text{Surplus } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} = -107.9 + 0.95 \text{ kg } P_2O_5 \text{ fertilizantes ha}^{-1} + 12.94 \text{ Vacas leche ha}^{-1} + 1.06 \text{ UGM totales} + 0.093 \text{ Cuota } \text{€}^1$$

La Tabla 83 señala diferencias de orden de prioridad para las cinco variables incluidas en el modelo. Así, para los modelos intensivos, el primer orden de actuación es el consumo de concentrado y las UGM totales en los semiintensivos.

En ambos casos, los fertilizantes actúan en segundo lugar tanto en los intensivos como los semiintensivos.

Tabla 83.- Orden de acción para descender o incrementar el “Surplus N ha⁻¹”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [6]

Orden de acción	Intensivos	Incremento	Decrece
1			Concentrados (0.83)
2			Fertilizantes (0.145)
3			UGM totales (0.14)
4		Vacas leche (-0.616)	
5		Cuota (-0.173)	
Semiintensivos			
1			UGM totales (0.504)
2			Fertilizantes (0.253)
3			Cuota (0.247)
4			Vacas leche ha ⁻¹ (0.211)

5.4. Modelo “Eficiencia P₂O₅ ha⁻¹”

Para el conjunto de datos el modelo elegido como válidos para estimar la “Eficiencia P₂O₅ ha⁻¹” es el [5_E]:

$$\text{Eficiencia} = 140.7 (9.35) - 0.521 (0.04) \text{ kg } P_2O_5 \text{ alimentación} + 0.035 (0.005) \text{ Cuota} - 0.876 (0.158) \text{ Superficie maíz} - 0.46 (0.20) \text{ Superficie pradera} - 0.013 (0.002) \text{ kg concentrado vaca y año} + 7.81 (1.84) \text{ UGM ha}^{-1}; \pm 15.19 \text{ } r^2 = 0.68$$

En la Tabla 84 se señalan los coeficientes Beta e indican cómo y en que prioridad las variables independientes afectan al “Surplus P₂O₅ ha⁻¹”

Tabla 84.- Orden de acción para descender o incrementar el “Eficiencia P₂O₅”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [6_E]

Orden de acción	Decrece	Aumenta
1	P ₂ O ₅ Concentrados (-0.78)	
2	Superficie maíz (-0.506)	
3	Concentrado (-0.351)	
4	Superficie pradera (-0.169)	
5		Cuota (0.684)
6		UGM ha ⁻¹ (0.445)

A partir del modelo [5_E] se seleccionaron dos submodelos (incluyendo un efecto random explotación 30% de los casos), uno para sistemas intensivos y otro para los semiintensivos.

5.4.1. *Modelo explotaciones intensivas:*

$$\text{Eficiencia} = 104.1 (14.6) - 0.57 (0.05) \text{ kg } P_2O_5 \text{ alimentación} + 0.03 (0.005) \text{ Cuota} - 0.635 (0.146) \text{ Superficie maíz} - 0.139 (0.189) \text{ Superficie pradera} - 0.007 (0.003) \text{ kg concentrado vaca y año} - 11.48 (1.75) \text{ UGM ha}^{-1}$$

5.4.2. *Modelo explotaciones semiintensivas:*

$$\text{Eficiencia} = 146.2 (8.83) - 0.481 (0.081) \text{ kg } P_2O_5 \text{ alimentación} + 0.125 (0.039) \text{ Cuota} - 1.49 (0.49) \text{ Superficie pradera} - 1.49 (0.41) \text{ UGM totales}$$

Tabla 85.- Orden de acción para descender o incrementar la “Eficiencia P₂O₅”, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis del modelo [6_E] con efecto random dentro de cada sistema de producción

Orden de acción	Intensivos	Decrece	Aumenta
1		P ₂ O ₅ Concentrado (-0.76)	
2		Superficie maíz (-0.528)	
3		Concentrado (-0.212)	
4		Superficie pradera (-0.072)	
5			UGM ha ⁻¹ (0.876)
6			Cuota (0.78)
	Semiintensivos		
1		P ₂ O ₅ Concentrado (-0.912)	Cuota (0.516)
2		Superficie pradera (-0.258)	
3		UGM totales (-0.258)	
4			
6			

6.- Bibliograf3a

- AARTS, H.; BIEWINGA, E.; VAN KEULEN, H. 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **40**, 285 - 299.
- AARTS, H.; HABEKOTTÉ, B.; VAN KEULEN, H.; 2000. Nitrogen management in the ‚De Marke’ dairy farming system. *Nutrient cycling in Agroecosystems* **56**, 231–240.
- AARNINK A.; WAGEMANS, M.; KEEN. A. 1993: Factors affecting ammonia emission from housing for weaned piglets. In: *Proceedings of First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, EAAP Publication No. 69, 286–294.
- ALEXLSSON, J., 1949. The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle. *Ann. R. Agric. Coll. Sweden*. **16**, 404-419.
- ALLEN, M. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* **80**, 1447-1462.
- AMARAL, D. 2000. Impact of phosphorous on reproduction and the environment. Kentucky Ruminant Nutrition. *Impact of Phosphorous Nutrition*, p: 35-45.
- ANDERSON, M. 1995. *Ammonia Volatilization from Cow and Pig Manure*. Report No. 98. Department of Agricultural Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences.
- ANNISON, M. 1970. Nitrogen metabolism of ruminant micro-organisms. Pages 456-473 in *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. A. T. Philipson, ed. Oriel Press, Newcastle on Tyne.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: *20th Edn. American Public Health Association*, Washington, DC.
- ARGYLE, J.; BALDWIN, R. 1988. Modeling of rumen water kinetics and effects of rumen pH changes. *J. Dairy Sci.* **71**, 1178-1188.
- ARRIAGA, H.; PINTO, M.; CALSAMIGLIA, S.; MERINO, P., 2008. Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. *J. Dairy Sci.* **92**, 204-215.
- ARRIAGA, H.; SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; MERINO, P., 2009. Effect of crude protein intake by dairy cattle on NO₂ concentration from a dairy stall. *Proceedings of the 16th N Workshop*. 28 June-1 July 2009, Torino (Italy).
- ASTIGARRAGA, L.; PEYRAUD, J.; BARS, M.; 1993. Effect of level of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilization by grazing dairy cows: II. Faecal and urine nitrogen excretion. *Annals of Zootechnia* **43** (3), 292.

- ASTON, K.; FISHER, W.; MCALLAN, A.; DHANOA, M.; DEWHURST, R. 1998. Supplementation of grass silage-based diets with small quantities of concentrates: strategies for allocating concentrate crude protein. *Animal Sci.* **67**, 17-26.
- AUSDSLEY, E.; ALBER, S.; CLIFT, R.; COWELL, S.; CRETТАZ, P.; GAILLARD, G.; HAUSHEER, J.; JOLLIET, o.; KLEIJN, R.; MORTENSEN, B.; PEARCE, D.; ROGER, E.; TEULON, H.; WEIDEMA, B.; van ZEIJTS, H. 1997. Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028, European Commission DG VI, Brussels, Belgium.
- BACH, A.; HUNTINGTON, G.; CALSAMIGLIA, S.; STERN, M. 2000. Nitrogen metabolism of early lactation cows fed diets with two different levels of protein and different amino acid profiles. *J. Dairy Sci.* **83**, 2585-2595.
- BÁEZ, D.; CASTRO, J.; LÓPEZ, J.; GONZÁLEZ, A.; GARCÍA, M. 2007. Balance de nitrógeno y pérdidas de nitrato por lixiviación en una explotación de vacuno de leche en pastoreo. *Actas de la XLVI Reunión Científica de la SEEP. Los sistemas forrajeros: Entre la producción y el paisaje*, 344-350.
- BAKER, L.; FERGUSON, J.; CHALUPA, W. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* **78**, 2424-2434.
- BALDWIN, R.; THORNLEY, J.; BEEVER, D. 1987. Metabolism of the lactating cow. II. Digestive elements of a mechanistic model. *J. Dairy Res.* **54**, 107-131.
- BALDWIN, R.L., 1995. Modeling Ruminant Digestion and Metabolism. Chapman & Hall, London: UK, 578 p.
- BANNINK, A.; DIJKSTRA, J.; MILLS, J.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. 2005a. Nutritional strategies to reduce enteric methane formation in dairy cows. In: Emissions from European Agriculture, pp. 367-376 [T. Kuczynski, U. Dämmgen, J. Webb and A. Myczko, editors]. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- BANNINK, A.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. 2006b. Advantages of a dynamical approach to rumen function to help resolve environmental issues. Pages 281-298. In: Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals, Eds. E. Kebreab, J. Dijkstra, J. France, A. Bannink & W.J.J. Gerrits. CAB International, Wallingford, UK.
- BANNINK, A., KOGUT, J., DIJKSTRA, J., FRANCE, J., TAMMINGA, S., VAN VUUREN, A.M., 2000. Modelling production and portal appearance of volatile fatty acids in cows. In: MCNAMARA, J.P., FRANCE, J., BEEVER, D.E. (Eds.), Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. CAB International, Wallingford, United Kingdom, pp. 87-102.
- BARNETT, J.; RUSSELL, J. 2007. Reduction of greenhouse gas emissions at farm and manufacturing levels. *Bulletin of the international dairy federation*, **422**, 22-29.

- BATLLÓ I COLOMINAS, M. 1993. Problemática atmosférica de los residuos ganaderos. En: *Residuos ganaderos*. Fundación “La Caixa”. Capítulo 6. Edita AEDOS. Barcelona, (España).
- BENCHAAR, C.; POMAR, C.; J. CHIQUETTE. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modeling approach. *Can. J. Anim. Sci.*, **81**, 563-574.
- BEEVER, D.; SIDDON, R. 1986. Digestion and metabolism in the grazing ruminant. In: L. P. Milligan, W. L. Grovum and A. Dobson. (Ed.) *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. pp 479-497. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- BELLOTTI, G. 1997. Electrical Conductivity Meter: a device to estimate nutrient content of animal manure. *Ricerca condotta presso l'Istituto di Ingegneria Agraria*: 1-11.
- BEQUETTE, B.; BACKWELL, F.; CROMPTON, L. 1998. Current concepts of amino acid and protein metabolism in the mammary gland of the lactating ruminant. *J. Dairy Sci.* **81**, 2540-2559.
- BERGEN, W.; BATES, D. 1984. Ionophores: Their effect on productin efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* **58**, 1465-1483.
- BERTONCINI, G. 2000. The approach of Lombardy Region to manure management and environmental protection. Technology transfer. *Proceedings of the 9th International Conference on the FAO ESCORENA Network on recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture*, Gargano, (Italy), 6-9 September 2000, p:43-48.
- BLAUWIEKEL, R.; KINCAID, R. 1986. Effect of crude protein and solubility on performance and blood constituents of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **69**, 2091-2098.
- BLAXTER, K.; CLAPPERTON, J. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.* **19**, 511-522.
- BOADI, D.; BENCHAAR, C.; CHIQUETTE, J.; MASSÉ, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from diary cows: Update review. *Can. J. Anim. Sci.* **84**, 319-335.
- BORSTING, C.; KRISTENSEN, T.; MISCIATTELLI, L.; HVELPLUND, T.; WEISBJERG, M. 2003. Reducing nitrogen surplus from dairy farms. Effects of feeding and management. *Livestock Production Sci.* **83**, 165-178.
- BRENTROP, F.; KUSTERS, J.; LAMMEL, J.; KUHLMANN, H. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA Studies in the agricultural sector. *Int. J. LCA*, **5**, 349-357.
- BRINTRUP, R.; MOOREN, T.; MEYER, U.; SPIEKERS, H.; PFEFFER, E. 1993. Effects of two levels of phosphorus intake on performance and faecal phosphorus excretion of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **69**, 29-36.

BRITT, J.; THOMAS, R.; SPEER, N.; HALL, M. 2003. Efficiency of converting nutrient dry matter to milk in Holstein herds. *J. Dairy Sci.* **86**, 3796-3801.

BRODERICK, G. 2003. Effects of varying dietary and energy levels on the production of lactating cows. *J. Dairy Sci.* **86**, 1370-1381.

BURKART, M.; JAMES, D. 1999. Agricultural nitrogen contributions to hypoxia in the Gulf of Mexico. *J. Environ. Manage.* **28**, 850-859.

BUSSINK, D.; OENEMA, O. 1998. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **51**, 19-33.

CALL, J.; BUTCHER, J.; SHUPE, J.; LAMB, R.; BOMAN, R.; OLSON, A. 1987. Clinical effects of low dietary phosphorous concentrations in feed given to lactating dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* **48**, 133-136.

CALLEJO, A.; JIMENO, V. 1998. Problemas ambientales en las explotaciones ganaderas. *Mundo ganadero* **98**, 32-40.

CAMMELL, S.; SUTTON, D.; BEEVER, D.; HUMPHRIES, D.; PHIPPS, R. 2000a. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows 1. Energy and nitrogen utilisation. *Animal Sci.* **71**, 381-390.

CARBALLO, M., 1997. Medio ambiente. Valoración del impacto ambiental de los residuos ganaderos en el medio acuático. *Porcino* **41**, 29-35.

CARR, L.; WHEATON, F.; DOUGLAS, L. 1990: Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. *Trans ASAE*, **33**, 260-265.

CARROLL, D.; BARTON, B.; ANDERSON, G.; SMITH, R. 1988. Influence of protein intake and feeding strategy on reproductive performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **71**, 3470-3481.

CARTON, O.; HATTERMANN, U.; LORENZ F.; STEFFENS G.; 1997. Balance approach: evaluation of a simple nutrient balance model for pig and cattle farms to estimate the nutrient value of slurry. *SWAMP project "Optimal use of animal slurries for input reduction and protection of the environment in sustainable agricultural systems"*. LUFA Oldenburg (German), March 1997.

CASEY, J.; HOLDEN, N. 2005. The relationship between greenhouse gas emissions and the intensity of milk production in Ireland. *J. Environ. Qual.* **34**, 429-436.

CASTILLO, A.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.; BARBI, J.; SUTTON, J.; KIRBY, H.; FRANCE, J. 2000a. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim. Sci.* **79**, 240-246.

CASTILLO, A.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.; FRANCE, J. 2000b. A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *J. of Anim. and Feed Sci.* **9**, 1-32.

- CASTILLÓN, P. 1993. Valoración agronómica de las deyecciones de los animales. En: *Residuos Ganaderos*. Capítulo 11. Fundación “La Caixa”. Edita AEDOS S.A. Barcelona, (España).
- CEDERBERG, C.; FLYSIO, A. 2004. Life Cycle Inventory of 23 dairy farms in South-Western Sweden. Report 728, The Swedish Institute for food and biotechnology.
- CEDERBERG, C.; MATTSSON, B. 2000. Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming. *J. of Cleaner Production*, **8**, 49-60.
- CEROSALETTI, P.; FOX, D.; CHASE, L. 2004. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cow. *J. Dairy Sci.* **87**, 2314-2323.
- CHANDLER, P. 1996. Environmental challenges as related to animal agriculture – dairy pp.7-19 in *Nutrient Management of Food Animals to Enhance and Protect the Environment*. E. T. Kornegay ed. CRC. Press. Ing., Boca Raton, FL.
- CHEN, G.; RUSSELL, J. 1989. More monensin-sensitive, ammonia production bacteria from the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* **55**, 1052-1057.
- CHOW, J.; VAN KESSELL, J.; RUSSELL, J. 1994. Binding of radiolabeled monensin and lasalocid to ruminal microorganisms and feed. *J. Anim. Sci.* **72**, 1630-1635.
- COELHO, M. 1994. Ecological nutrition: A costly or smart move? *Feedstuffs*, June 20, 1994.
- COLMERNERO, J.; BRODERICK, G. 2006. Effect of dietary protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **89**, 1704-1712.
- CONDOR, R.; VITULLO, M.; DE LAURENTIS, R. 2005. Methodologies used in Italy for the estimation of air emission inventory in the agriculture sector.
- CORRE, W.; KASPER, G. 2002. Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland. Alterra rapport 560.4, Alterra, Wageningen (Holanda).
- COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2002. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. Issue Paper 21. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, IA.
- DALGAARD, T.; HEIDMANN, T.; MOGENSEN, L. 2002. Potential N-losses in three scenarios for conversion to organic farming in a local area of Denmark. *European Journal of Agronomy* **16**, 207-217.
- DAUDÉN, A. 2001. Posibles riesgos sanitarios asociados a la aplicación agrícola. En: *Aplicación Agrícola de residuos orgánicos* (J. Boixadera y R.M. Teira eds.). Ediciones de la Universidad de Lleida. Lleida, (España).
- DAVIS, J.; HAGLUND, C. 1999. Life Cycle Inventory (LCI) of fertiliser production – fertilisers used in Sweden and Western Europe. SIK – Report 654, SIK. The Swedish

Institute for food and Biotechnology, Göteborg, Sweden.

DAVIES, D.; MERRY, R.; WILLIAMS, A; BAKEWELL, L.; LEEMANS, D.; TWEED, J. 1998. Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content. *J. Dairy Sci.* **81**, 444-453.

DAWSON, L.; FERRIS, C; STEEN, R; GORDON, F; KILPATRICK, D. 1999. The effects of wilting grass before ensiling on silage intake. *Grass and Forage Science.* **54**, 237-247.

De BOER, I.; SMITS, .; MOLLENHORST, H.; van DUINKERKEN, G.; MONTENY, G. 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics. Part I. Relation between feed characteristics and urinary urea concentration. *J. Dairy Sci.* **85**, 3382-3388.

De BOER, I. 2003. Environmental impact assessment of conventional and organica milk production. *Livestock Production Science*, **80**, 69-77.

DELAGARDE, R.; PEYRAUD, J.; DELABY, L. 1997. The effect of nitrogen fertilization level and protein supplementation on herbage intake. *Anim. Feed Sci. and Techn.* **66**, 165-180.

DEPETERS, E.; FERGUSON, J. 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *J. Dairy Sci.* **75**, 3192-3209.

DIJKSTRA, J.; NEAL, S.; BEEVER, H.; FRANCE, J., 1992. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *J. Nutr.* **122**, 2239–2256.

DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; VAN DER HOEK, K.; SMINK, W. 2006. Simulation of variation in methane emission in dairy cattle in The Netherlands. *J. Dairy Sci.*, **89**, Suppl.1, 259.

DOU, Z., KOHN, R.; FERGUSON, J.; BOSTON, R.; NEWBOLD, J.; 1996. Managing nitrogen on dairy farms: An integrated approach I. Model description. *J. Dairy Sci.* **79**, 2071–2080.

DOU, Z.; LANYON, L.; FERGUSON, J.; BOSTON, R.; CHALUPA, W. 1998. An integrated approacha of managing nitrogen on dairy farms : Evaluating farm performance using the dairy nitrogen planner. *Agron. J.* **90**, 573-581.

DRAGOSITS, U.; CHADWICK, D.; DEL PRADO, A.; SCHOLEFIELD, D.; MILLS, J.; CROMPTON, L.; NEWBOLD, C. 2008 Implications of farm-scale methane mitigation measures for national methane emissions. In: Crighton, K.; Audsley, R., (eds.) Land Management in a Changing Environment. SAC and SEPA, 168-174, 7p. (Agriculture and the Environment, VII).

ELLIS, J.; KEBREAB, E.; ODONGO, N.; MCBRIDE, B.; OKINE, E.; FRANCE, J. 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *J. Dairy Sci.* **90**, 3456-3466.

EMEP-CORIMAR, 2001. Emission Inventory Guidebook – Thrid Edition, chapter 10: Agriculture. European Environment Agency. Copenhagen (Dinamarca).

EGGINTON, G.; SMITH, K. 1986. Nitrous oxide emission from a grassland soil fertilized with slurry and calcium nitrate. *Journal of Soil Sci.* **37**, 59-67.

ERICKSON, G.; KLOPFENSTEIN, T.; WALTERS, E.; LESOING, G. 1998. Nutrient balance of nitrogen, organic mater, phosphorous and sulfur in the feedlot. P 86. In 1998. Beef cattel report. Publ. MP69-a (Online). Available at <http://ianrpubs.unl.edu/beef/mp69.pdf>. Univ. of Nebraska Inst. of Agric. and Natural Resoru., Lincoln.

FERRIS, C.; GORDON, F.; PATTERSON, D.; KILPATRICK, D. 2002. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci.*, p. 111.

FLORES, G.; GONZÁLEZ-ARRÁEZ, A.; CASTRO, J.; CASTRO, P.; CARDELLE, M.; FERNÁNDEZ, B.; VALLADARES, J., 2003. Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de ensilajes de hierba y planta entera de maíz. *Pastos*, XXXIII (1), 5-90.

FLORES, G., 2004. Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in ivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis doctoral. Madrid. Escuela Politécnica de Ingenieros Agrónomos.

FREIBAUER, A.; KALTSCHNITT, M.; 2003. Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* **63**, 93-115.

FRENEY, J.; SIMPSON J.; DENMEAD, O. 1983: Volatilization of ammonia. In: Freney JR, Simpson JR (Eds): *Gaseous Loss of Nitrogen from Plant - Soil Systems*, 1–33.

GARCÍA, M.; CASTRO, J.; NOVOA, R.; BÁEZ, D. 2007. Caracterización del balance y la eficiencia en la utilización del nitrógeno, fósforo y potasio en las explotaciones de vacuno de leche en Galicia. *Actas de la XLVI Reunión Científica de la SEEP. Los sistemas forrajeros: Entre la producción y el paisaje*, 440-446.

GIL, S.F., 2001. Aplicación de residuos orgánicos, el fósforo y calidad del suelo. En: *Aplicación Agrícola de residuos orgánicos* (J. Boixadera y R.M. Teira editores). Ediciones de la Universidad de Lleida. Lleida, (España).

GOERING, H.; VAN SOEST, P. 1970. Forage fiber analisis. Ag. Handbok N°. 379. Washington DC ARS USDA.

GODDEN, S.; LISSEMORE, K.; KELTON, D.; LESLIE, K.; WALTON, J.; LUMSDEN, J. 2001. Relationships between milk urea concentrations and nutritional management, production, and economic variables in Ontario dairy herds. *J. Dairy Sci.* **84**, 1128-1139.

GOODALL, G.; TOMASZEWSKI, M.; JORDAN, E.; STOKES, S.; GREENE, L. 2000. Implementation of innovative best management practices and a nutrient monitoring system to reduce nitrogen and phosphorus loading from dairy cattle production systems. *J. Dairy Sci.* **83** (Suppl. 1. 234). (Abstr.)

GORDON, F. 1981. The effect of wilting of herbage on silage composition and its feeding value for milk production. *Animal Production.* **32**, 171-178.

GORDON, F.; PEOPLES, A. 1986. The utilization of wilted and unwilted silages by lactating cows and the influence of changes in the protein and energy concentration of the supplement offered. *Animal Production.* **43**, 355-366.

GUSTAFSSON, G. 1988: *Air- and Heat Balances of Animal Houses*. Report No. 59. Department of Farm Buildings. Swedish University of Agricultural Sciences.

GUSTAFSSON, G.; VON WACHENFELT, E.; JEPSSON, K.; ANDERSSON, M, 1994. *Investigations of the Climate and Environment in Pig Houses in Northern Sweden 1986 and 1993*. Report No. 92. Department of Agricultural Biosystems and Technology. Swedish University of Agricultural Sciences.

HAAS, G.; WETTERICH, F.; KÖPKE, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agric. Ecosyst. Environ.* **83**, 43-53.

HARRISON, J.; BLAUWIEKEL, R; STOKES, M. 1994. Fermentation and utilization of grass silage. *J. Dairy Sci.* **77**, 3209-3235.

HÅVARD STEINSHAMN, H.; THUEN, E.; AZZAROLI, M.; TUTEIN, U.; GEORG, B.; EKERHOLT, G.; YRI, C. 2004. Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol. **104**, 3, 509-522.

HEIJUNGS, R.; GUINDE, J.; HUPPES, G.; LANKREIJER, R.; UDO de HAES, H.; WEGNER, A. 1992. Environmental life cycle assessment of products. Centre of Environmental Science, Leiden, The Netherlands.

HIDALGO, M.; DEL ALAMO, J.; HERNÁNDEZ, M.; IRUSTA, R. 2001. Caracterización analítica de los efluentes residuales de una explotación intensiva de ganado porcino. *Anaporc* **216**, 70-93.

HIERRO, DEL, O.; ARTETXE, A.; PINTO, M. 2007. Proyecto Green Dairy: balances de N-P y márgenes económicos a nivel de explotación. *Actas de la XLVI Reunión Científica de la SEEP. Los sistemas forrajeros: Entre la producción y el paisaje*, 360-366.

HINDRICHSEN, I.; WETTSTEIN, H.; MACHMULLER, A.; KREUZER, M. 2004. Enteric methane emission from dairy cows fed various diets and the corresponding methane emission from slurry. Pages 280-281 In: Proc. Of the Internat. Conf.

Greenhouse Gas Emission from Agriculture – Mitigation Options and Strategies Ed. A. Weiske. Institute for Energy and Environment, Leipzig.

HINDRICHSEN, I.; WETTSTEIN, H.; MACHMULLER, A.; KREUZER, M. 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **113**, 150-161.

HOLETER, J.; YOUNG, A. 1992. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. *J.Dairy Sci.* **75**, 2165-2175.

HOUGHTON, J.; MEIRO, L.; CALLENDER, B., HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MAKELL, K. 1996. Climate change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 584 pp.

HRISTOV, A.; HAZEN, W.; ELLSWORTH, J. 2006. Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorus and potassium and potential for reduced phosphorus imports on Idaho dairy farms. *J. Dairy Sci.* **89**, 3702-3712.

HUME, I.; MOIR, R.; SOMERS, M. 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen. 1. Influence of the level of nitrogen intake. *Australian Journal of Agricultural Research.* **21**, 283-296.

IEPENA, G.; PIJNENBURG, J. 2001. Conventional versus organic dairy farming. A comparison of three experimental farms on environmental impact. Animal Health and Animal Welfare. MSc thesis Animal Production Systems Group, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

INRA. 1981. Alimentación de los rumiantes. Ediciones Mundi Prensa.

IPCC, 1996. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Chapter 4, Agriculture.

IPCC, 1997. IPCC Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 3, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC WGI Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell.

IPCC, 2000. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. www.ipcc.ch.

IPHARRAGUERRE, I.; CLARK, J. 2005. Varying protein and starch in the diet of dairy cows. II. Effects on performance and nitrogen utilization for milk production. *J. Dairy Sci.* **88**, 2556-2570.

IRAÑETA, I.; PÉREZ DE CIRIZA, J.; SANTOS, A.; AMÉZQUETA, J.; CARRO, P.; IÑIGO, J.; ABAIGAR, A. 1999. *Purines de porcino: (I) Valor agronómico*. Navarra Agraria. Julio-Agosto-Septiembre, p:14-25.

ISERMANN, K. 1991. Ammonia emissions from agriculture as a component of its nitrogen balance and some proposals for their adequate reduction. BALTIC SEA ENVIRONMENT PROCEEDINGS N° 44. NITROGEN AND AGRICULTURE INTERNATIONAL WORKSHOP Schleswig, Germany.

IWANSKA, S.; STRUSINSKA, D.; PYSERA, B. 1999. Effect of rumen protected methionine supplementation on early lactational responses of dairy cows fed a grass silage and cereals diet. *Acta Veterinaria Hungarica*. **47**, 191-206.

JENNESS, R. 1985. Biochemical and nutritional aspects of milk and colostrum. Pages 164–197 in *Lactation*. B. L. Larson, ed. The Iowa State University Press, Ames, IA.

JOHNSON, K.; JOHNSON, D. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* **73**: 2483-2492.

JOHNSON, D.; WARD, G. 1996. Estimates of animal methane emission. *Environ. Monit. Assess* **42**, 133-141.

JOHNSON, D.; WARD, G.; RAMSEY, J. 1996. Livestock methane: Current emissions and mitigation potential. In: *Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment*. E.T. Kornegay, ed. Lewis Publishers, New York, NY. p: 219-234.

JOHNSON, D.; WARD, G.; BERNAL, G. 1997. Biotechnology mitigating the environmental effects of dairying: Greenhouse gas emissions. Page 497-511 In: *Milk composition, production and biotechnology*, Eds. R.A.S. Welch, D.J.W. Burns, S.R. Davis, A.I. Popay, C.G. Prosser, CAB International, Wallingford, UK

JOHNSON, D.; JOHNSON, K.; WARD, G.; BRANINE, M. 2000. Ruminants and other animals, Chapter 8. Pages 112-133 in *Atmospheric Methane: Its role in the Global Environment*. M. A. K. Khalil, ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

JONKER, J.; KOHN, R.; ERDMAN, R. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **81**, 2618-2692.

JONKER, J.; KOHN, R.; HIGHT, J. 2002. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. *J. Dairy Sci.* **85**, 1218-1226.

KEADY, T.; MAYNE, C. 2002. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci.*, p. 12.

KEADY, T.; MAINE, C.; MARSDEN, M. 1998. The effects of concentrate energy source on silage intake and animal performance with lactating dairy cows offered a range of grass silages. *Animal Science* **66**, 21-33.

KEADY, T.; MURPHY, J. 1998. The effects of ensiling and supplementation with sucrose and fish meal on forage intake and milk production of lactating dairy cows. *Anim. Sci.* **66**, 9-20.

KEBREAB, E.; CASTILLO, A.; BEEVER, D.; HUMPHRIES, D.; FRANCE, J. 2000. Effects of Management Practices Prior to and During Ensilage and Concentrate Type on Nitrogen Utilization in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **83**, 1274-1285.

KEBREAB, E.; FRANCE, J.; BEEVER, D.; CASTILLO, A.; 2001. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **60**, 275-285.

KEBREAB, E.; FRANCE, J.; MILLS, J.; ALLISON, R.; DIJKSTRA, J. 2002. A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. *J. Anim. Sci.* **80**, 248-259.

KEBREAB, E.; ODONGO, N.; McBRIDE, B.; HANIGAN, M.; FRANCE, J. 2008. Phosphorus utilization and environmental and economic implications of reducing phosphorus pollution from Ontario dairy cows. *J. Dairy Sci.* **91**, 241-246.

KIRCHGESSNER, M.; WINDISCH, W.; MULLER, H. 1994. Methane release from dairy cows and pigs. Pages 399-402 In Proc. 13th Symposium on Energy Metabolism of farm Animals, Ed. J.F. Aguilera, EAAP publ. No. 76 CSIS Publ. Service, Spain.

KIRCHGESSNER, M.; WINDISCH, W.; MULLER, H. 1995. Nutritional factors for the quantification of methane production. Pages 333-348 In: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism Growth and Reproduction. Proc.8th Int. Symp.on Ruminant Physiology Eds. W. von Engelhardt, S. Leonhard-Marek, GF. Breves & D Gieseke. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

KLAUSMER, S. 1993. Integrated nutrient management. *What's Cropping Up?*. Vol 3 N°5. Cornell Cooperative Extension.

KLAUSNER, S. 1995. Nutrient management planning. P. 383-392. In K. Steele (ed) Animal waste and the land-water interface. Lewis Publ., New York.

KOHN, R.; DOU, Z.; FERGUSON, J.; BOSTON, R.; 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. of Environ. Manage.* **50**, 417-428.

KNOBELOCH, L.; SALMA, B.; HOGAN, A.; POSTLE, J.; ANDERSON, H. 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ. Health Perspect.* **108**, 675-678.

KOHN, R.; DOU, Z.; FERGUSON, J.; BOSTON, R. 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. Environ. Manage.* **50**, 417-428.

KOLVER, E.; MULLER, L.; BARRY, M.; PENNO, J. 1998a. Evaluation and application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for dairy cows fed diets based on pasture. *J. Dairy Sci.* **81**, 2029-2309.

KOLVER, E.; MULLER, L.; VARGA, G.; CASSIDY, T. 1998b. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating cows. *J. Dairy Sci.* **81**, 2029-2309.

KORNEGAY, E.; HARPER, A. 1997. Environmental nutrition: Nutrient management strategies to reduce nutrient excretion of swine. *The Profesional Animal Sci.* **13**, 99-111.

KRAMER, K.; MOLL, H.; NONHERBEL, S. 1999. Total greenhouse gas emissions related to de Dutch crop prodction system. *Agric. Ecosys. Environ.* **72**, 9-16.

KUIKMAN, P.; OUDENDAG, D.; SMIT, A.; VAN DER HOEK, K. 2005. Mitigation of non-CO2 greenhouse gas emission from agriculture: basis of design for effective communication and accounting of emissions. Proc. 4th Int. Symp. non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-4). Science, Control, Policy & Implementation. A. Van Amstel, Coordinator. Millpress (www.millpress.nl), Utrecht, NL.

KUIPERS, A.; MANDERSLOOT, F. 1999. Reducing nutrient losses on dairy farms in The Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* **61**, 139-144.

LALOR, S. 2008. Nitrogen fertilizer replacement value of cattle slurry applied to grassland. Teagasc, Johnstwn Castle, Booklet of "Slurry and Nutrient Efficiency Display, 1 Mayo 2008.

LANYON, L.; BEEGLE, D. 1989: The role of on-farm nutrient balance assessments in an integrated approach on nutrient management. *J. Soil Water Conserv.* **44**, 164-168.

LEE, M.; HARRIS, L; MOORBY, J.; HUMPHREYS, M.; THEODOROU, M.; MACRAE, J.; SCOLLAN, N. 2002b. Rumen metabolism and nitrogen flow to the small intestine in steers offered *Lolium perenne* containing different levels of water-soluble carbohydrate. *Anim. Sci.* **74**, 587-596.

LEKKERKERK, L.; HEIJ, G.; HOOTSMANS, M. 1995. Ammonia: the facts. Repor N° 300-06 Dutch priority program on acidification. RIVM, Bilthoven, The Netherlandas.

LINDGREN, M.; PETTERSSON, O.; HANSSON, P.; NOREEN, O. 2002. Rapport 308. JTI, Institute for Agriculture and Environmental. Uppsala, Sweden.

LINDQUIST, R.; LINN, J.; OTTERBY, D. 1983. Influence of Dietary Energy and Protein on Yield and Composition of Milk from Cows Fed Methionine Hydroxy Analog. *J. Dairy Sci.* **66**, 475-491.

LOVETT, D.; STACK, J.; S. LOVELL, S.; CALLAN, J.; FLYNN, B.; HAWKINS, M.; O'MARA, F. 2005. Manipulating Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Late-Lactation Dairy Cows Through Concentrate Supplementation at Pasture. *J. Dairy Sci.* **88**, 2836-2842.

MAFF, 1984. Energy Allowances and Feeding Systms for Ruminants, Reference Book 443. Her Hajesty's Sationary Office. London (UK).

MARAÑÓN, E.; SASTRE, A.; CASTRILLO, L.; GONZÁLEZ, J.M.; PERTIERRA, J.; BERRUERA, J. 1998. Aplicación de los purines como fertilizantes. En: *Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias. Problemática y tratamientos*. Capítulo 8. Universidad de Oviedo. ETS Ingenieros Industriales. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Oviedo, (España).

MARTÍNEZ-SULLER, L. 2003. Tratamiento integral de los residuos ganaderos en Visano, Brescia (Italia). *Proyecto Final de Carrera de Ingeniero Agrónomo*. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche, (España).

MARTÍNEZ-SULLER, L. 2007. Sviluppo di un'apparecchiatura di campo per la stima del contenuto in nutrienti degli effluenti d'allevamento. *Tesis de doctorado*. Istituto d'Ingegneria Agraria, Facoltà di Agraria di Milano (Italia).

MARTÍNEZ-SULLER, L. 2008. Caracterización del purín de bovino y porcino en la región de Lombardía (Italia): relación entre propiedades físico-químicas y valor fertilizante. *Cría y Salud n° 21* (Octubre), p:38-45.

MARTÍNEZ-SULLER, L.; AZZELLINO, A.; PROVOLO, G. 2008a. Analyses of livestock slurries from farms across Northern Italy: relationships between indicators and nutrient content. *Biosystems Engineering* **99**, 540-552.

MARTÍNEZ-SULLER, L.; PROVOLO, G.; RICHARDS, K.; 2006. A field device for slurry nutrient content assessment. *Proceedings of Agricultural Research Forum 2006*. Page 22. Tullamore, Co. Offaly (Ireland), 15-16th March 2006.

MARTÍNEZ-SULLER, L.; SALCEDO, G.; MONS, C.; TEJERO, I. 2008b. Dairy cow manure separation pre-treatment to reduce manure application pollution risks: a whole-farm perspective. *Proceedings of the 13rd RAMIRAN International Conference: Potential for simple technology solutions in organic manure management*, p:445-448. Albena (Bulgaria) 11-14 June 2008.

MARTÍNEZ-SULLER, L.; SALCEDO, G.; TEJERO, I. 2008c. Balance de fósforo en las explotaciones lecheras de Cantabria (España). *Libro de actas del IV Congreso Mundial de Ingenieros Agrónomos* (Madrid). Sesión 5: Ganadería, Producción y Sanidad. 28-30 octubre 2008.

MARTÍNEZ-SULLER, L.; SALCEDO, G.; TEJERO, I.; PROVOLO, G.; RICHARDS, K. 2008d. Manure characterization: correlation between chemical properties and nutrient content on pig and cattle slurries and dairy farms dirty water in Spain, Italy and Ireland. *1st International Conference Hazardous Waste Management*. Pag. 379-380. 1-3 October 2008. Chania-Crete, (Greece).

McALLISTER, T.; OKINE, E.; MATHISON, G.; CHENG, K. 1996. Dietary, environmental and microbial aspects of methane production in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 231-244.

McALLAN, A.; SUTTON, J.; BEEVER, D.; NAPPER, D. 1994. Rumen Fermentation Characteristics and Duodenal Nutrient Flow in Lactating Cows Receiving 2 Types of Grass Silage with 2 Levels of Concentrates. *Animal Feed Science and Technology*. **46**, 277.

McCUBBIN, D.; APELBERG, B.; ROE, S.; DIVITA, F. 2002. Livestock ammonia management and particulate-related health benefits. *Environ. Sci. Technol.* **36**, 1141-1146.

- McTAGGART, I.; CLAYTON, H.; SMITH, K. 1994. Nitrous oxide flux from fertilised grassland: strategies for reducing emissions. In: J. Van Ham, L.J.H.M. Janssen y R.J. Swart (Eds.), *Non-CO₂ Greenhouse Gases Why and How to Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 421-426.
- MEHREZ, A.; ØRSKOV, E.; MACDONALD, I. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition*. **38**, 437-443.
- MERCER, J.; ANNISON, E. 1976. Utilization of N in ruminants. *The 1st International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*: 397-416.
- MERRY, J.; DHANOA, M.; THEODOROU, M. 1995. Use of Freshly Cultured Lactic-Acid Bacteria as Silage Inoculants. *Grass and Forage Science* **50**, 112-123.
- METCALF, J.; MANSBRIDGE, R.; BLAKE, J. 1996. Potential for increasing the efficiency on nitrogen and phosphorus use in lactating dairy cows. *Proceedings of the British Society of Animal Science* p.62 (Abstract).
- MIDWEST PLAN SERVICE. Manure Management Systems Series – MWPS-18. Iowa State University, 2000.
- MILLER, W.; CLIFTON, C. 1965. Relation of dry matter content in ensiled material and other factors to nutrient loss by seepage. *J. Dairy Sci.* **48**, 917-923.
- MILLER, L.; BAKER, D.; THEODOROU, M.; MACRAE, J.; HUMPHREYS, M.; SCOLLAN, N.; MOORBY, J. 2001a. Efficiency of Nitrogen Use by Dairy Cows Offered Perennial Ryegrass with High Water Soluble Carbohydrate Concentrations. 19th International Grassland Congress, Sao Paulo (Brazil).
- MILLER, L.; MOORBY, J.; DAVIES, D.; HUMPHREYS, M.; SCOLLAN, N.; MACRAE, J.; THEODOROU, M. 2001b. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): Milk production from late-lactation dairy cows. *Grass and Forage Science* **56**, 383-394.
- MILLS, J.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; CAMMELL, S.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating cow: model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.* **79**, 1584–1597.
- MILLS, J.; KEBREAB, E.; YATES, C.; CROMPTON, L.; CAMMELL, S.; DHANOA, M.; AGNEW, R.; FRANCE, J. 2003. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *J. Anim. Sci.* **81**, 3141-3150.
- MOE, P.; TYRRELL, H. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* **62**, 1583-1586.
- MONGE, E.; FERRER, M.; ORÚS, F. 2001. Análisis físico-químico de estiércoles fluidos. I. Materia orgánica y estimaci3n del humus aportado. *Anaporc* **209**, 88-100.

- MONTENY, G.; ERISMAN, J. 1998. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **46**, 225-247.
- MOORBY, J.; THEOBALD, V. 1999. Short Communication: The Effect of Duodenal Ammonia Infusions on Milk Production and Nitrogen Balance of the Dairy Cow. *J. Dairy Sci.* **82**, 2440-2442.
- MOORBY, J.; MILLER, L.; EVANS, R.; SCOLLAN, N.; THEODOROU, M.; MACRAE, J. 2001. Milk Production and N Partitioning in Early Lactation Dairy Cows Offered Perennial Ryegrass Containing a High Concentration of Water Soluble Carbohydrates. Proceedings of the British Society of Animal Science Annual Meeting, York.
- MORAL R.; PÉREZ, A.; PÉREZ, M.D.; MORENO J. 2001. Gestión de residuos de explotaciones agropecuarias. Edita *Universidad Miguel Hernández de Elche*.
- MORAL, R.; MORENO, J.; PEREZ, M.D.; PEREZ, A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. 2005a. Characterization of the organic matter pool in manures. *Bioresource Technology* **96**, 153-158.
- MORAL, R.; PÉREZ, M.D.; PÉREZ, A.; MORENO, J.; PAREDES, C.; RUFETE, B. 2005b. Estimation of nutrient values of pig slurries in southeast Spain using easily-determined properties. *Waste Management* **25**, 719-725.
- MORSE, D.; HEAD, H.; WILCOX, C.; VAN HORN, H.; HISSEM, C.; HARRIS Jr., B.; 1992. Effects of concentrations of dietary phosphorous on amount and route of excretion. *J. Dairy Sci.* **75**, 3039-3049.
- MOSS, A. 1993. Methane: Global warming and production by animals. Chalcombe publ., Canterbury. UK.
- MOSS, A.; GIVENS, D. 1995. The effect of supplementing grass silage soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* **97**, 127-143.
- NEVENS, F.; VERBRUGGEN, I.; REHEUL, D.; HOFMAN, G. 2006. Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flanders: Evolution and future goals. *Agricultural Systems* **88**, 142-155.
- NIELSEN, A.; KRISTENSEN, I. 2005. Nitrogen and phosphorous surpluses on Danish dairy and pig farms in relation to farm characteristics. *Livestock Production Science* **96**, 97-107.
- NOVOA, A.; CASTRO, J.; BÁEZ, D. 2005. Balances de nutrientes para la evaluación de la sostenibilidad de las explotaciones de vacuno de leche en Galicia. *Actas de la XLV Reunión Científica de la SEEP. Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*, **I**, 183-190.
- NRC. 1989. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC, 2001. Nutrient Requirements for Dairy Cattle. 7th rev. Ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.

NV. 2002. Development of methodology for quantifications of emissions of greenhouse gases in agriculture. Dnr. 108-356-01-Md. Stockholm, Sweden.

O'BRIC, C. 1991. A survey of the nutrient composition of cattle and pig slurries. M.Ss. Thesis. University College Dublin.

OENEMA, O.; PIETRZAR, K. 2002. Nutrient management in food production: achieving agronomic and environmental targets. *Ambio* **31**, 159-168.

OENEMA, O. 2006. Nitrogen budgets and losses in livestock systems. International Congress Series 1293, 262-271.

OENEMA, O.; BOERS, P.; VAN EERDT, M.; FRATERS, B.; VAN DER MEER, H.; ROEST, C.; SCHRÖDER, J.; WILLEMS, W.; 1998. Leaching of nitrate from agriculture to groundwater: the effect of policies and measures in the Netherlands. *Environmental Pollution* **102**, 471-478.

OENEMA, O.; KOSKAMP, G.; GALAMA, P.; 2001. Guiding commercial pilot farms to bridge the gap between experimental and commercial dairy farms; the project „Cows and Opportunities”. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **49**, 277-296.

OENEMA, O.; PIETRZAK, S.; 2002. Nutrient management in food production: achieving agronomic and environmental targets. *Ambio*. **31**, 159-168.

OLIVIER, J.; BRANDES, L.; PETERS, J.; COENEN, P.; VREULS, H.; 2003. Greenhouse gas emissions in The Netherlands 1990-2001. National inventory report 2003. Report 773201007/2003. National Institute of Public Health and Environment Protection, Bilthoven.

OLTNER, R.; EMANUELSON, M.; WIKTORSSON, H. 1985. Urea concentrations in milk in relation to milk yield, live weight, lactation number and amount and composition of feed given to dairy cows. *Livestock Production Science* **12**, 401-407.

OLTNER, R.; WIKTORSSON, H. 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Livestock Production Science* **10**, 457-467.

O'MARA, F. 2004. Greenhouse gas production from dairying: reducing methane production. *Advances in Dairy Technology*, **16**, 295-309.

ONDERSTEIJN, C.; BELDMAN, A.; DAATSELAAR, C.; GIESEN, G.; HUIRNE, R. 2002. The Dutch Mineral Accounting System and the European Nitrate Directive: implications for N and P management and farm performance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **92**, 283-296.

ORR, J.; MAIER-REIMER, E.; MIKOLAJEWICZ, U.; MONFRAY, P.; SARMIENTO, J.; TOGGWEILER, R.; TAYLOR, N.; PALMER, J.; GRUBER, N.; SABINE, C.; LEQUERE, C.; KEY, R.; BOUTIN, J. 2011. Estimates of anthropogenic carbon uptake from four 3-D global ocean models *Global Biogeochemical Cycles*, **15**(1), 43-60, 2001.

ONDERSTEIJN, C.; BELDMAN, A.; DAATSELAAR, C.; GIESEN, G.; HUIRNE, R. R. 2003a. Farm structure or farm management: effective ways to reduce nutrient surpluses on dairy farms and their financial impacts. *Livestock Production Science* **84**, 171-181.

ONDERSTEIJN, C.; GIESEN, G.; HUIRNE, R.; 2003b. Identification of farmer characteristics and farm strategies explaining changes in environmental management and environmental and economic performance of dairy farms. *Agricultural Systems* **78**, 31-55.

OUDENDAG, D.; KUIKMAN, P. 2004. HANDLEIDING ROB-DS versie 2.0; Decision support in het reductieplan Overige Broeikasgassen. Rapport 649 Alterra, Wageningen.

PARICIO, S., PRATS, I.LL., 1995. Los residuos ganaderos y su incidencia en la atmósfera. En: *Zootecnia Bases de la producción animal*. Tomo IV: Genética, Patología, Higiene y residuos animales. Capítulo XVII. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, (España).

PAYRAUDEAU, S.; VAN DER WERF, H.; VERTES, F., 2005. A method for estimating of emissions of nitrogen compounds for a group of farms.

PEKKA, H.; NOUSIAINEN, J.; KHALILI, H. 2003. Efficiency of N utilisation in milk production. *Nordic Association of Agricultural Scientists 22nd Congress, Turku, Finland*.

PETIT, H.; TREMBLAY, G. 1995. Ruminant fermentation and digestion in lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *J. Dairy Sci.* **78**, 342-352.

PEYRAUD, J.; ASTIGARRAGA, L. 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Science and Technology* **72**, 235-259.

PEYRAUD, J.; ASTIGARRAGA, L.; FAVERDIN, P. 1997. Digestion of fresh perennial ryegrass fertilized at two levels of nitrogen by lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* **64**, 155-171.

PHILLIPS, V.; SCHOLTENS, R.; LEE, D.; GARLAND, J.; SNEATH, R. 2000. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores. Part I: Assessment of basic approaches. *Journal of Agricultural Engineering Research* **77**, 355-364.

- PICCININI, S.; BORTONE, G. 1991. The fertilizer value of agricultural manure: simple rapid methods of assessment. *Journal of Agricultural Engineering Research* **49**, 197-208.
- PISULEWSKI, P.; RULQUIN, H; PEYRAUD, J.; VERITE, R. 1996. Lactational and Systemic Responses of Dairy Cows to Postruminal Infusions of Increasing Amounts of Methionine. *J. Dairy Sci.* **79**, 1781-1791.
- PITT, R.; VAN KESSEL, J.; FOX, D.; PELL, A.; BARRY, M.; VAN SOEST, P. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *J. Anim. Sci.* **74**, 226–244.
- POLAN, C.; CUMMINS, K.; SNIFFEN, C.; MUSCATO, T.; VICINI, J; CROOKER, B; CLARK, J.; JOHNSON, D.; OTTERBY, D.; GUILLAUME, B.; MULLER, L.; VARGA, G; MURRAY, R.; PEIRCE-SANDNER, S. 1991. Responses of Dairy Cows to Supplemental Rumen-Protected Forms of Methionine and Lysine. *J. Dairy Sci.* **74**, 2997-3013.
- POMARES, F.; CANET, R. 2001. Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. En: *Aplicación Agrícola de residuos orgánicos* (J. Boixadera y R.M. Teira eds.). Ediciones de la Universidad de Lleida. Lleida, (España).
- POWELL, M.; JACKSON-SMITH, D.; SATTER, L. 1999. Phosphorus content of feeds and feces on Wisconsin Dairy Farms. U.S. Dairy Forage Research Center Research Summaries. Madison, WI.
- POWELL, J; JACKSON-SMITH, D.; MCCRORY, D.; SAAM, H.; MARIOLA, M. 2006. Validation of feed and manure data collected on Wisconsin dairy farms. *J. Dairy Sci.*, **89**, 2268-2278.
- PRATS, I.; ROSELL, I. 1995. Los residuos ganaderos y su agresión al medio ambiente. En: *Zootecnia Bases de la producción animal*. Tomo IV: Genética, Patología, Higiene y Residuos animales. Capítulo XVI. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, (España).
- PROVOLO, G., 2005. Manure management practices in Lombardy (Italy). *Bioresource Technology* **96**, 145-152.
- PROVOLO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L. 2004. A field device for slurry nutrient content assessment. *Proceedings of the 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agriculture, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*. Pages 97-100. Murcia (Spain), 6-9 October 2004.
- PROVOLO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L. 2007. In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. *Bioresource Technology* **98**: 3235–3242.
- PRATHER, M.; DERWENT, R.; EHHALT, D.; FRASER, P.; SANHUEZA, E.; ZHOU, X.; 1995. Other trace gases and atmospheric chemistry. IN: HOGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.G., BRUCE, J., LEE, H., CALLANDER, B.A., HAITES, E., HARRIS, N., MASKELL, K. (Eds) *Climate change 1994*, Cambridge University Press, pp. 73-126.

- RAMIREZ, E. 2008. Modelling the nitrogen surplus and the efficiency of nitrogen use in Flemish dairy farms. Tesis doctoral. ISBN 978-90-5989-247-7.
- RAUN, A. 1990. Rumensin “then and now”. P. A1-A20. *In* Rumensin in the 1990s. Elanco Animal Health. Denver.
- REINHARDT, G. 1997. Bilanzen über die gesamien Lebenswege. In: Kaltschmitt, M. Reinhardt, G.A. (Hrsg.), *Nachwachsende Energiträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung*. Verlag Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, Germany, pp. 84-95.
- REYNOLDS, C.; CAMMELL, S.; HUMPHRIES, D.; BEEVER, D.; SUTTON, J.; NEWBOLD, J. 2001. Effects of Postrumen Starch Infusion on Milk Production and Energy Metabolism in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **84**, 2250-2259.
- RINNE, M.; JAAKKOLA, S.; HUHTANEN, P. 1997. Grass Maturity Effects on Cattle Fed Silage Based Diets. 1. Organic Matter Digestion, Rumen Fermentation and Nitrogen Utilization. *Animal Feed Science and Technology* **67**, 1-17.
- RIVEROS, E.; ARGAMENTERÍA, A., 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. 1. Forrajes verdes. 2. Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal* 12-49.
- ROBINSON, P. FREDEEN, A.; CHALUPA, W.; JULIEN, W.; SATO, H.; FUJIEDA, T.; SUZUKI, H. 1995. Ruminally Protected Lysine and Methionine for Lactating Dairy-Cows Fed a Diet Designed to Meet Requirements for Microbial and Postruminal Protein. *J. Dairy Sci.* **78**, 582-594.
- ROOKE, J.; LEE, N.; ARMSTRONG, D. 1987. The effects of Intraruminal Infusions of Urea, Casein, Glucose Syrup and a Mixture of Casein and Glucose Syrup on Nitrogen Digestion in the Rumen of Cattle Receiving Grass Silage Diets. *British Journal of Nutrition* **57**, 89-98.
- ROSELER, D.; FERGUSON, J.; SNIFFEN, C.; HERREMA, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* **76**, 525-534.
- ROSS, C.; SCHOLEFIELD, D.; JARVIS, S. 2001. Model for ammonia systems transfers at the farm scale. *J. Agricultural Science, Cambridge*, **137**, 113-112. Proceedings of the thirty-third Meeting of the Agricultural Research Modellers’ Group.
- ROZA, de la, B.; MARBÁN, A.; PAREDES, E.; VICENTE, F.; RODRÍGUEZ, M.; ARGAMENTERIA, A., 2005. Nivel de excreción de urea en leche como estimador de la alimentación nitrogenada en vacas. ITEA, Vol. Extra N° 26, Tomo II, 650-652.
- RULKENS, W.; KLAPWIJK, A.; WILLERS, H. 1998. Recovery of available nitrogen compounds from agricultural liquid wastes: potential possibilities, bottlenecks and future technological challenges. *Environmental Pollution* **102**, 727-735.

RULQUIN, H.; DELABY, L. 1997. Effects of the Energy Balance of Dairy Cows on Lactational Responses to Rumen-Protected Methionine. *J. Dairy Sci.* **80**, 2513-2522.

RUSSELL, J.; STROBEL, H. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* **55**, 1-6.

RUSSELL, J. 1998. The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production *in vitro*. *J. Dairy Sci.* **81**, 3222-3230.

SARMIENTO, M., SALCEDO, G., GONZÁLEZ, L.M. 1996. Calidad de los ensilados de hierba en la Comunidad Autónoma de Cantabria. *Actas de la XXXVI R.C. de la S.E.E.P.* Soria 337-340.

SALCEDO, G.; SARMIENTO, M., 1997. Degradabilidad ruminal de la alfalfa según el tipo de conservación. *Actas de la XXXVII R.C. de la S.E.E.P.* Sevilla-Huelva, 463-468.

SALCEDO, G. 1998. Efectos del tipo de proteína suplementada a vacas lecheras consumiendo ensilado de hierba de alta degradabilidad. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* Vol. **13** (1, 2 y 3), 55-67.

SALCEDO, G. 2000. Efecto de la madurez del ensilado de hierba, sobre la utilización digestiva en vacas lecheras. *Anales del Instituto de Estudios Agropecuarios.* Vol **XIII**, 103-126.

SALCEDO, G. 2002a. Efectos de la sustitución parcial del tiempo de pastoreo por ensilado de hierba a dos niveles de concentrado, sobre la producción y composición química de la leche., 2002. *ITEA Vol. 98ª N° 3* pág. 328-346.

SALCEDO, G.; SARMIENTO, M., 2002b. Valor nutritivo y degradabilidad ruminal de los componentes morfológicos del maíz forrajero en dos estados de madurez. *Actas de la XLII R.C. de la S.E.E.P.* Lérida, 419-424.

SALCEDO, G., 2006. Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. *Documentos Técnicos de Medio Ambiente.* Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria. ISBN-10:84-935016-1-1.

SALCEDO, G., 2007. Eficiencia en la conversión de materia seca a leche en dietas experimentales, explotaciones de Cantabria y bibliográficas. *Cría y Salud (Bovino).* Año 3 N° 15, pág.: 30-45.

SALCEDO, G. 2007. Efectos del tipo de conservante añadido o no, al ensilado de hierba sobre la excreción de fósforo en novillas de reposición y vacas lecheras. *Actas de la XLVI R.C. de la SEEP.* Vitoria 2007. pág.: 409-414.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L. 2008. Nitrogen excretion and utilization in grassland dairy cows. *Proceedings of the 22nd General Meeting of the European Grassland Federation (EGF).* Pages 855-857. Uppsala (Sweden), 9-12 June 2008.

SALCEDO, G.; MARTINEZ-SULLER, L.; TEJERO, I.; SARMIENTO, M., 2008a. Efectos del color del plástico y del número de capas, sobre la composición química y

calidad fermentativa en ensilados de hierba. Actas de la XLVII R.C. de la S.E.E.P. Córdoba, 395-402.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; TEJERO, I., ARRIAGA, G.; MERINO, P.; MONS, C.; FUENTES, A., 2008. Use of Net Carbohydrate and Protein System model to estimate phosphorus fecal excretion. 13th RAMIRAN International Conference, Albena, Bulgaria, pág: 449-452.

SALCEDO, G. 2008. Jornada Técnica Suelos Agrícolas de Cantabria. CIFA. Noviembre 2008. Interpretación de análisis y recomendaciones de abonado en praderas.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; TEJERO, I., 2008a. Balance de nitrógeno en las explotaciones lecheras de Cantabria (España). *Libro de actas del IV Congreso Mundial de Ingenieros Agrónomos* (Madrid). Sesión 5: Ganadería, Producción y Sanidad. 28-30 octubre 2008.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; TEJERO, I.; RICO, C. 2008c. Composición química del purín en las explotaciones lecheras de Cantabria y su relación con la nutrición. *Cría y Salud n° 20* (septiembre). Páginas 36-42.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; TEJERO, I.; RICO, J.L. 2008d. Excreción y composición química de las heces en vacuno lechero: efectos del porcentaje de almidón incluido en la dieta (1). *Libro de actas del I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas (Ecofarm – Expoaviga)*. Pág. 149-158. Barcelona. 14-16 de abril del 2008.

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; TEJERO, I.; RICO, J.L. 2008e. Excreción y composición química de las heces en vacuno lechero: efectos del porcentaje de proteína incluido en la dieta (2). *Libro de actas del I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas (Ecofarm – Expoaviga)*. Páginas 159 – 168. Barcelona. 14-16 de abril del 2008.

SALCEDO, G. 2009a. Interpretación del análisis de urea en leche. Jornada Técnica. UGAM. Hoznayo (Cantabria).

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; MONS, C.; TEJERO, I. 2009b. Utilización del purín del vacuno lechero en forrajes de invierno a diferentes estados de madurez: (1) efectos sobre la producción de materia seca y eficiencia de utilización del N. *Libro de actas del I SIGERA: I International Symposium on Animal Waste Management*. 11-13 Marzo 2009 (Florianópolis, Brasil).

SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L.; MONS, C.; TEJERO, I. 2009c. Utilización del purín del vacuno lechero en forrajes de invierno a diferentes estados de madurez: (2) efectos sobre la producción y eficiencia de utilización de los nutrientes (N, P). *Libro de actas del I SIGERA: I International Symposium on Animal Waste Management*. 11-13 Marzo 2009 (Florianópolis, Brasil).

SANGIORGI, F.; PROVOLO, G. 1997. Gestione dei reflui e ambiente. *Rivista di Suinicoltura* **5**, 45-51.

SANGIORGI, F.; PROVOLO, G.; CARTON, O.; COMBY, T.; LORENZ, F.; HUIJSMANS, J.; EFTICHIDIS, G.; MCGECHAN, M.; MAGETTE, W. 1996. Optimal use of animal slurries for input reduction and protection of the environment in sustainable agricultural systems (SWAMP), *Proceedings of the International Scientific Conference "Faculty of Agronomy and Agricultural Development of Slovakia"*. Pg. 101-105. Nitra, Slovakia, aprile 1996.

SANSINENA, M.; BUNTING, L.; STOKES, S.; JORDAN, E. 1999. A survey of trends and rationales for phosphorus recommendations among Mid-South nutritionists. Pages 51-54 In: Proc. Mid-South Ruminant Nutr. Conf., Dallas, TX.

SANTOS, F.; SANTOS, J.; THEURER, C.; HUBER, J. 1998. Effects of Rumen-Undegradable Protein on Dairy Cow Performance: A 12 Year Literature Review. *J. Dairy Sci.* **81**, 3182-3213.

SATTER, L.; SLYTER, L. 1974. Effect of Ammonia Concentration on Rumen Microbial Protein Production *in vitro*. *British Journal of Nutrition* **32**, 199-208.

SCHILS, R.; VERHAGEN, A.; AARTS, H.; ŠEBEK, L. 2005. A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 163-175.

SCHILS, R.; OUDENDAG, D.; VAN DER HOEK, K.; DE BOER, J.; EVERS, A.; DE HAAN, M. 2006a. Broeikasgasmodule BBPR. Animal Sciences Group, Praktijkrapport Rundvee 90.

SCHILS, R.; VERHAGEN, A.; AARTS, H.; KUIKMAN, P.; SEBEK, L. 2006b. Effect of improved nitrogen management on greenhouse gas emissions from intensive dairy systems in the Netherlands. *Global Change Biology* **12**, 382-391

SCHRÖDER, J.; AARTS, H.; TEN BERGE, H.; VAN KEULEN, H.; NEETESON, J. 2003. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy* **20**, 33-44.

SCOTFORD, I.; CUMBY, T.; HAN, L.; RICHARDS, P. 1998a. Development of a prototype nutrient sensing system for livestock slurries. *J. Agric. Eng. Res.* **69**, 217-228.

SCOTFORD, I.; CUMBY, T.; WHITE, R.; CARTON, O.; LORENZ, F.; HATTERMAN, U.; PROVOLO, G. 1998b. Estimation of the nutrient value of agricultural slurries by measurement of physical and chemical properties. *J. Agric. Eng. Res.* **71**, 291-305.

SMINK, W.; VAN DER HOEK, K.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J. 2005. Calculation of methane production from enteric fermentation in dairy cows. Project number SenterNovem: 0377-05-02-02-003.

SMITH, K.; CHARLES, D.; MOORHOUSE, D. 2000. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters. Part 2: pigs and poultry. *Bioresource Technology*, **71**, (2) 183-194.

SMITS, M.; VALK, H.; ELZING, A.; KEEN, A. 1995. Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Science* **44**, 147–156.

SPILLANE, T.; O'SHEA, J. 1973. A simple way to dispose of silage effluents. *Farm and Food*, 80-81, July-August 1973.

SSPS 11. 2002. Guía para análisis de datos. Ed. McGraw-Hill.

STEVENS, R.; O'BRIC, C.; CARTON, O. 1995. Estimating nutrient content of animal slurries using electrical conductivity. *J. Agric. Sci.* **125**, 233-238.

ST-PIERRE, N.; THRAEN, S. 1999. Animal grouping strategies, sources of variation, and economic factors affecting nutrient balance on dairy farms. *J. Dairy Sci.* **82**/(Suppl. 2), 72-83.

SUTTER, A. 1957. Project nº 307, 74-82. The European Productivity Agency of the Organization for European Cooperation. Citado por McDonald et al. (1991).

SUTTON, J.; CAMMELL, S.; BEEVER, D.; HUMPHRIES, D.; PHIPPS, R. 1998. Energy and nitrogen balance of lactating dairy cows given mixtures of urea-treated whole crop wheat and grass silage. *Animal Science* **67**, 203-212.

SWENSSON, C. 2003. Analyses of mineral element balances between 1997 and 1999 from farms in the south of Sweden. *European Journal of Agronomy* **20**, 63-69.

TAMMINGA, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *J. Dairy Sci.* **75**, 345-357.

TAMMINGA, S.; M. W. VERSTEGEN. 1996. Implications of nutrition of animals on environmental pollution. In: P. C. Garnsworthy and J. Wiseman (ed.) *Recent Advances in Animal Production*. pp 121-134. Nottingham University Press, U.K.

TAMMINGA, S.; BANNINK, A.; DIJKSTRA, J. ; ZOM, R. 2007. Feeding strategies to reduce methane loss in cattle. Report 34. ISSN 1570-861.

THOMASSEN, M.; VAN CALKER, K.; SMITS, M.; IEPEMA, G.; DE BOER, I. 2007. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems*, **96**, 95-107.

THOMASSEN, M. 2008. Environmental impact of dairy cattle production systems: an integral assessment. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

TROMBETTA, A.; ACCOTTO, E.; BELFIORE, G.; PICCONE, G.; PANTUSA, S.; NAPPI, P.; BARBERIS, R. 1998. Metodi di analisi dei compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche. En: *Analisi merceologica dei rifiuti*. Arti Grafiche LCL Busca (CN). Regione Piemonte. Italia.

TUNNEY, H. 1979. Dry matter, specific gravity and nutrient relationship of cattle and pig slurry. En: *Engineering Problems with Effluents from Livestock*. Ed. J.C. Hawkins – E.E.C. Luxembourg. Pages 430-445.

TUNNEY, H.; BERTRAND, M. 1989. Rapid field test for estimating dry matter and fertilizer value of animal slurry. *Proceeding of the 11th International Congress on Agricultural Engineering*. Dodd & Grace (Ed). Dublin (Ireland). Land and Water Use, 363-370.

TYRRELL, H. ; REID J. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *J. Dairy Sci.* 48, 1215-1233.

VALK, H.; H. W. KLEIN POELHUIS; H. J. WENTINK. 1990. Effect of Fibrous and Starchy Carbohydrates in Concentrates as Supplements in a Herbage-Based Diet for High-Yielding Dairy Cows. *Nethe. J. Agric.* **38**, 475-486.

VALK, H.; HOBDELINK, M. 1992. Supplementation of grazing dairy cows to reduce environmental pollution. In: *Proceedings of 14th General Meeting of the European Grassland Federation*. Lathi, Finland. pp. 400-405.

VALK, H. 1994. Effects of Partial Replacement of Herbage by Maize Silage on N-Utilisation and Milk Production of Dairy Cows. *Livestock Production Science.* **40**, 241-250.

VALK, H.; EBEL, L. 1999. Influence of prolonged feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, reproduction and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **82**, 2157-2163.

VAN BEEK, C.; BROUWER, L.; OENEMA, O. 2003. The use of farm-gate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **67**, 233-244.

VAN BRUCHEM, J.; SCHIERE, H.; VANKEULEN, H. 1999. Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient use of nutrients. *Livestock Production Science.* **61**, 145-153.

VAN HORN, H.; WILKIE, A.; POWERS, W.; NODSTEDT, R. 1994. Components of dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.* **89**, 1280-2030.

VAN HORN, H. 1990. Achieving balance of nutrient flow through animal production systems. Proc. American Feed Industry Assoc. Nutrition symposium, St. Louis, MO. Nov. 5-6, 1990. pp. 15-32.

VAN KESSEL, J.; REEVES, J.B. 2000. On-farm quick test for estimating nitrogen in dairy manure. *J. Dairy Sci.* **83**, 1837-1844.

VAN KEULEN, H.; AARTS, H.; HABEKOTTÉ, B.; VAN DER MEER, H.; SPIERTZ, J. 2000. Soil – plant – animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system „De Marke”. *European Journal of Agronomy* **13**, 245-261.

VAN LAAR, H.; VAN STRAALLEN, W. 2004. Ontwikkeling van een rantsoen voor melkvee dat de methaanproductie reduceert. Schothorst Feed Research.

VAN SOEST, P. 1994. Nitrogen metabolism. Page 290-311 in Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. P.J. Van Soest, ed. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, NY.

VAN VUUREN, M.; AERTS, R.; BERENDSE, F.; DE VISSER, W. 1992. Nitrogen mineralization in heathland ecosystems dominated by different plant species. *Biogeochemistry* **16**, 151-166.

VAN VUUREN, A.; VAN DER KOELEN, M.; VALK, C.; DE VISSER, H. 1993. Effects of Partial Replacement of RyeGrass by low Protein Feeds on Rumen Fermentation and Nitrogen Loss by Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **76**, 2982-2993.

VAN STRAALLEN, W.; DOOPER, F.; ANTONIEWICZ, A.; KOSMALA, I.; VAN VUUREN, A. 1993. Intestinal Digestibility in Dairy Cows of Protein from Grass and Clover Measured with Mobile Nylon Bag and Other Methods. *J. Dairy Sci.* **76**, 2970-2981.

VANHATALO, A.; HUHTANEN, P.; TOIVONEN, V.; VARVIKKO, T.; VANHATALO, A.; JALAVA, T.; HUHTANEN, P. 1999. Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. *J. Dairy Sci.* **82**, 2674-2685.

VAN HORN, H.; NORDSTEDT, R.; BOTTCHEER, A.; HANLON, E.; GRAETX, A.; CHAMBILISS, C. 1991. Dairy manure management: strategies for recycling nutrients to recover fertilizer value and avoid environmental pollution. Florida Cooperative Extension Service Circular 1016.

VAN SOEST, P.; ROBERTSON, J.; LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* **74**, 3583-3597.

VARVIKKO, T.; VANHATALO, A.; JALAVA, T.; HUHTANEN, P. 1999. Lactation and Metabolic Responses to Graded Abomasal Doses of Methionine or Lysine in Cows Fed Grass Silage Based Diets. *J. Dairy Sci.* **82**, 2659-2773.

VELLINGA, T. 2006. Management and nitrogen utilisation of grassland on intensive dairy farms. PhD thesis Wageningen University, 246 pp.

VELTHOF, G.; BRADER, A.; OENEMA, O. 1996. Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in the Netherlands. *Plant and Soil* **181**, 263-274.

VELTHOF, G.; OENEMA, O. 1997. Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **45**, 347-360.

VERBRUGGEN, I.; NEVENS, F.; REHEUL, D.; HOFMAN, G. 2004. Stikstofgebruik en efficiëntie in de vlaamse melkveehouderij. Publicatie 6. Steunpunt duurzame landbouw.

- VERMOREL, M. 1995. Emissions annuelles de methane d'origine digestive par les bovines en France, variation selon le type d'animal et le niveau de production, *INRA, Prod. Anim.* **8**, 265-275.
- VERVOORT, R.; RADCLIFFE, D.; CABRERA, M.; LATIMORE, M. Jr., 1998. Nutrient losses in surface and subsurface flow pasture applied poultry litter and composted poultry litter. *Nutrient Cycling of Agroecosystems* **50**, 287-90.
- WAN, S.; FOX, S.; CHERNEY, D.; CHASE, L.; TEDESCHI, L. 2000. Whole-herd optimization with the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. III. Application of an optimization model to evaluate alternatives to reduce nitrogen and phosphorus mass balance. *J. Dairy Sci.* **83**, 2160-2169.
- WATTS, P.; GARDNES, E.; TUCKER, R.; CASEY, K. 1994. Mass-balance approach to design of nutrient management systems at cattle feedlots. P. 27-33. In d.E. Store and K.G. Casey (ed). Proc. Of the Great Plańis Animal Waste Conf. on Confined Animal Production and Water Quality: Balancing Animal Production and the environm., Denver. 19-21 Oct. 1994. Great Plains Publ. 151. natl. Cattlemen's Assoc., Englewood, CO.
- WEIS, W. 2004. Factor affecting manure excretion by dairy cows. Cornell Nutrition Conference. NY. Proc. Cornell Nutr. Conf., pág. 11-20.
- WINTERS, A.; COCKBURN, J.; DHANOA, M.; MERRY, R. 2000. Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and nonsterile ryegrass. *Journal of Applied Microbiology.* **89**, 442-451.
- WINTERS, A.; FYCHAN, R.; JONES, R. 2001. Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. *Grass and Forage Science.* **56**, 181-192.
- WINTERS, A.; LLOYD, J.; JONES, R.; MERRY, R. 2002. Evaluation of a rapid method for estimating free amino acids in silages. *Animal Feed Science and Technology.* **99**, 177-187.
- WOLIN, M.J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci.* **43**, 1452-1459.
- WOODS, V.; KILPATRICK, D.; GORDON, F. 2003. Development of empirical models to describe the response in lactating dairy cattle to changes in nutrient intake as defined in terms of metabolisable energy intake. *Livestock Production Science* **80**, 229-239.
- WU, Z.; SATTER, L. 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.* **83**:1052-1063.
- WU, Z.; SATTER, L.; BLOHOWIAK, A.; STAUFFACHER, R.; WILSON, J. 2001. Milk production, phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.* **84**:1738-1748.

WU, Z.; SATTER, D.; SOJO, R. 2000. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts for phosphorus. *J. Dairy Sci.* **83**, 1028-1041.

YAN, T.; PATTERSON, D.; GORDON, F.; PORTER, M. 1996. The Effects of Wilting Grass Prior to Ensiling on the Response to Bacterial Inoculation. 1. Silage Fermentation and Nutrient Utilization Over Three Harvests. *Animal Science.* **62**, 405-417.

YAN, T.; AGNEW, R.; GORDON, F.; PORTER, M. 2000. Prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livest. Prod. Sci.* **64**, 253-263.

ZBIGNIEW, K.; CORJAN B. 2004. Modelling of Emissions of Air Pollutants and greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe. International Institute for Applied Systems Analysis 1-69.



2 | Balances nutricionales en vacas lecheras



Balances nutricionales en vacas lecheras

Balances nutricionales de Nitrógeno, Fósforo, Almidón, FND:Almidón.

Modelizado de la eficiencia del Nitrógeno y Fósforo

G. Salcedo



BALANCES NUTRICIONALES DE N, P, ALMIDÓN, FND : ALMIDÓN. MODELIZADO DE LA EFICIENCIA DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

3. Resultados y discusión

3.1. Balance de N

3.2. Balance de Almidón

3.3. Balance de Fósforo

3.4. Balance Fibra Neutro Detergente : Almidón

4. Modelizado de NUE y PUE

5. Relación g de N y P excretado por kilogramo de leche para el conjunto de balances

6. Clasificación de las mezclas de concentrado

7. Conclusiones parciales

8. Bibliografía

Resumen

Tres vacas Frisonas, primíparas con 160 días en lactación, fueron alojadas en nave metabólica para estudiar los efectos de la adición de cuatro mezclas de concentrado con tres concentraciones diferentes de proteína, almidón, fósforo y la relación fibra neutro detergente : almidón sobre la ingestión, digestibilidad, producción y composición química de la leche y heces.

Las dietas son formuladas al 50% de forraje y 50% de concentrado como una ración total mezclada. Las mismas están formadas por ensilado de maíz (4.9 kg MS); alfalfa deshidratada (4.5 kg MS), un suplemento extra a base de semilla de algodón y grasa protegida (1.8 kg MS) y una mezcla de concentrados (7.5 kg MS que contiene el 20% de alfalfa deshidratada) de diferente concentración **Proteica (PB)** (15.7%, 18.9% y 21.7%); **Almidón (Al)** (28%, 35% y 42%); **Fósforo (P)** (0.5%, 0.65% y 0.80%) y la relación **Fibra neutro detergente:almidón (FND:Alm)** (0.96, 1.66 y 2.54). Cada mezcla de concentrado es analizada independientemente como un cuadrado latino (3 vacas x 3 concentraciones de cada nutriente), durante 3 períodos experimentales de 15 días (11 de adaptación a la nueva dieta y 4 de control o experimental).

Posteriormente, con la información de los cuatro balances nutricionales se modelizó mediante análisis de regresión múltiple, la eficiencia de utilización del N (NUE) y fósforo (PUE). Más tarde, las 12 mezclas de concentrados se clasifican en función de su relación PB:P y FND:Alm para definir los aspectos de consumo, digestibilidad, producción y composición de la leche y heces.

Para la **Proteína**, la ingestión de materia seca no difiere los diferentes porcentajes incluidos en la mezcla de concentrados, con valores medios de 19.3 ± 1.9 kg, pero sí, ($P < 0.001$) respecto al N ingerido. El contenido de N de las heces incrementó linealmente conforme lo hace la concentración proteica del concentrado ($P < 0.001$), sin diferencias en el volumen de heces vaca y día; por el contrario, se observó un aumento lineal del N excretado en heces ($r^2 = 0.67$) y orina ($r^2 = 0.96$) respecto al ingerido. La mayor producción de leche se registró en la mezcla de superior porcentaje proteico ($P < 0.05$), sin diferencias en la concentración de proteína en leche y, $P < 0.001$ la producción diaria. Cada grano de N ingerido superior a 355 g d^{-1} y dentro del rango 355 a 564 g, la eficiencia del N (NUE) disminuye -0.035 unidades porcentuales ($r^2 = 0.71$).

Los resultados del balance de **Almidón** no mostraron diferencias de consumo respecto a la concentración incluida en la mezcla de concentrados, con ingestiones medias de 17.1 ± 2.5 kg, pero sí, ($P < 0.001$) respecto al ingerido. La composición química

de las heces no difiere entre concentraciones de almidón y $P < 0.05$ el contenido de N respecto al almidón ingerido. La digestibilidad aparente de la materia seca (dMS), materia orgánica (dMO), fibra neutro detergente (dFND), fibra ácido detergente (dFAD), nitrógeno (dN) y fósforo (dP) no difiere entre concentrados y $P < 0.001$ para dMS, dFAD, dFND y dN y $P < 0.01$ la digestibilidad del fósforo respecto al ingerido. La producción de leche no es diferente entre concentrados ni consumo de almidón, pero sí desciende linealmente ($P < 0.001$) el porcentaje de grasa en la leche y cuadráticamente para la proteína ($P < 0.01$).

La mayor concentración de **Fósforo** en la mezcla de concentrado, incrementó el consumo de materia seca ($P < 0.01$). El porcentaje de P en heces está positivamente relacionado con la concentración de la dieta ($r^2 = 0.42$) y la excreción de heces aumenta con el P de la mezcla de concentrado ($P < 0.05$) y $P < 0.001$ respecto al ingerido. Cada gramo de P ingerido son excretados 0.62 g ($r^2 = 0.94$); sin embargo, la digestibilidad aparente del P disminuye linealmente (-0.23 unidades porcentuales por gramo de P ingerido) conforme aumenta la ingestión de P en la dieta ($r^2 = 0.70$), y cada gramo de P ingerido superior a 70, la eficiencia de utilización del P (PUE) disminuye -0.26 unidades porcentuales ($r^2 = 0.33$). Se observa una ligera relación lineal entre PUE y NUE ($r^2 = 0.37$). La producción de leche, no difiere entre concentraciones de P y un incremento lineal en el porcentaje de proteína ($P < 0.01$).

Incrementar la relación **FND:Almidón** en la mezcla de concentrados, el consumo de materia seca disminuyó linealmente ($P < 0.05$). La concentración de N y N-NH_3 por kilogramo de materia seca de heces no varió al modificar la relación FND:almidón, observándose ligeros descensos lineales en la dMS ($r^2 = 0.17$); dMO ($r^2 = 0.18$); dFAD ($r^2 = 0.24$); dFND ($r^2 = 0.29$) y $r^2 = 0.17$ la digestibilidad aparente del N, sin diferencias para el volumen de heces frescas, pero sí, $P < 0.05$ incrementos lineales en la producción diaria de N en heces. La producción de leche no se ve afectada al variar la relación FND:Almidón, con valores medios de $20.4 \pm 5.3 \text{ kg d}^{-1}$ y sí, ($P < 0.001$) el porcentaje de grasa.

Para el conjunto de dietas, la variable más relacionada y positiva con la NUE es la producción lechera ($r = 0.57$) y negativamente, la ingestión de P con la PUE ($r = -0.73$).

La relación PB:P y FND:Almidón de las diferentes mezclas explican el 49.8% y 35.2% de la variación de la PUE, sin diferencias la NUE y el N excretado en heces y orina.

La relación PB:P revela que el 31% de la variabilidad del P excretado en heces y la relación FND:Almidón el 29%, 31%, 32%, 43%, 34% y 37.1% la dMS, dMO, dFAD, dFND, dN y dP respectivamente.

Como conclusiones más relevantes señalamos que el tipo de mezcla de concentrado cuando contiene el 20% de alfalfa, los mejores consumos, digestibilidad, producción de leche y menor excreción de N y P en heces es la formada por 18.6% de proteína bruta, 27.6% de almidón, 34.1% de fibra neutro detergente y 0.48% de fósforo.

Palabras clave: almidón, concentrados, excreción de heces, FND:Almidón, fósforo, leche, proteína, vacas lecheras.

Abstract

Three Frisian cows, primiparous with 160 days in lactation, were stabled in metabolic stalls to study the effects of the addition of four concentrate mixtures with three different concentrations of protein, starch, phosphorus and relationship neutral detergent fiber:starch on intake, digestibility, production and chemical composition of milk and faeces.

Diets are formulated to 50% forage and 50% concentrate as a total mixed ration. They are made of corn silage (4.9 kg DM), dehydrated alfalfa (4.5 kg), an extra charge based on cotton seed and protected fat (1.8 kg) and concentrate mixture (7.5 kg which contains 20% dehydrated alfalfa) of different protein concentration (CP) (15.7%, 18.9% and 21.7%), starch (S) (28%, 35% and 42%), phosphorus (P) (0.5%, 0.65% and 0.80%) and neutral detergent fiber relationship: Starch (NDF: S) (0.96, 1.66 and 2.54). Each mixture of concentrate is analyzed independently as a Latin square (3 cows x 3 concentrations of each nutrient), during 3 experimental periods of 15 days (11 to adjust to their new diet and 4 of control or experimental).

Later, with the information of the four nutritional balance was modeled using multiple regression analysis, the N utilization efficiency (NUE) and phosphorus (PUE). Later, the 12 mixtures of concentrates were classified according to their relationship CP: P and NDF: St in order to define the aspects of consumption, digestibility, production and composition of milk and faeces.

For the **protein** dry matter intake did not differ between percentage of protein contained in the concentrate mix, with mean values of 19.3 ± 1.9 kg, but, ($P < 0.001$) compared to N intake. The N content of feces increased linearly as does the protein concentration of concentrate ($P < 0.001$) without differences in the amount of cow faeces and day, on the contrary, we observed a linear increase of N excreted in faeces ($r^2 = 0.67$) and urine ($r^2 = 0.96$) compared to intake. The increased milk production was recorded in the mixture of higher protein percentage ($P < 0.05$) without differences in the concentration of protein in milk, $P < 0.001$ daily production. Each gram of N ingested more than 355 g d^{-1} and within the range from 355 to 564, the efficiency of N (NUE) -0.0035 decreases percentage units ($r^2 = 0.708$).

The results of the balance of **starch** consumption showed no differences regarding the concentration contained in the concentrate mix, with average intake of 17.1 ± 2.5 kg, but, ($P < 0.001$) compared to intake. The chemical composition of the feces did not differ between starch concentrations and $P < 0.05$ N content compared to starch ingested. The apparent digestibility of dry matter (DMd), organic matter (OMd), neutral detergent fiber (NDFd), acid detergent fiber (ADFd), nitrogen (Nd) and phosphorus (Pd) did not differ between concentrated and $P < 0.001$ for DMd, ADFd, NDFd and S and $P < 0.01$ on the digestibility of the ingested phosphorus. Milk production did not differ between concentrates and starch intake, but a linear decrease ($P < 0.001$) percentage of milk fat and protein quadratic ($P < 0.01$).

The highest concentration of **phosphorus** in the concentrate mix increased dry matter intake ($P < 0.01$). The percentage of P in faeces is positively related to the concentration of the diet ($r^2 = 0.42$) and fecal excretion increases with P in the concentrate mixture ($P < 0.05$), $P < 0.001$ compared to ingested. Each gram of P intake is

excreted 0.62 g ($r^2=0.94$), but apparent digestibility of P decreased linearly (-0.23 percentage units per gram of P intake) with increasing intake of dietary P ($r^2=0.70$) and every gram of P intake higher than 70, the P utilization efficiency (PUE) decreases -0.26 percentage units ($r^2=0.33$). There was a small linear relationship between NUE and PUE ($r^2 = 0.37$). Milk production did not differ between P concentrations and a linear increase in the percentage of protein ($P < 0.01$).

Increasing the ratio **NDF:starch** in the concentrate mix, dry matter intake decreased linearly ($P < 0.05$). The concentration of N and N-NH₃ per kilogram of dry matter of faeces did not differ by varying the NDF: starch, slight decreases were observed in the DMd linear ($r^2=0.17$); OMD ($r^2=0.18$); ADFd ($r^2=0.24$); NDFd ($r^2=0.29$) and $r^2 = 0.17$ the apparent digestibility of N, no differences for the volume of fresh faeces, but yes, $P < 0.05$ linear increases in daily production of N in faeces. Milk production is not affected by varying the NDF: starch, with mean values of 20.4 ± 5.3 kg d⁻¹ and yes, ($P < 0.001$) percentage of fat.

For all diets, the more variable and positively related with the NUE is the production of milk ($r=0.57$) and negatively with P intake PUE ($r=-0.73$). The relationship CP: P and NDF: starch, explain the different mixtures 49.8% and 35.2% of the variation of the PUE without differences of NUE and N excreted in faeces and urine.

The relationship CP:P explained 31% of the variability of P excreted in faeces and the relationship NDF:starch 29%, 31%, 32%, 43%, 34% and 37.1% of DMd, OMD, ADFd, NDFd, Nd and Pd respectively.

As findings that the type of concentrate mixture containing 20% alfalfa, the best consumption, digestibility, milk production and decreased excretion of N and P in faeces is composed of 18.6% crude protein, 27.6% starch, 34.1% neutral detergent fiber and 0.48% phosphorus.

Keywords: starch, concentrated, excretion of feces, NDF: starch, phosphorus, milk, protein, dairy cows.

1.- Introducción

Los modelos de producción lechera en Cantabria son mayoritariamente intensivos, con elevados aportes de concentrados ricos en nitrógeno (N), de importante repercusión ambiental. Por el contrario, los basados en forraje, utilizan una fuente de proteína más barata y abundante, pero de elevada degradabilidad ruminal (Salcedo, 2000). El alto consumo de N favorece acumulaciones de amoníaco en rumen, modificaciones en la composición química de la leche (Hermansen *et al.*, 1999); pérdidas de N en heces y orina, que pueden alcanzar el 80% del total de proteína ingerida (Bruchem *et al.*, 1991); reducción en el suministro de aminoácidos al intestino delgado e incremento de nitrógeno no proteico en sangre (Mangan, 1982).

Diferentes soluciones se han propuesto para mejorar la utilización del nitrógeno. Entre otras, el aporte de proteínas de menor degradabilidad, aunque indirectamente estimulan la excreción de N urinario (Peyraud *et al.*, 1995), o incrementar el aporte de carbohidratos rápidamente fermentables (Beever y Reynolds, 1994). Los trabajos de Valk y Hobbelink (1992) señalan reducciones importantes del N en orina al reemplazar forraje por concentrado, observándose en este caso, mayor excreción de N en heces con alimentos fibrosos, contrario a los amilolíticos que favorecen mayores pérdidas de N a través de la orina.

Muchas son las publicaciones orientadas a minimizar la excreción de N en vacas lecheras se han basado en el aporte de proteína (Castillo *et al.*, 2000; NRC, 2001; Salcedo, 2006), pero son pocas las encaminadas a estudiar el efecto con almidón (Castillo *et al.*, 2001). En vacuno lechero los carbohidratos representan el 60% al 70% del total de la dieta, siendo la principal fuente de energía utilizada por los microorganismos ruminales para la síntesis de proteína microbiana (Dijkstra *et al.*, 1998). La suplementación a base de concentrados ricos en almidón se caracteriza por modificar la proporción molar de los ácidos grasos volátiles del rumen, favoreciendo la producción de propionato, principal precursor de glucosa en los rumiantes, situación que influye positivamente en el metabolismo energético (Knowlton *et al.*, 1998; Bargo *et al.*, 2003).

El almidón incluido en la dieta contribuye directa o indirectamente a incrementar la excreción de N (Petit y Tremblay, 1995), si bien, la variable más relacionada es la ingestión de N (Keady y Murphy, 1998; Salcedo, 2006).

Diferentes soluciones se han propuesto para mejorar la utilización del N, como incrementar el aporte de carbohidratos rápidamente fermentables (Beever y Reynolds,

1994). Los trabajos de Valk y Hobbelink (1992) señalan reducciones importantes del N procedente de la orina al reemplazar forraje por concentrado, observándose en este caso, mayor excreción de N en las heces. Por el contrario, los amilolíticos causan pérdidas superiores a través de la orina.

Las estrategias para estimar los parámetros nutritivos, su relación con el bienestar animal y medioambiental han progresado ampliamente en los últimos años. Entre los diferentes modelos usados para tal fin está el “MOLLY”, específico para vacas lecheras (Baldwin *et al.*, 1987). El “LES” es un modelo dinámico con nuevos aspectos para la predicción de aminoácidos duodenales, flujo y producción de ácidos grasos volátiles propuesto por Lescoat y Sauvant, (1995); y el *Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS 5.0) propuesto por Fox *et al.* (2003), sin ser un modelo dinámico, tiene la ventaja de incluir condiciones medioambientales y de manejo.

El camino más rápido para reducir la excreción de P al medio ambiente es limitar su exceso en la dieta. El miedo a que la reproducción disminuya hace incrementar el aporte (Carstairs *et al.*, 1980; Steevens *et al.*, 1981; de Boer *et al.*, 1981; Call *et al.*, 1987; Brodison *et al.*, 1989; Brintrup *et al.*, 1993; Wu y Satter, 1999).

Los carbohidratos constituyen a menudo el 70% o más del consumo de materia seca, y son la mayor fuente de energía para las vacas. Desde un punto de vista nutricional, la fibra es definida como la fracción lentamente digestible o indigestible del alimento y ocupa espacio en el tracto gastrointestinal del animal. Biológicamente, la fibra neutro detergente (FND) o su inverso, solubles neutro detergente (SND), son afines al consumo (Sudweeks *et al.*, 1979; Mertens, 1994); densidad del alimento (Mertens, 1980); actividad de masticado o rumia (Cammell y Osbuourn, 1972); digestibilidad (Osbuourn *et al.*, 1974; Van Soest, 1982); tasa de digestión (Smith *et al.*, 1972) y depresión de la digestibilidad asociada con altos niveles de consumo (Mertens, 1983), son factores que directa o indirectamente afectan al consumo.

El NRC (1989) recomienda que el 75% del total de la fibra neutro detergente (FND) proceda del forraje para mantener una función ruminal óptima. Suministrar forrajes de baja calidad a vacas de alta producción manteniendo un 21% de FND del forraje y maximizar el consumo de energía para optimizar la producción de leche puede ser complejo (Slater *et al.*, 1999). La sustitución de concentrados fibrosos por alimentos ricos en almidón en las dietas del vacuno lechero, tiene por objetivo incrementar el consumo de energía. Cuando se sustituye forrajes por cereales (ricos en almidón), la

concentración de fibra neutro detergente (FND) de la dieta incrementa al igual que el consumo (Allen, 2000).

Los objetivos de estos experimentos se centran en evaluar los efectos en el consumo de proteína, almidón, fósforo y la relación FND:almidón en la mezcla del concentrado sobre el consumo, excreción, producción y composición físico química de la leche, así como el modelizado de la eficiencia de la NUE (eficiencia de utilización del nitrógeno) y PUE (eficiencia de utilización del fósforo).

2.-Material y métodos

2.1. Animales y nave metabólica

Los animales utilizados en este experimento cumplen las normas de bienestar animal señaladas por la Directiva Europea 86/609/ECC del 24 de noviembre del 1986. En cada experimento se utilizaron tres vacas Frisonas, primíparas y lactantes, con fecha media de parto 15-8-06. El peso vivo, días de lactación y producción de leche dentro de cada balance figuran en la Tabla 1. Las vacas son alojadas en jaulas de metabolismo para el control individual del alimento y excretas, con una superficie útil de 3.6 m² por plaza, incluyendo comedero y bebedero, ventilación natural mediante ventanas de corredera (Figura 1).

Después de cada balance, las vacas son retiradas de la nave metabólica y alojadas en estabulación libre para hacer ejercicio, con acceso directo a una pradera compuesta de raigrás inglés y trébol blanco, siempre después del ordeño de mañana e ingerir el 50% de la dieta.

Tabla 1.- Características de las vacas dentro de cada balance

Balance	Peso vivo, kg	Días leche	Leche, kg
Almidón	646±12	171±12	26±0.55
Proteína	641±7	216±12	24±1.2
Fósforo	638±7	261±12	27±3
FND:Almidón	642±5	306±12	20±5.7

Figura 1.- Jaula de metabolismo



2.2. Dietas

Todas las dietas son formuladas para una relación forraje:concentrado al 50% y suministrada como una ración mezclada. Los componentes de la misma son ensilado de maíz, recolectado en el estado de madurez (1/3 leche); alfalfa en rama (fibra larga); una mezcla de concentrados que incluye un $20.3 \pm 3.74\%$ de alfalfa deshidratada (fibra corta) y 1.8 kg de un suplemento extra compuesto por semilla de algodón (86.9%) y 13.1% de grasa bypass denominado (SG). La Figura 2 representa el consumo medio de cada alimento de las dietas estudiadas en los cuatro balances nutricionales. Todos los alimentos son suministrados al 50% en dos repartos (9 a.m. y 17 p.m.) y, siempre después del ordeño. En todos los casos, se adicionó un 10% más de alimento para no limitar el consumo. La composición elemental de cada mezcla de concentrados, su composición química y la de los forrajes suministrados viene representada en las Tablas 2, 3, 4 y 5. En todo momento los animales disponen de agua y piedras de sales minerales a libre disposición.

Figura 2.- Consumo medio de alimentos, kilogramos de materia seca vaca día

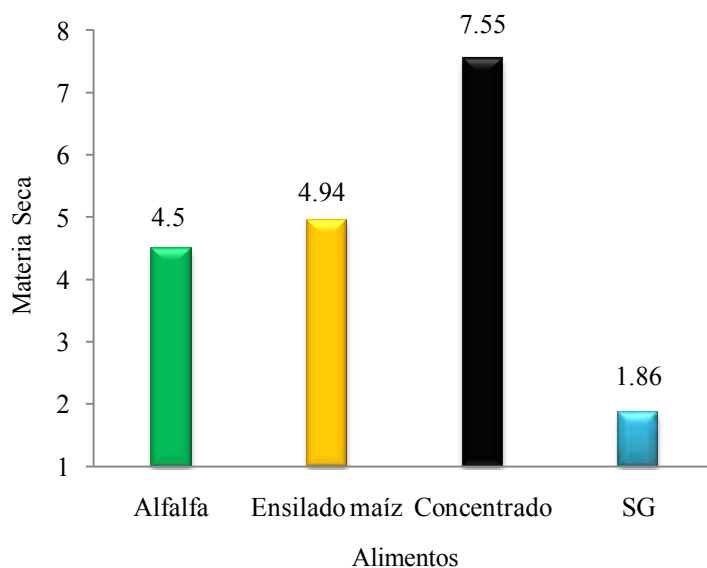


Tabla 2a.- Composición de la mezcla de concentrado (%), *“Balance Proteína”*

Proteína	15.7%	18.9%	21.7%
Alfalfa	27.8	20.4	11.1
Pulpa remolacha	9.7	9.7	9.7
Cebada	48.1	30.1	20
Maíz	-	10	20
Soja	-	12.9	29.7
Habas	8.8	1.7	4.9
Fosfato bicálcico	0.89	0.89	0.89
Piedra caliza	1.78	1.78	1.78
Bicarbonato sódico	0.89	0.89	0.89
CMV ¹	0.89	0.89	0.89

¹: corrector mineral-vitaminico

Tabla 2b.- Composición química de los alimentos, *“Balance Proteína”*

	Forrajes		Mezcla concentrados			Suplemento
	Ensilado maíz	Alfalfa	15.7%	18.9%	21.7%	SG ¹
MS, %	40.1	87	89.4	88.4	89.8	-
Cenizas, %	3.5	10.7	14.0	13.2	10.1	-
PB, %	8.1	17.6	15.7	18.9	21.7	-
FAD, %	19.8	37.6	11.9	11.9	12.7	-
FND, %	33.3	53.4	31.7	30.6	29.6	-
Almidón, %	22.2	-	27.6	27.6	27.6	-
De, %	71.2	57.5	81.5	74.8	80.6	-
EM, MJ kg ⁻¹ MS	10.9	8.19	13.1	11.6	13	-
CNF, %	52.6	15.8	35.1	34.9	35.1	27.9
P, %	0.2	0.21	0.27	0.32	0.35	0.36
% granos ²	29.3	-	-	-	-	-
GB, %	3.1	2.92	1.94	2.05	1.58	22.1
Mirístico ³	2.26	0.23	1.05	0.36	0.34	1.25
Palmítico ³	20.4	12.5	18.7	17.5	18.5	28.8
Palmitoléico ³	0.01	0.12	0.23	0.23	0.23	0.34
Esteárico ³	5.64	2.17	3.04	2.8	3.01	18.9
Oléico ³	6.96	28.3	17.8	20.6	20.8	8.76
Linoléico ³	24.83	53.4	45.4	49.5	49.3	4.39
Linonéico ³	39.83	2.62	8.21	6.72	5.98	0.069
Araquico ³	0.05	0.44	0.86	0.55	0.5	0.34

MS: materia seca; PB: proteína bruta; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; De: digestibilidad enzimática (FND-celulosa); EM: energía metabolizable; CNF: carbohidratos no fibrosos; P: fósforo; GB: grasa bruta; ¹: semilla de algodón más grasa bypass, tomado del NRC (2001); ²: % sobre materia seca; ³: % sobre la grasa total

Tabla 3a.- Composición de la mezcla de concentrado (%), “*Balance Almidón*”

Almidón	28%	35%	42%
Alfalfa	20.4	20.4	16.7
Pulpa remolacha	9.7	4.85	-
Cebada	30.1	-	-
Maíz	10	40	58.1
Soja	12.9	16.8	19.8
Habas	11.7	12.7	-
Fosfato bicálcico	0.89	0.89	0.89
Piedra caliza	1.78	1.78	1.78
Bicarbonato sódico	0.89	0.89	0.89
CMV ¹	0.89	0.89	0.89

¹: corrector mineral-vitaminico

Tabla 3b.- Composición química de los alimentos, “*Balance Almidón*”

	Forrajes		Mezcla concentrado			Suplemento
	Ensilado maíz	Alfalfa	28%	35%	42%	SG¹
MS, %	38.2	88.8	90	87.5	95.1	-
Cenizas, %	3.36	10	6.9	8.1	7.1	-
PB, %	8.36	23	18.5	18.7	18.3	-
FAD, %	19.8	31.2	14.2	14.3	12.9	-
FND, %	32.2	34.5	26	27.8	24.2	-
Almidón, %	22.4	-	27.9	34.2	43.1	-
De, %	74.8	75.5	81.5	81.3	80.6	-
EM, MJ kg ⁻¹ MS	11.6	9.55	12.8	11.7	13	-
CNF, %	53.5	29.3	45.1	45.4	46.9	27.9
P, %	0.21	0.32	0.70	0.70	0.53	0.36
% granos ²	29.6	-	-	-	-	-
GB, %	3.1	3.0	2.05	2.82	3.37	22.1
Mirístico ³	2.26	0.23	0.5	0.42	0.30	1.25
Palmítico ³	20.4	12.5	14.5	16.5	12.8	28.8
Palmitoléico ³	0.01	0.12	-	-	-	0.34
Esteárico ³	5.64	2.17	3.49	2.81	2.21	18.9
Oléico ³	6.96	28.35	25.0	22.0	26.7	8.76
Linoléico ³	24.8	53.4	51.5	53.6	53.7	4.39
Linonéico ³	39.8	2.62	4.89	4.88	3.45	0.069
Araquico ³	0.05	0.44	0.38	0.32	0.36	0.34

MS: materia seca; **PB:** proteína bruta; **FAD:** fibra ácido detergente; **FND:** fibra neutro detergente; **De:** digestibilidad enzimática (FND-celulosa); **EM:** energía metabolizable; **CNF:** carbohidratos no fibrosos; **P:** fósforo; **GB:** grasa bruta; ¹: semilla de algodón más grasa bypass, tomado del NRC (2001); ²: % sobre materia seca; ³: % sobre la grasa total

Tabla 4a.- Composición de la mezcla de concentrado (%), “*Balance Fósforo*”

Fósforo	0.5%	0.65%	0.80%
Alfalfa	22.4	22.4	20.52
Pulpa remolacha	9.7	9.7	9.7
Cebada	30.1	30.1	30.1
Maíz	10	10	10
Soja	12.9	12.9	12.9
Habas	11.7	11.7	11.7
Fosfato bicálcico	0	0.8	1.51
Piedra caliza	1.78	1.78	1.78
Bicarbonato sódico	0.89	0.89	0.89
CMV ¹	0.89	0.89	0.89

¹: corrector mineral-vitaminico

Tabla 4b.- Composición química de los alimentos, “*Balance Fósforo*”

	Forrajes		Mezcla concentrado			Suplemento
	Ensilado maíz	Alfalfa	0.5%	0.65%	0.80%	SG¹
MS, %	40.1	87.8	88.5	88.5	89.1	-
Cenizas, %	3.58	8.47	8.38	9.45	9.98	-
PB, %	8.15	15.7	18.5	18.3	18.6	-
FAD, %	19.9	46.3	19.7	24.8	21.9	-
FND, %	33.6	56.3	37.8	37.9	37.2	-
Almidón, %	22.5	-	27.6	27.6	27.6	-
De, %	74.6	60	83.8	81.6	84.9	-
EM, MJ kg ⁻¹ MS	11.5	7.89	11.7	10.9	11.3	-
CNF, %	51.7	16.9	45.1	45.1	45.1	27.9
P, %	0.20	0.21	0.51	0.64	0.81	0.36
% granos ²	28.7	-	-	-	-	-
GB, %	2.93	2.54	2.05	2.05	2.05	22.1
Mirístico ³	2.26	0.23	0.24	0.26	0.25	1.25
Palmítico ³	20.4	12.5	16.2	13.2	15.9	28.8
Palmitoléico ³	0.01	0.12	0.15	0.15	0.14	0.34
Esteárico ³	5.64	2.17	3.38	3.23	2.9	18.96
Oléico ³	6.96	28.3	25.2	22.3	20.7	8.76
Linoléico ³	24.8	53.4	50.8	50.1	50.6	4.39
Linoléico ³	39.8	2.62	7.7	7.5	7.2	0.069
Araquico ³	0.05	0.44	0.82	0.7	0.6	0.34

MS: materia seca; **PB:** proteína bruta; **FAD:** fibra ácido detergente; **FND:** fibra neutro detergente; **De:** digestibilidad enzimática (FND-celulosa); **EM:** energía metabolizable; **CNF:** carbohidratos no fibrosos; **P:** fósforo; **GB:** grasa bruta; ¹: semilla de algodón más grasa bypass, tomado del NRC (2001); ²: % sobre materia seca; ³: % sobre la grasa total

Tabla 5a.- Composición de la mezcla de concentrado (%), “Balance Fnd:almidón”

FND:almidón	0.96	1.66	2.54
Alfalfa	21.14	20.31	19.42
Paja cebada	-	-	4.64
Cascarilla soja	-	20.3	14.8
Pulpa remolacha	9.7	-	19.4
Cebada	30	-	20.04
Maíz	10	19.04	10.02
Soja	12.88	12.88	12.88
Habas	11.7	11.7	11.7
Fosfato bicálcico	0.89	0.89	0.89
Piedra caliza	1.78	1.78	1.78
Bicarbonato sódico	0.89	0.89	0.89
CMV ¹	0.89	0.89	0.89

¹: corrector mineral-vitambnico

Tabla 5b.- Composición química de los alimentos, “Balance Fnd:almidón”

	Forrajes		Mezcla concentrado			Suplemento
	Ensilado maíz	Alfalfa	0.96	1.66	2.54	SG ¹
MS, %	36.8	93.4	89.1	88.4	88.6	-
Cenizas, %	3.67	9.08	8.59	8.33	9.19	-
PB, %	9.34	21.3	17.59	17.2	17.6	-
FAD, %	27.1	31.8	17.02	23.2	25.4	-
FND, %	44.1	38.9	27.2	37	44	-
Almidón, %	23.3	-	27.9	22.2	17.3	-
De, %	72.1	74.9	88.03	80.3	78.6	-
EM, MJ kg ⁻¹ MS	11.1	9.14	12.2	10.6	10.1	-
CNF, %	40.5	28.3	42.6	31.9	24.8	27.9
P, %	0.20	0.29	0.48	0.49	0.50	0.36
% granos ²	27.2	-	-	-	-	-
GB, %	2.36	2.22	2.08	2.05	2.02	22.1
Mirístico ³	2.26	0.23	0.22	0.23	0.23	1.25
Palmítico ³	20.4	12.5	14.5	14.5	12.8	28.8
Palmitoléico ³	0.01	0.12	0.17	0.17	0.18	0.34
Estearico ³	5.64	2.17	3.49	3.49	2.21	18.9
Oléico ³	6.96	28.3	25.0	25.0	26.7	8.76
Linoléico ³	24.8	53.4	51.5	51.5	53.7	4.39
Linonéico ³	39.8	2.62	4.89	4.89	3.45	0.069
Araquico ³	0.05	0.44	0.38	0.38	0.36	0.34

MS: materia seca; PB: proteína bruta; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; De: digestibilidad enzimática (FND-celulasa); EM: energía metabolizable; CNF: carbohidratos no fibrosos; P: fósforo; GB: grasa bruta; ¹: semilla de algodón más grasa bypass, tomado del NRC (2001); ²: % sobre materia seca; ³: % sobre la grasa total

2.3. Diseño experimental

El diseño experimental de campo para los cuatro balances nutricionales fue en cuadrado latino: 3 vacas x 3 concentraciones de la mezcla del concentrado [**proteína**: 15.7, 18.9 y 21.7%; **almidón**: 28, 35 y 42%; **fósforo**: 0.5, 0.65 y 0.80% y **fibra neutro detergente:almidón** 0.96, 1.66 y 2.54], durante tres períodos experimentales de 15 días (11 como fase preexperimental a la adaptación de la dieta y 4 experimental). La composición químico-bromatológica de los alimentos se monitorizó durante 2 días consecutivos de la fase experimental y una muestra de ensilado de maíz, alfalfa deshidratada y de la mezcla de concentrado fue analizada por su contenido en ácidos grasos.

2.4. Manejo de los animales

2.4.1. Estado sanitario

Antes del experimento, los animales son desinfectados contra parásitos externos (Butoux®) e internos (Albendazol).

2.4.2. Ordeño

Las vacas son ordeñadas dos veces al día (8.00 a.m. y 18.30 p.m.) con ordeñadora portátil en la nave metabólica (Figura 3), anotándose durante la fase experimental la producción individual de leche. Una alícuota de la misma a volúmenes iguales del ordeño de mañana y tarde por vaca, es mezclada y depositada en un contenedor estéril y hermético, previa adición de 2-bromo-2-nitropropano-1,3 diol (bromopol) como conservante. Posteriormente, las muestras se almacenan en cámara frigorífica a -20°C para su posterior análisis en el laboratorio. Durante todo el experimento y antes del ordeño, las vacas son testadas con el test de California para comprobar el estado sanitario de la ubre.

■ ■ ■ **Figura 3.-** Equipo de ordeño móvil utilizado en el experimento



2.5. *Recogida de excretas*

Las heces producidas durante 24 horas son recogidas sobre la misma colchoneta de caucho utilizada como cama (Figura 4), e inmediatamente pesadas, siempre después del ordeño. De cada vaca y día durante la fase experimental se depositan 250 g d⁻¹ de heces en contenedores para su posterior análisis (Figura 5).

Figura 4.- Deposición de heces



Figura 5.- Análisis de heces



Durante los dos últimos días de cada fase experimental se toman muestras de 250 g del ensilado de maíz para determinar su contenido en grano. De igual forma, 200 g de heces frescas se someten a un lavado con agua fría sobre un colador, para determinar el porcentaje de grano excretado en heces (Figura 6).

Figura 6.- Granos excretados en heces



2.6. Determinaciones analíticas

2.6.1 Alimentos

La materia seca es determinada en estufa a 80 °C durante 24 horas; las cenizas, por incineración de la muestra a 550 °C, con predicción de la materia orgánica (100-cenizas); la proteína bruta como N-Kjeldalh x 6.25 con el Kjeltec™ 2300; las fibras ácido y neutro detergente para el heno de alfalfa según Goering y Van Soest (1970) y la fibra neutro detergente del ensilado de maíz y concentrados según Van Soest y Robertson (1991). La digestibilidad enzimática de la materia orgánica *in vitro* (D_e) con predicción de la digestibilidad *in vivo* predicha (D_v) para el ensilado de maíz como $D_v = -0.17 \text{ FND} + 0.42 D_e + 52.67$ y $D_v = -0.85 \text{ FND} - 0.39 D_e + 125.17$ la alfalfa deshidratada (Riveros y Argamentería, 1987), siendo D_e la digestibilidad enzimática de la materia orgánica por el método FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987); la energía metabolizable (EM) en MJ kg^{-1} de MS, estimada como: $K \times \text{MOD}$, donde $\text{MOD} = \text{MO} \times D_v / 100$ y $K=0.15$ para el ensilado de maíz y 0.16 para la alfalfa (MAFF, 1984). La concentración de fósforo fue determinada sobre cenizas por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con analizador FIAstar 5000. La degradabilidad efectiva de la proteína bruta de la alfalfa y ensilado de maíz fue tomada de la propia base datos del I.E.S. “La Granja” (Salcedo, 2006) y la de los concentrados y suplemento del NRC (2001). Los carbohidratos no fibrosos son estimados como: $100 - (\text{grasa bruta} + \text{proteína bruta} + \text{cenizas} + \text{fibra neutro detergente})$.

La preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de la materia grasa de los alimentos empleados se siguió la Norma ISO 15884/FIL 182:2002 y, la determinación de la composición de los ácidos grasos de la materia grasa por cromatografía de gases Norma ISO 15885/FIL 184:2002. Los ésteres metílicos de los

ácidos grasos son separados y cuantificados con un Autosystem XL cromatógrafo de gases (Perkin Elmer), equipado con una columna capilar de silica fundida (Chrompack CP-SIL 88 de 50 metros, 0.25 mm de diámetro interno y 0.20 mm de espesor de la fase estacionaria. El volumen de inyección es de 1 μL y el gas portador es helio, proporcionado a un flujo de 1.15 mL minuto. El modo de inyección Split a una relación 1:42.5. La temperatura del inyector es de 275 °C. La temperatura programada del horno es de 50 °C a 190 °C. El análisis de los ácidos grasos de los alimentos y leche se realiza en el Laboratorio Agroalimentario de Santander del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

2.6.2. Heces

Sobre muestra fresca se determinó la materia seca en estufa a 60°C durante 48 horas; N total y amoniacal con el Kjeltec™ 2300; pH con el potenciómetro Crison BasiC20 y conductividad eléctrica con el conductímetro Crison GLP31. Sobre muestra seca previamente molida con un molino de cuchillas a 2 mm, se analizaron las cenizas a 550°C, con predicción de la materia orgánica; fibra ácido y neutro detergente según el método (Goering y Van Soest, 1970) y fósforo por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con analizador FIAstar 5000.

2.6.3. Leche

Las muestras de leche son analizadas por su contenido en grasa, proteína y sólidos no grasos con el Milkoscan 4000. La concentración de urea con un FTIR spectrometer (MilkoScan FT6000, Foss Analytical). El instrumental es usado de acuerdo a las instrucciones del fabricante, con operaciones de calibrado para urea basadas en la determinación de la urea en leche por una técnica de diferencial de pH (CI 10 Micro pH analizador, Eurochem). Estos análisis son realizados en el Laboratorio Interprofesional Lechero de Cantabria. La concentración de fósforo de la leche se asume como 0.90 g kg⁻¹ (INRA, 1988 y NRC, 2001).

Los índices de aterogenicidad (IA) y trombogenicidad (IT) de la leche de los productos ricos en ácido linoléico conjugado (CLA) y de sus correspondientes controles fueron obtenidos de acuerdo a las fórmulas propuestas por Ulbricht y Southgate (1998):

$$IA = \frac{aS' + bS'' + cS'''}{dP + eM + fM'}$$

donde S' es la concentración en g 100 g⁻¹ de C_{12:0}; S'' la de C_{14:0}; S''' la de C_{16:0}; P es la suma de las concentraciones de los ácidos grasos poliinsaturados; M es la de C_{18:1} y M' es la suma de las concentraciones de otros monoinsaturados. Asimismo, a-f son

constantes empíricas, donde a , c , d , e , f tienen un valor de 1, mientras que b vale 4. Estas constantes están relacionadas con el potencial aterogénico o antiaterogénico de cada ácido graso o grupo de ácidos grasos. En el caso del ácido mirístico (S''), por ejemplo, el coeficiente empleado “ b ” tiene un valor de 4 debido a que su potencial aterogénico es alrededor de cuatro veces mayor que el del ácido palmítico (S'''):

$$IT = \frac{m S^{iv}}{nM + oM' + p(\omega 6) + q(\omega 3) + \frac{\omega 3}{\omega 6}}$$

donde S^{iv} es la suma de las concentraciones en $g\ 100\ g^{-1}$ de $C_{14:0}$, $C_{16:0}$ y $C_{18:0}$; $\omega 6$ y $\omega 3$ son las concentraciones de los ácidos grasos poliinsaturados; M es la concentración de $C_{18:1}$ y M' es la suma de las concentraciones de otros monoinsaturados. De la misma manera, m - q son constantes empíricas donde m tiene un valor de 1; n , o y p tienen un valor de 0.5 y q un valor de 3. Estas constantes, al igual que en la fórmula de aterogenicidad, están relacionados con el potencial aterogénico y antiaterogenicidad de cada ácido graso o grupo de ácidos grasos.

2.7. Cálculos

A partir de la ingestión de alimento (oferta menos rechazo) y heces excretadas, se calculo para cada animal, el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca (dMS); materia orgánica (dMO); nitrógeno (dN); fibra ácido detergente ($dFAD$); fibra neutro detergente ($dFND$) y fósforo de las diferentes dietas, según la expresión:

$$CD_x = \frac{\sum X_i - \sum X_e}{\sum X_i} \times 100$$

donde, CD_x es el coeficiente de digestibilidad aparente (%) del constituyente x , siendo $\sum X_i$ y $\sum X_e$, respectivamente, las cantidades ingeridas y excretadas de dicho constituyente por el animal a lo largo del período control.

La eficiencia del N ingerido respecto al excretado en leche (NUE), de la energía metabolizable (EUEM) ingerida sobre la energía bruta excretada en leche Tyrrell y Reid, (1965) y la eficiencia bruta (EBr) fueron estimadas mediante las expresiones:

$$NUE, \% = \frac{100 \times N \text{ (g día)}}{N \text{ ingerido (g día)}}$$

$$EUEM, \% = \frac{100 \times \text{Energía bruta (Mj día)}}{\text{Energía metabolizable ingerida (Mj día)}}$$

$$\text{EBr, kg kg} = \frac{\text{Leche (kg día)}}{\text{Materia seca ingerida (kg día)}}$$

El N de la orina es estimado como:

$$\text{N orina} = \text{N ingerido} - (\text{N heces} + \text{N leche})$$

El pH ruminal estimado mediante la ecuación propuesta por Allen (1997):

$$\text{pH} = 4.44 + 0.46 \times \text{porcentaje de grasa} \quad (r^2=0.39)$$

2.8. Análisis estadístico

La ingestión de nutrientes, composición química de las heces, excreción y digestibilidad son analizados mediante contrastes ortogonales, separándose las medias con el test LSD del paquete estadístico SSPS 11 (2002). Cuando no se observaron diferencias significativas los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza usando el modelo: $Y_{ijkl} = \mu + V_i + P_j + T_k + (N_i \dots N_n) + \varepsilon_{ijklm}$; donde Y_{ijkl} es la variable de respuesta; μ es la media poblacional; V_i efecto vaca; P_j efecto período; T_k efecto del tratamiento; $N_i \dots N_n$ es el consumo medio de cada nutriente estudiado (**proteína**, **almidón** y **fósforo**) como covariable y ε_{ijklm} es el error experimental. Para explicar la relación entre los parámetros físico-químicos del purín se empleó el procedimiento CORR y REC del SSPS 11 (2002).

3. Resultados y discusión

3.1. Balance de nitrógeno

3.1.1. Introducción

Los modelos de producción lechera en Cantabria son mayoritariamente intensivos, con elevados aportes de concentrados ricos en nitrógeno (N), de importante repercusión ambiental. Por el contrario, los basados en forraje, utilizan una fuente de proteína más barata y abundante, pero de elevada degradabilidad ruminal (Salcedo, 2000). El alto consumo de N favorece acumulaciones de amoníaco en rumen, modificaciones en la composición química de la leche (Hermansen *et al.*, 1999); pérdidas de N en heces y orina, que pueden alcanzar el 80% del total de proteína ingerida (Bruchem *et al.*, 1991); reducción en el suministro de aminoácidos al intestino delgado e incremento de nitrógeno no proteico en sangre (Mangan, 1982).

Las pérdidas principales de N son las debidas a la orina, heces, leche y en menor medida, las de origen metabólico. La ingestión de N es la variable más influyente sobre su excreción (Keady y Mruphy, 1998; Salcedo, 2006). Otras, como la fase de lactación (Kristensen *et al.*, 1998); porcentaje de forraje con alto o bajo nivel de concentrado

(Gonda *et al.*, 1996); aprovechamiento: pastoreo o ensilado (Keady y Murphy, 1998; Salcedo, 2006); estado de madurez del forraje ensilado y grado de presecado del mismo (Kebreab *et al.*, 1999); nivel de suplemento proteico (Lines y Wiess, 1996); nivel de proteína indegradable añadida a la ración (Wright *et al.*, 1998; Salcedo, 2006) y almidón incluido en la dieta (Petit y Tremblay, 1995), modifican directa o indirectamente la excreción de N disminuyendo en su caso la eficiencia en la producción de proteína en leche.

Diferentes soluciones se han propuesto para mejorar la utilización del nitrógeno. Entre otras, el aporte de proteínas de menor degradabilidad, aunque indirectamente estimulan la excreción de N urinario (Peyraud *et al.*, 1995), o incrementar el aporte de carbohidratos rápidamente fermentables (Beever y Reynolds, 1994). Los trabajos de Valk y Hobbelink (1992) señalan reducciones importantes del N en orina al reemplazar forraje por concentrado, observándose en este caso, mayor excreción de N en heces con alimentos fibrosos, contrario a los amilolíticos que favorecen mayores pérdidas de N a través de la orina. Las investigaciones de Nocek y Russell, (1988) indican mejoras en la utilización de la proteína degradable en rumen al sincronizar los ritmos de degradación ruminal entre el nitrógeno y la energía. Por su parte Beever (1993), concluye que sólo el 30% del total de N amoniacal producido en el rumen es incorporado en forma de N microbiano, mientras una elevada proporción del N remanente es absorbido en forma de amoníaco a través de la pared ruminal. El amoníaco absorbido puede ser convertido en urea por el hígado, una conversión que requiere 12 kcal g⁻¹ de N (Van Soest, 1994). En estas circunstancias, la energía es el principal factor limitante para la producción de leche cuando las vacas son alimentadas con hierba de alta calidad Kolver y Muller, (1998).

El objetivo de este estudio se centra en evaluar los efectos de la proporción de proteína en la mezcla del concentrado sobre el consumo, excreción, producción y composición química de la leche.

3.1.2. Consumo de materia seca

La concentración proteica de la mezcla de concentrado no afectó al consumo de materia seca, pero sí, (P<0.001) respecto al N ingerido (Tabla 6), obteniéndose valores medios de 19.3±1.9 kg d⁻¹.

Ireland-Perry y Stallings (1993) no obtienen diferencias significativas de consumo en dietas de vacas lecheras alimentadas con ensilado de maíz o mezcla de ensilado de maíz y alfalfa, suplementadas con concentrados de diferente concentración

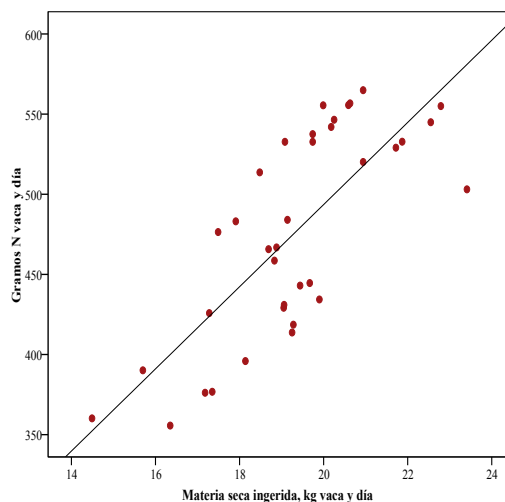
proteica. Por su parte, Castillo *et al.* (2001b) no observan relaciones entre el consumo de materia seca y el contenido proteico de los concentrados, para rangos variables de 21 a 29% cuando las vacas son alimentadas con dietas basadas en ensilado de hierba. De igual modo, los trabajos desarrollados por Salcedo (2006) no aprecia efectos significativos al aumentar el porcentaje de proteína bruta de los concentrados en sistemas a pastoreo con mínimo aporte de concentrado, obteniéndose ingestiones medias diarias de 16.6 kg de materia seca. Por el contrario, Journet *et al.* (1983) señalan incrementos significativos en el consumo de materia seca cuando las dietas contienen más del 16% de proteína bruta. Los porcentajes de proteína bruta para cada una de las dietas estudiadas son 13.7%, 15.9% y 17% para las mezclas de concentrado del 15.7%, 18.9% y 21.7% respectivamente.

■ ■ ■ **Tabla 6.-** Ingestión de nutrientes

	Mezcla concentrados					Significación			
	15.7%	18.9	21.7%	et	P	N Ingerido d ⁻¹	Con * N ingerido	L	C
MS, kg d ⁻¹	19.0	19.4	19.6	0.32	NS	***	***	NS	NS
MO, kg d ⁻¹	17.1	17.6	17.9	0.30	NS	***	***	NS	NS
EM, MJ d ⁻¹	244	254	254	4.8	NS	***	**	NS	NS
PB, kg d ⁻¹	2.61	3.09	3.33	0.06	***	***	NS	***	NS
PDR, kg d ⁻¹	1.72	1.88	2.0	0.05	*	***	***	*	NS
PNDR, kg d ⁻¹	0.89	1.1	1.32	0.03	***	NS	NS	***	NS
N g ⁻¹ kg ⁻¹ MS	22.0	24.6	27.6	0.12	***	NS	NS	***	NS
FND, kg d ⁻¹ kg	5.92	6.46	6.58	0.16	NS	***	NS	NS	NS
NDR MJ ⁻¹ EM	1.13	1.22	1.26	0.01	NS	***	NS	***	NS
FAD, kg d ⁻¹	4.92	5.07	5.26	0.17	NS	***	NS	NS	NS
Almidón, kg d ⁻¹	3.88	3.9	3.95	0.06	NS	***	***	NS	NS
MOD _{vivo} , kg d ⁻¹	15.5	16.2	16.2	0.30	NS	***	**	NS	NS
P, g d ⁻¹	59.2	66.4	70.3	0.50	*	***	*	***	NS
CNF, kg d ⁻¹	6.93	7.01	7.11	0.064	NS	***	NS	NS	NS
CNF:FND	1.21	1.08	1.09	0.17	**	NS	*	NS	NS
GB, g d ⁻¹	714	730	755	74	NS	***	NS	NS	NS
C _{14:0} , g d ⁻¹	3.5	3.59	3.6	0.06	NS	***	NS	NS	NS
C ₁₆ , g d ⁻¹	131	134	140	1.3	NS	***	NS	NS	NS
C _{16:1} , g d ⁻¹	37.2	38.2	38.6	0.01	NS	***	NS	NS	NS
C _{18:0} , g d ⁻¹	183	188	191	0.9	NS	***	NS	NS	NS
C _{18:1 c9} , g d ⁻¹	67.6	68.7	73.6	0.4	NS	***	NS	NS	NS
C _{18:2 c9 c12} , g d ⁻¹	143	145	156	0.2	NS	***	NS	NS	NS
C _{18:3 (n-3)} , g d ⁻¹	61.5	62.1	66.7	0.04	NS	***	NS	NS	NS
C _{20:0} , g d ⁻¹	1.42	1.46	1.47	0.01	NS	***	NS	NS	NS

MS: materia seca; **MO:** materia orgánica; **EM:** energía metabolizable; **PB:** proteína degradable en rumen; **PNDR:** proteína no degradable en rumen; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **NDR/MJ EM:** nitrógeno degradable en rumen por megajulio de energía metabolizable; **MOD:** materia orgánica digestible; **P:** fósforo; **GB:** grasa bruta; **C_{14:0}:** Mirístico; **C₁₆:** Palmítico; **C_{16:1}:** Palmitoleico; **C_{18:0}:** Estearico; **C_{18:1 c9}:** Oleico; **C_{18:2 c9 c12}:** Linoleico; **C_{18:3 (n-3)}:** Linolénico; **C_{20:0}:** Aráquico; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo

Figura 7.- Relación entre el consumo de materia seca (kg d⁻¹) y la ingestión de N (g d⁻¹)



Tamminga (1992) recomienda no suministrar más de 30 g N kg⁻¹ de materia seca por razones medioambientales en vacas lecheras que producen 6250 kg de leche año. Posteriormente, Tamminga y Verstegen (1996) reducen la concentración a 24 g N kg⁻¹ de materia seca, similares a los del presente balance de 24.6±2.19 g para el conjunto de dietas, con diferencias significativas entre mezclas de concentrados (P<0.001), observándose tendencia lineal (P<0.001) y sin efectos significativos respecto al N ingerido (Tabla 6). Así, dentro del rango de 335 a 565 g N d⁻¹, el consumo de materia seca incrementa 22 g por gramo de N ingerido ($r^2=0.57$, P<0.001) (Figura 7).

El consumo de proteína bruta (PB), proteína degradable en rumen (PDR) y no degradable en rumen (PNDR) aumentan linealmente a medida que lo hace el contenido de proteína del concentrado (P<0.001), (P<0.05) y (P<0.001) respectivamente (Tabla 6). La concentración media de PDR y PNDR en las diferentes dietas es de 9.64% y 5.75% sobre materia seca, significativamente menor que el señalado por McCormick *et al.* (1999) y Wu y Satter (2000) en ganado lechero al principio de lactación y similar, a 9.5% y 4.6% señalado por el NRC (2001) en vacas que producen 25 kilogramos de leche.

3.1.3. Composición química y excreción de heces

Los contenidos de materia seca, fibra neutro y ácido detergente, conductividad eléctrica, fósforo y materia orgánica de las heces no difiere entre tratamientos, con valores medios de 18.3%; 62.5; 39.4%; 10.2 mS cm⁻¹, 0.79% y 84.7% respectivamente (Tabla 7). El pH no se modifica por el contenido de proteína del concentrado, ni por el N ingerido, aunque sí, (P<0.001) un incremento lineal cuando la concentración proteica de la mezcla de concentrado aumenta (Tabla 6).

La concentración media de N de las heces es de 28.3 ± 4.6 g N kg⁻¹ de materia seca, con rangos variables de 24.4 a 32.3 g N kg⁻¹, similares al señalado por Powell *et al.* (2006). El valor mínimo se registra en la mezcla de concentrado del 15.7% de proteína (24.3 g N kg⁻¹) y el máximo, de 31.4 g N kg⁻¹ de materia seca en el concentrado de 21.7% de proteína bruta, similar al señalado por Castillo *et al.* (2001b). El porcentaje de N fecal incrementa linealmente ($P < 0.001$) conforme lo hace la concentración proteica de la mezcla de concentrado (Tabla 7), donde aumentos de 100 g de proteína dan lugar a 24 g de N ($r^2 = 0.57$, $P < 0.001$), sin diferencias significativas respecto al consumo de N (Tabla 7).

Tabla 7.- Composición físico-química de las heces

	Mezcla concentrados				Significación				
	15.7%	18.9	21.7%	et	P	N ingerido d ⁻¹	Con * N ingerido	L	C
MS, %	18.3	17.9	18.7	0.26	NS	NS	NS	NS	NS
N, %	0.44	0.52	0.58	0.009	***	NS	NS	***	NS
N, g kg ⁻¹ MS	24.3	29.3	31.4	1.11	NS	NS	NS	***	NS
N-NH ₃ g kg ⁻¹ MS	4.42	5.93	5.9	0.54	NS	**	NS	NS	NS
FND, % sms	63.8	60.4	63.3	0.76	NS	NS	NS	NS	NS
FAD, % sms	41.2	39.3	37.8	0.95	NS	NS	NS	NS	NS
MO, % sms	85	84.2	84.8	0.3	NS	NS	NS	NS	NS
pH	6.98	6.86	7.55	0.09	NS	NS	NS	***	NS
CE, mS cm ⁻¹	8.77	10.9	10.8	1.4	NS	NS	NS	NS	NS
C:N	20.6	16.9	15.9	0.54	**	***	NS	***	NS
Fósforo, % sms	0.79	0.79	0.78	0.04	NS	NS	NS	NS	NS

MS: materia seca; **N:** nitrógeno; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **MO:** materia orgánica; **CE:** conductividad eléctrica; **C:N:** Relación carbono:nitrógeno; **sms:** sobre materia seca; **P:** nivel de significación, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

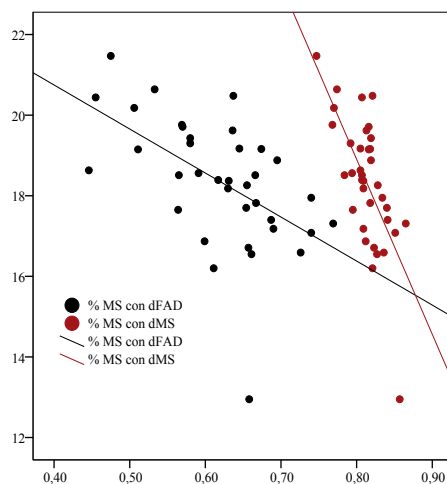
La concentración de N-NH₃ de las heces es numéricamente mayor en las mezclas de concentrado de superior contenido proteico (18.9% y 21.7%) y estadísticamente significativa respecto al consumo de N ($P < 0.01$) (Tabla 7). Estos resultados son superiores a los señalados por Misselbrook y Powell (2005) en vacas alimentadas con el 17% de proteína bruta y 26% de fibra neutro detergente. La relación C:N está situada dentro del rango de 11.7 a 18.3 indicado por Powell *et al.* (2006), mayor en la mezcla de concentrado de menor contenido proteico, sin diferencias significativas entre los concentrados con 18.9% y 21.7%.

La excreción media diaria de heces frescas es de 19.6 kg vaca y día, viéndose afectada por el consumo de N ($P < 0.05$), pero no por el contenido de proteína bruta de la mezcla del concentrado (Tabla 8). Por el contrario, cuando las excretas se expresan en kilogramos de materia seca y día, no se observan diferencias significativas, con producciones medias de 3.68, 3.48 y 3.64 kg d⁻¹, inferiores a 6.72 ± 0.68 kg observados en las explotaciones lecheras de Cantabria (Capítulo 2, Tabla 1, “Excreción de N y P”). Posiblemente, la sustitución de ensilado de hierba (mayoritariamente usado en las

explotaciones de Cantabria) por alfalfa deshidratada aumente la digestibilidad; por añadidura, menor volumen de heces. Los trabajos de Dinn *et al.* (1998) muestran reducciones de heces cuando la concentración proteica de la dieta disminuye, hecho no observado en el presente trabajo, debido posiblemente a la mayor digestibilidad de la materia seca (Tabla 4).

Cuando el consumo de proteína en las vacas lecheras supera al recomendado, la consistencia de las heces es más acuosa (Ireland-Perry y Stallings, 1993). Sin embargo, son pocos los estudios que consideran la relación entre el consumo de proteína y la consistencia de las excretas del ganado lechero. Shellenberger y Kesier (1961) indican mayor contenido de agua en las heces de vacas lecheras de alta producción, imputable a la alta tasa de paso en el tracto digestivo. Ewing y Smith (1917) presentan resultados similares a los del presente trabajo, en cuanto a la relación entre la materia seca fecal y la digestibilidad de la materia seca y de la fibra ácido detergente ($r=0.67$ y $r=0.54$ respectivamente). En este estudio, cuando la digestibilidad de la materia seca incrementa una unidad porcentual, el porcentaje de la materia seca de las heces desciende 0.43 unidades y 0.10 la digestibilidad de la fibra ácido detergente (Figura 8).

Figura 8.- Relación entre la digestibilidad de la materia seca (dMS), fibra ácido detergente (dFAD) y el porcentaje de materia seca de las heces



$$\% \text{ materia seca en heces} = 53.6 (6.6) - 0.43 (0.008) \text{ dMS}; \pm 1.19 \text{ } r^2=0.45$$

$$\% \text{ materia seca en heces} = 25.1 (1.89 - 0.109 (0.0028) \text{ (dFAD)}); \pm 1.35 \text{ } r^2=0.29$$

Entre otros, el bajo porcentaje de granos de maíz excretado en heces del ensilado de maíz, puede ser debido al buen estado de madurez del forraje a la recolección (1/3 leche) o a suficiente aporte de fibra efectiva (la alfalfa suministrada era en rama), que contribuye a mejorar la acción de los microorganismos del rumen. En cualquier caso y en las condiciones del experimento, el porcentaje de grano excretado en heces está

relacionado linealmente con el consumo de N (Tabla 8). Otra forma de estimar la deficiencia o exceso de fibra en la dieta consiste en definir la relación CNF:FND, registrándose un valor medio de 1.1 ± 0.07 (Tabla 6), similar a 0.9-1.2 señalado por Noche y Russel (1988) para maximizar la producción de leche.

El porcentaje de N excretado en heces y orina respecto al consumido, no se vió afectado por el contenido de proteína de la mezcla de concentrado, con valores medios del $21 \pm 1.7\%$ y $53.7 \pm 3.7\%$ respectivamente; pero sí, ($P < 0.001$) respecto al consumo de N (Tabla 8). Los valores medios de materia seca excretada en heces por kilogramo de materia seca ingerida o por kilogramo de leche producido son 0.15 ± 0.01 y 0.18 ± 0.02 kg kg^{-1} (Tabla 8), sin diferencias respecto al porcentaje proteico de la mezcla de concentrado o consumo de nitrógeno (Tabla 8). Para este último índice, los valores son similares a 0.17 kilogramos de materia seca por kilogramo de leche (Dan *et al.*, 1998), en vacas multíparas alimentadas con raciones totales mezcladas de diferente contenido proteico y, superiores a los señalados por Salcedo (2006) de (0.28 y 0.26 kg kg^{-1}) en vacas lecheras alimentadas con pasto o ensilados, ambos suplementados con mínimo aporte de concentrado respectivamente, e inferiores a 0.22 ± 1.6 kg kg^{-1} del presente trabajo en las explotaciones lecheras de Cantabria (Capítulo 2, Tabla 1 “*Excreción de N y P*”).

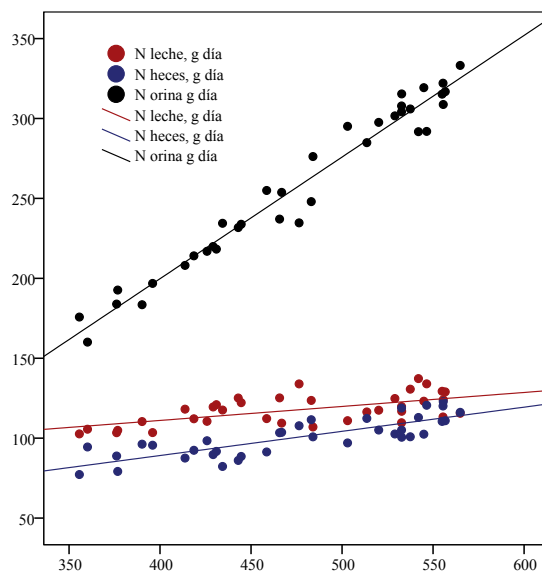
■ ■ ■ **Tabla 8.-** Producción, excreción de N en heces y orina y digestibilidad *in vivo*

	Mezcla concentrados					Significación			
	15.7%	18.9	21.7%	et	P	N Ingerido d^{-1}	Con * N ingerido	L	C
Heces frescas, kg d^{-1}	19.9	19.4	19.4	0.37	NS	*	NS	NS	NS
Heces, kg MS d^{-1}	3.68	3.48	3.64	0.07	NS	NS	NS	NS	NS
dMS _{vivo}	0.80	0.82	0.81	0.004	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, N g d^{-1}	88	101	113	0.99	***	***	***	***	NS
N heces, % N consumido	21.1	21.3	21.3	0.33	NS	***	NS	NS	NS
Heces kg^{-1} MS ingerida	1.05	1.0	0.98	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
Heces kg^{-1} leche	0.85	0.80	0.78	0.01	NS	**	NS	NS	NS
Heces, MS kg^{-1} MS ingerida	0.15	0.14	0.15	0.003	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, MS kg^{-1} leche	0.19	0.18	0.18	0.004	NS	NS	NS	NS	NS
dN _{vivo}	0.79	0.79	0.78	0.003	NS	***	NS	NS	NS
Orina, N g d^{-1}	217	260	295	8.66	***	***	NS	***	NS
Orina, N	51.6	54.1	55.3	0.5	NS	***	NS	***	NS
% N ingerido									
Heces, FND kg d^{-1}	2.34	2.11	2.31	0.005	NS	***	NS	***	NS
dFND _{vivo}	0.59	0.67	0.64	0.009	***	NS	NS	**	**
Heces, FAD kg d^{-1}	1.51	1.38	1.37	0.04	NS	NS	NS	NS	NS
dFAD _{vivo}	0.58	0.63	0.64	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
MO, kg d^{-1}	3.14	2.94	3.09	0.06	NS	NS	NS	NS	NS
dMO _{vivo}	0.81	0.83	0.82	0.004	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, P g d^{-1}	0.21	27.8	28.6	1.7	NS	NS	NS	NS	NS
dP _{vivo}	0.51	0.58	0.59	0.015	NS	**	NS	*	NS
% granos heces	0.21	0.27	0.33	0.01	*	***	*	***	NS

dMS: digestibilidad *in vivo* de la materia seca; **dMO:** digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; **dN:** digestibilidad *in vivo* del N; **dFND:** digestibilidad *in vivo* de la fibra neutro detergente; **dFAD:** digestibilidad *in vivo* de la fibra ácido detergente; **dP:** digestibilidad *in vivo* del fósforo; **P:** nivel de significación, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

La excreción diaria de N en heces y orina incrementó linealmente ($P < 0.001$) conforme lo hace la concentración de proteína de la mezcla de concentrado (Tabla 8), y ($P < 0.001$) el consumo de N (Figura 9). Los resultados aquí obtenidos son similares a los señalados por otros autores (Smiths *et al.*, 1995; Dinn *et al.*, 1998; Paul *et al.*, 1998; Castillo *et al.*, 2001b y Salcedo, 2006). De esta forma, la variable más relacionada con la excreción de N en heces, orina y leche es la ingestión de nitrógeno. Así, para ingestas variables de 355 a 564 g N vaca día, cada gramo superior a 355 g, se excretan 0.15, 0.76 y 0.088 g de N en heces, orina y leche (Figura 9), similares a 0.15, 0.65 y 0.09 g señalados por Castillo *et al.* (2001b), y diferentes a 0.31, 0.36 y 0.07 gramos obtenido por Salcedo (2006) en dietas a pastoreo o con ensilados y mínimo aporte de concentrado. La excreción de N en heces se relaciona positivamente con el contenido de proteína del concentrado ($r = 0.75$, $P < 0.01$) y negativamente con la relación C:N (Tabla 9).

Figura 9.- Relación entre el N total ingerido (g d^{-1}) y el excretado en heces, orina y leche (g d^{-1})



$$N_{\text{heces}}, \text{g d}^{-1} = 28.6 (8.7) + 0.15 (0.018) N_{\text{ingerido}} \text{g d}^{-1}; \pm 6.97 \text{ } r^2 = 0.67$$

$$N_{\text{orina}}, \text{g d}^{-1} = -104.7 (12.1) + 0.76 (0.025) N_{\text{ingerido}} \text{g d}^{-1}; \pm 9.71 \text{ } r^2 = 0.96$$

$$N_{\text{leche}}, \text{g d}^{-1} = 76.07 (9.4) + 0.088 (0.020) N_{\text{ingerido}} \text{g d}^{-1}; \pm 7.56 \text{ } r^2 = 0.37$$

Tabla 9.- Coeficientes de correlación para todos los datos combinados

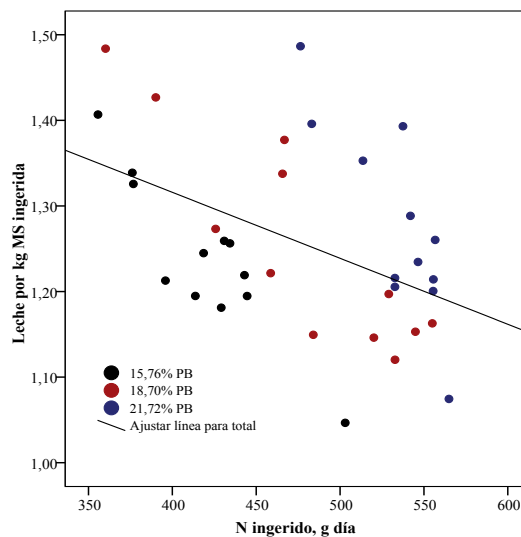
	PB	MSI	FNDI	PB	dMS	dMO	dFAD	dFND	dN	Heces	MS heces	MS heces	N heces	FND heces	MO heces	FAD heces	pH heces	CE heces	C:N heces	N heces	N Orina	NH ₃ m ³	NH ₃ 100 g
PB, %	-	.12	.27	.73**	.15	.20	.32	.34*	-.08	-.10	.11	-.03	.75**	-.04	-.05	-.25	.46**	.10	-.59**	.87**	.65**	.39**	.32
MS, kg d ⁻¹		-	.43**	.76**	.41*	.40*	.35*	.18	.79**	.58**	-.27	.37*	-.16	.03	.02	-.15	.07	.38*	-.04	.36*	.81**	-.11	.54**
FND, kg d ⁻¹			-	.51**	.02	.03	-.05	.56**	.44**	.15	.30	.35*	.10	.39*	.18	.16	.23	-.16	.03	.30	.49**	-.12	.24
PB, kg d ⁻¹				-	.35*	.38*	.4*	.36*	.50**	.33*	-.07	.25	.38*	.02	-.03	-.21	.36*	.31	-.39**	.82**	.98**	.16	.57**
dMS, %					-	.99**	.72**	.63**	.32	-.26	-.67**	-.69**	.39*	-.06	-.32	-.14	-.09	.34*	-.72**	.22	.37*	-.08	.26
dMO, %						-	.74**	.65**	.25	-.26	-.68**	-.69**	.44**	-.07	-.43**	-.16	-.05	.37*	-.78**	.29	.39*	-.06	.27
dFAD, %							-	.41*	.11	-.14	-.54**	-.47**	.42*	-.18	-.27	-.78**	-.03	.36	-.66**	.38*	.41*	.04	.27
dFND, %								-	.22	-.38*	-.18	-.47**	.51**	-.10	-.12	.01	.04	.001	-.57**	.27	.33*	.02	.17
dN, %									-	.34*	-.03	.30	-.32	.01	.29	.10	-.01	.20	.26	-.07	.59**	-.24	.43*
Heces, kg d ⁻¹										-	.73**	-.64*	.02	.001	-.05	-.06	.19	.38*	.16	.36*	.01	.31	
MS, %											-	.48**	.08	.09	.44**	.19	.33*	-.31	.51**	-.08	-.11	-.02	-.16
MS, kg d ⁻¹												-	-.52**	.10	.34	.05	.16	-.05	.70**	.08	.26	-.006	.15
N, %													-	.001	-.19	-.20	.37*	.05	-.80**	.65**	.29	.27	.04
FND, %														-	.01	.28	.12	-.27	.03	.02	-.01	-.22	-.03
MO, %															-	.04	.02	-.34*	.48**	-.23	.01	.06	-.078
FAD, %																-	.01	-.24	.25	-.28	-.21	-.14	-.14
pH																	-	.38*	-.11	.42*	.31	.27	.28
CE mS cm ⁻¹																		-	-.21	.23	.32	.09	.39*
C:N																			-	-.64**	-.33	.24	-.13
N heces, g d ⁻¹																				-	.74**	.38*	.35*
N orina g d ⁻¹																					-	.01	.60**
NH ₃ m ³																						-	.003
NH ₃ 100 g ⁻¹																							-

** P<0.01; * P<0.05; **PB**: proteína; **MSI**: materia seca ingerida; **FNDI**: fibra neutro detergente ingerida; **dMS**: digestibilidad de la materia seca; **dMO**: digestibilidad de la materia orgánica; **dFAD**: digestibilidad de la fibra ácido detergente; **dFND**: digestibilidad de la fibra neutro detergente; **dN**: digestibilidad del N; **CE**: conductividad eléctrica

3.1.4. Producci3n y composici3n qu3mica de la leche

La eficiencia bruta estimada como la relaci3n kilogramos de leche por kilogramos de materia seca ingerida, e independientemente del contenido proteico de la mezcla de concentrado, es de 1.25 ± 0.10 kg, incrementando significativamente conforme aument3 de la prote3na de la mezcla ($P < 0.05$) (Tabla 10) y disminuyendo $P < 0.001$ respecto al consumo de N (Figura 10). Estos valores son inferiores a 1.49 ± 0.24 kg kg^{-1} obtenido en las explotaciones intensivas de Cantabria y similares a las semiintensivas (1.23 ± 0.26), con semejante aporte de concentrado (8.96 ± 1.7 kg vaca d3a). Por el contrario, la eficiencia del uso de la energ3a metabolizable (EUEM) no difiere seg3n el contenido proteico en la mezcla de concentrado, pero s3, ($P < 0.001$) con el consumo de N (Tabla 10).

Figura 10.- Relaci3n entre el consumo de N (g d^{-1}) y la eficiencia bruta (kg leche kg^{-1} materia seca ingerida)



$$\text{Kg leche kg}^{-1} \text{ MS ingerida, kg kg}^{-1} = 1.62 (0.12) - 0.001 (0.00025) \text{ N ingerido g d}^{-1}; \pm 0.097 \text{ r}^2 = 0.21$$

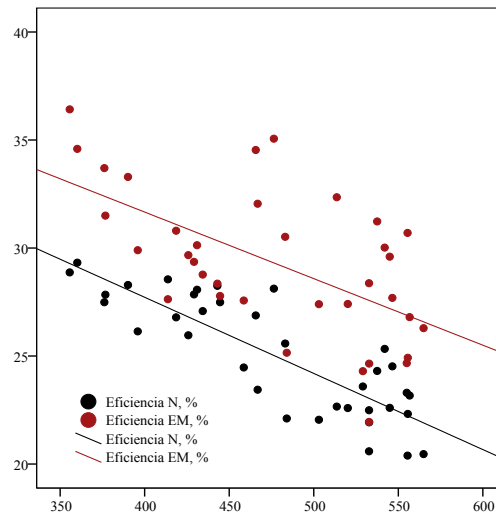
Tabla 10. Producción, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche

	Mezcla concentrados					Significación			
	15.7%	18.9%	21.7%	Et	P	N ingerido d ⁻¹	Con * N ingerido	L	C
Leche, kg d ⁻¹	23.4	24.1	24.9	0.25	*	NS	NS	**	NS
Leche, 4% graso	23.2	22.9	23.1	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Grasa, %	3.94	3.69	3.51	0.09	NS	NS	NS	NS	NS
Grasa, kg d ⁻¹	0.92	0.89	0.87	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
Proteína, %	3.02	3.01	3.1	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
Proteína, kg d ⁻¹	0.70	0.72	0.77	0.009	***	*	NS	**	***
SNG, %	8.60	8.63	8.65	0.05	NS	NS	**	NS	NS
SNG, kg d ⁻¹	2.01	2.07	2.16	0.02	NS	**	**	*	NS
Urea, mg/dl	33.0	40.1	38.1	0.96	***	NS	NS	**	**
Leche, kg MS ⁻¹	1.24	1.25	1.27	0.01	*	***	NS	NS	NS
Eficiencia N, %	27.2	24.5	23.3	0.45	NS	***	NS	***	NS
Eficiencia EM, %	30.1	28.9	28.8	0.72	NS	***	NS	NS	NS
Ácidos grasos¹, %									
Butírico, C _{4:0}	3.41	3.23	2.91	0.12	NS	*	NS	**	NS
Caprónico, C _{6:0}	1.73	1.75	1.55	0.097	NS	NS	NS	NS	NS
Caprílico, C _{8:0}	0.79	0.90	0.77	0.77	*	NS	*	NS	NS
Cáprico, C _{10:0}	1.47	1.81	1.62	0.16	**	NS	**	NS	NS
Laurico, C _{12:0}	1.62	1.99	1.86	0.18	***	NS	***	NS	NS
Mirístico, C _{14:0}	7.18	7.95	7.36	0.44	***	NS	***	NS	NS
Miristoleico, C _{14:1}	0.51	0.62	0.63	0.04	***	**	***	NS	NS
Pentanoico, C _{15:0}	0.56	0.75	0.81	0.045	***	**	***	***	NS
Palmitico, C _{16:0}	29.5	28.6	28.3	0.52	NS	NS	NS	NS	NS
Palmitoleico, C _{16:1}	1.32	1.21	1.53	0.056	NS	NS	NS	**	***
Margarico, C _{17:0}	0.47	0.5	0.53	0.017	NS	NS	NS	**	NS
Estearico, C _{18:0}	12.0	11.1	10.7	0.53	NS	NS	NS	NS	NS
Oléico, C _{18:1 cis9}	31.5	31.2	33.4	0.91	***	NS	***	NS	NS
Ruménico, CLA: C _{18:2 cis9 trans11}	0.62	0.82	0.85	0.056	NS	NS	NS	***	NS
Linoléico, C _{18:2 cis-9, -12}	3.82	3.67	3.57	0.14	NS	NS	NS	NS	NS
Linolénico, C _{18:3 n-3}	0.36	0.35	0.34	0.10	**	**	*	NS	NS
AGI	36.7	35.2	37.3	0.88	***	NS	***	NS	NS
AGS	52.8	52.8	51.3	0.66	***	NS	***	NS	NS
AGMI	32.8	32.5	35	0.94	***	NS	***	NS	NS
AGPI	4.18	4.03	3.91	0.14	NS	NS	NS	NS	NS
AGS/AGI	1.57	1.60	1.44	0.06	***	NS	***	NS	NS
IA	0.92	0.98	0.87	0.057	***	NS	***	NS	NS
IT	2.6	2.6	2.39	0.057	***	NS	***	NS	NS

SNG: sólidos no grasos; **AGI:** ácidos grasos insaturados (C_{18:1 cis9}; C_{18:2 cis9 trans12}; C_{18:3n-3}); **AGS:** ácidos grasos saturados (C_{10:0}; C_{12:0}; C_{14:0}; C_{15:0}; C_{16:0}; C_{17:0}; C_{18:0}); **AGMI:** suma de ácidos grasos monoinsaturados (C_{16:1}; C_{18:1 cis9}); **AGPI:** suma de ácidos grasos poliinsaturados (C_{18:2 cis-9 t11}; C_{18:3}); ¹: g 100 g⁻¹ de ácidos grasos; **EM:** energía metabolizable; **IA:** índice de aterogenicidad; **IT:** índice de trombogenicidad; **se:** error estándar de la diferencia de medias; **P:** nivel de significación, *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

Cada gramo de N ingerido superior a 355 g d⁻¹ y dentro del rango 355 a 564 g para el conjunto de mezclas de concentrado, la eficiencia de utilización del N (NUE) disminuyó -0.035 unidades porcentuales (Figura 11), coincidente con Jonker *et al.* (1998) y Salcedo (2006). Esto puede ser debido a la conversión de amoníaco ruminal a urea por el hígado, que requiere 12 kcal g⁻¹ N consumido (Van Soest, 1994), observándose descensos de urea en leche cuando aumenta la NUE (Figura 12). En el estudio de De Veth *et al.* (2006) midieron el efecto de dos niveles de suministro de proteína metabolizable: moderada (88%) y alta (117%), estimada por el modelo CNCPS (Fox *et al.*, 2004), observándose mayor concentración de urea en la leche de las vacas que reciben exceso de proteína metabolizable, sin afectar a la producción de leche.

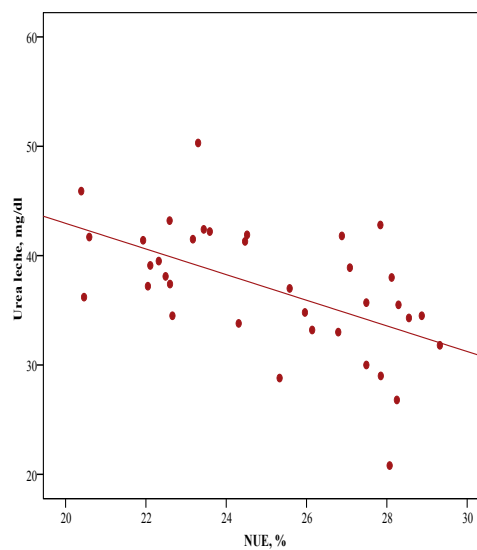
Figura 11.- Relación entre el consumo de N (g d^{-1}) con la eficiencia de utilización del N (NUE, %) y energía metabolizable (EUEM, %)



$$NUE, \% = 41.8 (1.8) - 0.035 (0.004) N \text{ ingerido } \text{g d}^{-1}; \pm 1.49 \text{ } r^2=0.708$$

$$EUEM, \% = 43.9 (3.4) - 0.031 (0.007) N \text{ ingerido } \text{g d}^{-1}; \pm 2.77 \text{ } r^2=0.35$$

Figura 12.- Relación entre la eficiencia del N (NUE, %) y la concentración de urea en leche

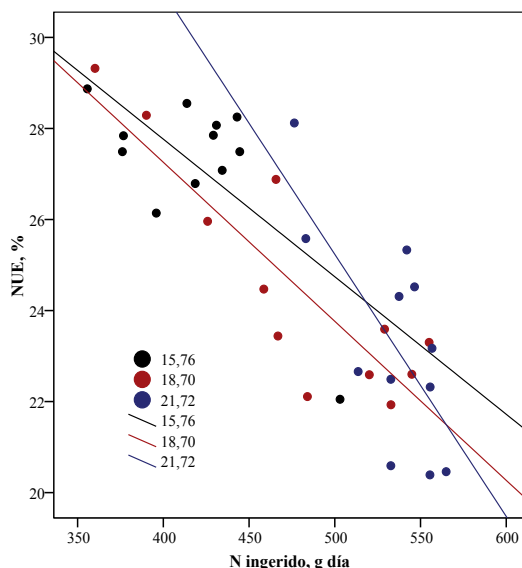


$$\text{Urea, mg dl}^{-1} = 66.3 (7.6) - 1.17 (0.30) \text{ NUE, } \%; \pm 4.89 \text{ } r^2=0.30$$

La NUE descendió linealmente a medida que la proteína de la mezcla del concentrado aumenta, al igual que el consumo de N (Tabla 10), e incrementa cuando la concentración de urea disminuye (Figura 12). Dentro de cada porcentaje de proteína incluida en la mezcla de concentrado, un gramo de N ingerido por día dentro del rango 355 a 503 g en el concentrado del 15.7% de proteína; 360 a 555 g el del 18.9% y 476 a 564 g N día el de 21.7% de proteína, NUE descendió 0.030 ($r^2=0.44$, $P<0.01$); 0.035 ($r^2=0.35$, $P<0.001$) y 0.058 ($r^2=0.48$, $P<0.01$) unidades porcentuales respectivamente (Figura 13). Las pendientes aquí obtenidas son similares a 0.033 obtenidas por Salcedo

(2006) en vacas lecheras alimentadas con pasto o ensilados y mínimo aporte de concentrado; similar a la indicada por Castillo *et al.* (2001b) de -0.036 y superiores a -0.019 obtenida en las explotaciones de Cantabria.

Figura 13.- Relación entre el consumo de N (g d^{-1}) y la eficiencia de utilización del N (NUE, %)



$$NUE, \% (15.76\% PB) = 39.85 (4.5) - 0.030 (0.011) N \text{ ingerido } g d^{-1}; \pm 1.4 r^2=0.44$$

$$NUE, \% (18.7\% PB) = 41.23 (2.95) - 0.035 (0.006) N \text{ ingerido } g d^{-1}; \pm 1.26 r^2=0.76$$

$$NUE, \% (20.72\% PB) = 54.02 (9.9) - 0.058 (0.011) N \text{ ingerido } g d^{-1}; \pm 1.76 r^2=0.48$$

La producción de leche está significativamente relacionada con el incremento en el porcentaje de proteína bruta de la mezcla de concentrado ($P < 0.05$), pero no, con el consumo de nitrógeno (Tabla 10). De este modo, incrementos de una unidad porcentual de proteína en la mezcla de concentrado, la producción aumenta 0.24 kg de leche.

Las concentraciones de grasa, proteína y sólidos no grasos no difieren entre porcentaje de proteína incluida en la mezcla de concentrado, ni con el consumo de N (Tabla 10). En todos los casos la concentración de urea es elevada, con valores medios de $35 \pm 5.7 \text{ mg dl}^{-1}$, y relacionada negativamente con la NUE ($r = -0.55$, $P < 0.01$), positivamente con la excreción de orina ($r = 0.46$, $P < 0.01$) y con la ingestión de proteína bruta ($r = 0.44$, $P < 0.01$).

La composición en ácidos grasos de la leche es un factor determinante de su valor saludable y funcional (Jensen, 2002), tras demostrarse sus efectos positivos en la salud humana (Parodi, 1999). El perfil de ácidos grasos puede ser modificado mediante selección genética o más fácilmente, mediante la nutrición animal (Gagliostro, 1998). En este sentido, se pretende reducir los saturados (AGS) asociados al llamado *riesgo de muerte por afección coronaria* (Hu *et al.*, 1997) y aumentar los insaturados (AGI), entre

ellos, el 1cido Linol3ico Conjugado (CLA) a trav3s de cambios en la alimentaci3n, puesto que los efectos aparecen en un per3odo de tiempo corto, son reversibles y permanecen en los derivados l1cteos (Palmquist *et al.*, 1993).

Entre otros factores, la composici3n de los 1cidos grasos de la leche est1 afectada por la 3poca del a1o, sobre todo en condiciones de pastoreo (Lock y Garnsworthy, 2003); la raza del animal (White *et al.*, 2001) y la variaci3n individual entre animales (Khanal y Olson, 2004) son los m1s involucrados en el contenido de 1cido Lineleico Conjugado (CLA) o Rum3nico. Sin embargo, la bibliograf3a se1ala la alimentaci3n como la herramienta m1s influyente que act1a sobre el CLA (Gagliostro, 1998; Bauman *et al.*, 2001). No obstante, existe poca informaci3n de los efectos del contenido en prote3na de los concentrados sobre el perfil de 1cidos grasos en leche (Palmquist *et al.*, 1993; Cabrita *et al.*, 2007).

Se sabe que al principio de la lactaci3n, un elevado consumo de prote3na incrementa el metabolismo lip3dico tisular, pudiendo aumentar el contenido de 1cidos grasos de cadena larga. La ingest3n de los 1cidos grasos C_{14:0}; C_{16:0}; C_{16:1}; C_{18:0}; C_{18:1 cis}; C_{18:2 cis9 cis12}; C_{18:3 (n-3)} en gramos vaca y d3a viene representada en la Tabla 6. El consumo de los mismos y en orden descendiente son el Este1rico (187.6±0.01); Linol3ico (148.3±0.016); Palm3tico (135.3±0.013); Oleico (70±0.007); Linol3ico (63.4±0.007) y Palmitol3ico (38.0±0.003).

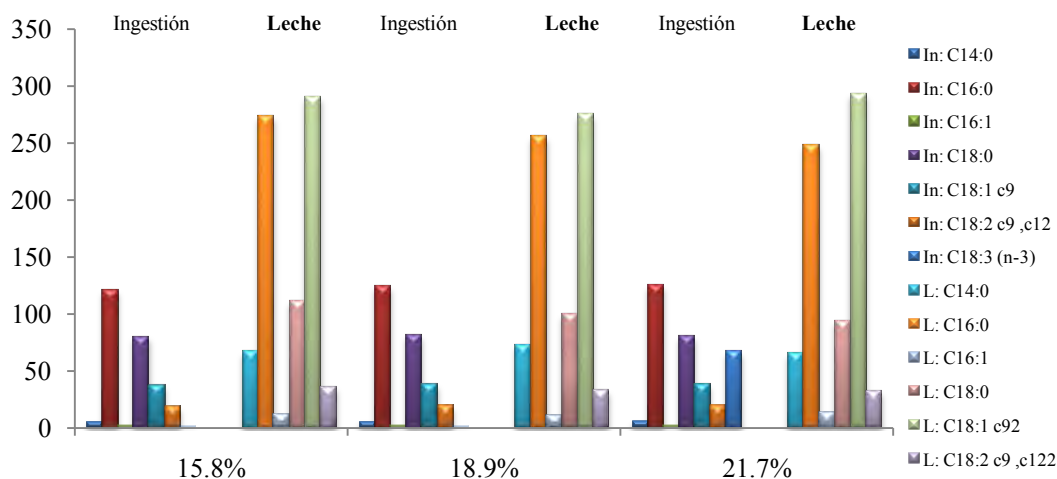
El efecto de la prote3na del concentrado en el perfil de los 1cidos grasos de la leche se se1ala en la Tabla 10. Efectos significativos son detectados para algunos 1cidos grasos en relaci3n con el contenido de prote3na de la mezcla de concentrados [C1prico: C_{10:0} y Linol3nico u Ω3: C_{18:3}, (P<0.01) y L1urico: C_{12:0}; Mir3stico: C_{14:0}; Miristoleico: C_{14:1}; y Pentanodioico: C_{15:0} (P<0.001) y Oleico: C_{18:1 cis9}]. Los 1cidos Rum3nico: (C_{18:2 cis9 trans11}) o CLA (1cido linol3ico conjugado) y Linol3ico: u Ω6: (C_{18:2 cis9 trans12}) no sufren modificaci3n por el contenido de prote3na de los concentrados, aunque para el primero es considerablemente menor en el concentrado del 15.7% de prote3na que en el de 18.9% y 21.7% (Tabla 10), coincidente con De Veth *et al.* (2006).

En el estudio de De Veth *et al.* (2006) observan descensos significativos de Palm3tico: (C_{16:0}) y un ligero incremento en el Este1rico: (C_{18:0}) y C_{18:2 cis9 trans12}, sin efectos en C_{18:2 cis9 trans11}. Por el contrario, Cabrita *et al.* (2007) se1alan aumentos significativos en C_{18:2 cis9 trans11} al intensificar el contenido de prote3na bruta en la dieta.

La Figura 14 representa la ingestión de ácidos grasos y los recuperados en leche, ambos expresados en gramos por día. Sólo el Linoléico ($r=0.35$, $P<0.05$) y el Linolénico ($r=-0.43$, $P<0.01$) mostraron correlación con la ingestión de dichos ácidos.

La concentración de los ácidos grasos ω_3 , ω_6 y CLA en gramos kilogramo de leche para cada uno de los concentrados proteicos son 0.14; 1.5 y 0.247; 0.13, 1.36 y 0.299 y 0.121, 1.28 y 0.287 g kg^{-1} para las mezclas de concentrado del 15.7%, 18.7% y 21.7% de proteína bruta, sin diferencias significativas entre ellos, ni a nivel de consumo de N, similares para el ω_3 de 0.126 g kg^{-1} obtenido por White *et al.* (2001) en vacas Holstein alimentadas con raciones totales mezcladas y diferentes para el ω_6 y CLA de 0.83 y 0.13 g kg^{-1} respectivamente.

Figura 14.- Ingestión (In) y producción de ácidos grasos (g vaca día) en la leche (L) según la concentración en proteína de la mezcla de concentrado

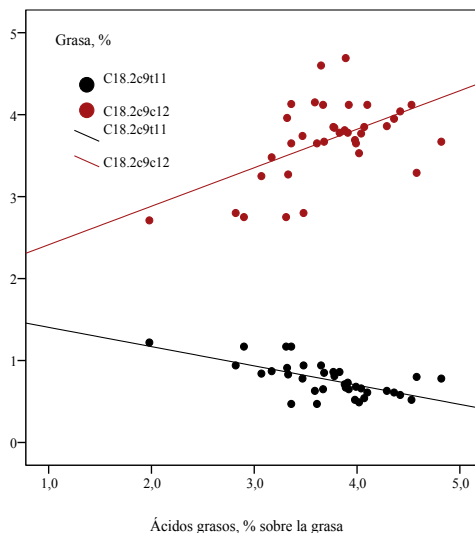


La suma de ácidos grasos insaturados (AGI) y monoinsaturados (AGMI) es superior en el concentrado de mayor porcentaje proteico ($P<0.001$) y menor los saturados (AGS) y poliinsaturados (AGPI) (Tabla 10). Los resultados aquí obtenidos son similares a los señalados por Baltusnikienè *et al.* (2008) de 56.0% los AGS, similar a 5.24% los AGPI, superior concentración en los monoinsaturados (AGMI) de 24.8% y CLA (0.51%) que los del presente trabajo, también con raciones totales mezcladas. Los ácidos grasos poliinsaturados no sufren modificaciones por el porcentaje de proteína incluida en los concentrados o por el consumo de N (Tabla 10). La relación AGS:AGI es mayor ($P<0.001$) en la mezcla de concentrado del 18.9%.

Timmen y Patton (1988) demostraron que la composición de los ácidos grasos de la leche puede estar influenciada por el balance energético positivo del ganado. En el presente trabajo, el ganado se encuentra en la tercera parte de la lactación (210 ± 12 días),

relacionándose negativamente el porcentaje de grasa con $C_{18:2\ cis9\ trans11}$ y positivamente con $C_{18:2\ cis9\ trans12}$ (Figura 15).

Figura 15.- Relación entre el porcentaje de grasa y los ácidos grasos Ruménico y Linoleico



Los índices de aterogenicidad (IA) y trombogenicidad (IT) estimados difieren respecto a la concentración de proteína en la mezcla de concentrados ($P < 0.001$), sin diferencias con el N ingerido y sí, ($P < 0.001$) la interacción N ingerido x concentración de proteína; obteniéndose valores medios de 0.93 ± 0.23 y 2.53 ± 0.33 respectivamente. La variable más relacionadas con IA e IT es el porcentaje de AGS (IA, $r = 0.92$, $P < 0.01$; IT, $r = 0.97$, $P < 0.01$) y los AGI (IA, $r = -0.95$, $P < 0.01$; IT, $r = -0.97$, $P < 0.01$), coincidente con Silva *et al.* (2007). Por el contrario, la concentración de CLA en la leche no se relaciona con los índices IA e IT. El inferior índice de IA obtenido respecto a 2.12 señalado por Silva *et al.* (2007) puede tener su origen a la mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de $4.04\text{ g } 100\text{ g}^{-1}$ grasa en el presente trabajo frente a 3.38 g (Silva *et al.*, 2007).

3.2. Balance de almidón

3.2.1. Introducción

La captura eficiente de nitrógeno de la dieta y la síntesis de proteína microbiana ruminal, requiere un adecuado equilibrio entre el nitrógeno y la energía. Cuando aquel es proporcionalmente mayor, se producen pérdidas de amoníaco a través de la pared ruminal, posteriormente eliminado en forma de urea por la orina, debido principalmente a escasez de adenosin-trifosfato (ATP) obtenido a partir de la fermentación de los carbohidratos, necesario para la síntesis de proteína de los aminoácidos y amoníaco.

Aunque la necesidad de equilibrar la energía y el N está bien documentada (Dewhurst *et al.*, 2000), algunos autores defienden la necesidad de una estricta sincronía entre ambas fracciones (Sinclair *et al.*, 1993 y 1995). Estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que la ajustada sincronía no es necesaria para lograr la máxima eficiencia microbiana (Newbold y Rust, 1992). Teóricamente, un alto grado de sincronía debería traducirse en mejoras de la eficiencia de utilización del N (NUE), reduciéndose el amoníaco que escapa del rumen. Sin embargo, el balance de N en los experimentos con dietas sincrónicas y asincrónicas en pastoreo ha mostrado poca diferencia de NUE y producción de leche, a pesar que las concentraciones de urea en sangre son mayores en vacas alimentadas con dietas asincrónicas (Kolver *et al.*, 1998). Por su parte Newbold y Rust (1992) demostraron que la producción de proteína microbiana *in vitro* no se altera por un suministro sincrónico de energía y N, en comparación con un suministro asincrónico; probablemente debido a la capacidad de los microbios del rumen para responder a los períodos transitorios de la degradación de energía mediante el almacenamiento de polisacáridos (Van Kessel y Russell, 1997). Sin embargo, en situaciones *in vivo* difiere de la producida en el entorno artificial *in vitro* de dos maneras. En primer lugar, el tiempo de residencia de los microbios ruminales no es permanente en la panza, sino que continuamente lo abandonan y, por lo tanto, teniendo sus polisacáridos almacenados con ellos. En segundo lugar, parte del amoníaco no capturado por los microorganismos atraviesa el epitelio ruminal, dando lugar a pérdidas inevitables.

Muchas son las publicaciones orientadas a minimizar la excreción de N en vacas lecheras se han basado en el aporte de proteína (Castillo *et al.*, 2000; NRC, 2001; Salcedo, 2006), pero son pocas las encaminadas a estudiar el efecto con almidón (Castillo *et al.*, 2001). En vacuno lechero los carbohidratos representan el 60% al 70% del total de la dieta, siendo la principal fuente de energía utilizada por los

microorganismos ruminales para la síntesis de proteína microbiana (Dijkstra *et al.*, 1998). La suplementación a base de concentrados ricos en almidón se caracteriza por modificar la proporción molar de los ácidos grasos volátiles del rumen, favoreciendo la producción de propionato, principal precursor de glucosa en los rumiantes, situación que influye positivamente en el metabolismo energético (Knowlton *et al.*, 1998; Bargo *et al.*, 2003).

El almidón incluido en la dieta contribuye directa o indirectamente a incrementar la excreción de N (Petit y Tremblay, 1995), si bien, la variable más relacionada es la ingestión de N (Keady y Murphy, 1998; Salcedo, 2006).

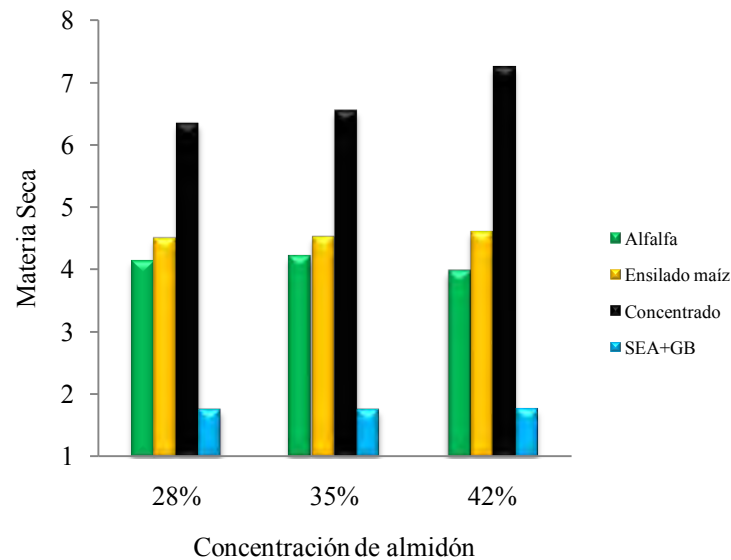
Diferentes soluciones se han propuesto para mejorar la utilización del N, como incrementar el aporte de carbohidratos rápidamente fermentables (Beever y Reynolds, 1994). Los trabajos de Valk y Hobbelink (1992) señalan reducciones importantes del N procedente de la orina al reemplazar forraje por concentrado, observándose en este caso, mayor excreción de N en las heces. Por el contrario, los amilolíticos causan superiores pérdidas a través de la orina.

El objetivo de este estudio se centra en evaluar la proporción de almidón incluido en la mezcla del concentrado sobre el consumo, excreción, digestibilidad, utilización del N en vacas lecheras y la producción y calidad de la leche.

3.2.2. Consumo de materia seca

La ingestión diaria de cada alimento dentro del total de la dieta es de 4.54 ± 0.7 kg; 4.13 ± 0.6 kg; 6.7 ± 1.0 kg; 1.74 ± 0.24 kg de materia seca para el ensilado de maíz, alfalfa (incluye el 20% de alfalfa contenida en la mezcla de concentrado), la mezcla de concentrado y un suplemento extra a base de semilla y grasa bypass respectivamente (Figura 16).

Figura 16.- Consumo medio de alimentos, kilogramos vaca día



El consumo de materia seca (MS), energía metabolizable (EM), proteína bruta (PB), proteína degradable en rumen (PDR), materia orgánica digestible (MOD), fibras ácido y neutro detergente (FAD y FND) no difieren entre la concentración de almidón incluido en la mezcla de concentrado, con ingestiones medias de $17.1 \pm 2.5 \text{ kg d}^{-1}$; $216 \pm 41 \text{ MJ}$; $2.78 \pm 0.40 \text{ kg d}^{-1}$; $1.55 \pm 0.41 \text{ kg d}^{-1}$; $13.7 \pm 2.6 \text{ kg d}^{-1}$; $3.3 \pm 0.47 \text{ kg d}^{-1}$ y $5.12 \pm 0.74 \text{ kg d}^{-1}$ respectivamente, y sí, ($P < 0.001$) en relación al consumo de almidón (Tabla 11). Oba y Allen (2003) señalan consumos mayores en dietas de superior concentración de almidón, con respuestas medias de $0.70 \text{ kg de MS kg}^{-1}$ almidón ingerido. En el presente experimento, cada kilogramo de incremento en el consumo de almidón dentro del rango (2.3 a 6.07), la ingestión de materia seca aumentó 2.09 kg d^{-1} ($r^2 = 0.52$, $P < 0.001$); por añadidura la energía metabolizable en 35.3 MJ d^{-1} ($r^2 = 0.56$, $P < 0.001$).

La ingestión de proteína no degradable en rumen (PNDR) y carbohidratos no fibrosos (CNF) difiere entre concentrados ($P < 0.05$) y, $P < 0.001$ el almidón, con consumos medios de 1.23 ± 0.03 ; 9.62 ± 0.23 y 4.02 ± 0.86 ; apreciándose tendencias lineales respecto a la concentración de almidón en la mezcla de concentrado. Así, cada incremento en una unidad porcentual de almidón, la ingestión de almidón, PDR y CNF aumentó 0.102 kg d^{-1} ($r^2 = 0.54$, $P < 0.001$); 0.005 kg d^{-1} ($r^2 = 0.84$, $P < 0.001$) y 0.01 kg d^{-1} ($r^2 = 0.18$, $P < 0.001$) respectivamente.

 **Tabla 11.- Ingestión de nutrientes**

	Mezcla concentrados					Significación			
	28%	35%	42%	et	P	Almidón ingerido d ⁻¹	Con * Alm ingerido	L	C
MS, kg d ⁻¹	16.7	17.2	17.4	0.052	NS	***	***	NS	NS
MO, kg d ⁻¹	15.6	15.7	15.8	0.015	NS	***	***	NS	NS
EM, MJ d ⁻¹	204	220	223	1.99	NS	***	***	NS	NS
PB, kg d ⁻¹	2.89	2.73	2.73	0.007	NS	***	***	NS	NS
PDR, kg d ⁻¹	1.7	1.5	1.46	0.01	NS	***	***	NS	NS
PNDR, kg d ⁻¹	1.19	1.23	1.26	0.003	*	NS	NS	***	NS
FND, kg d ⁻¹ kg	5.1	5.26	5.01	0.005	NS	***	***	NS	NS
NDR MJ ⁻¹ EM	1.31	1.06	1.04	0.011	NS	***	NS	***	***
FAD, kg d ⁻¹	3.31	3.33	3.24	0.003	NS	***	***	NS	NS
Almidón, kg d ⁻¹	3.35	3.8	4.9	0.096	***	-	-	***	***
MOD ₇₀₀ , kg d ⁻¹	13	14.0	14.2	0.12	NS	***	***	NS	NS
Fósforo, g d ⁻¹	76.2	86.3	75.3	0.51	NS	***	***	NS	*
CNF, kg d ⁻¹	9.54	9.53	9.79	0.055	*	NS	NS	***	NS
CNF:FND	1.91	1.86	1.97	0.015	*	***	***	NS	NS
GB, g d ⁻¹	762	834	898	1.3	NS	***	***	***	NS
C _{14:0} , g d ⁻¹	8.95	8.87	8.77	0.024	NS	***	***	NS	NS
C ₁₆ , g d ⁻¹	172	177	172	0.54	NS	***	***	NS	NS
C _{16:1} , g d ⁻¹	6.14	6.17	6.18	0.006	NS	***	***	NS	NS
C _{18:0} , g d ⁻¹	87.9	87.3	86.7	0.35	NS	***	***	NS	NS
C _{18:1 c9} , g d ⁻¹	105	102	112	0.16	NS	***	***	NS	NS
C _{18:2 c9 c12} , g d ⁻¹	175	182	188	0.083	NS	***	***	NS	NS
C _{18:3 (n-3)} , g d ⁻¹	65.7	66.1	65.2	0.001	NS	***	***	NS	NS
C _{20:0} , g d ⁻¹	1.30	1.31	1.31	0.006	NS	***	***	NS	NS

MS: materia seca; **MO:** materia orgánica; **EM:** energía metabolizable; **PB:** proteína degradable en rumen; **PNDR:** proteína no degradable en rumen; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **NDR/MJ EM:** nitrógeno degradable en rumen por megajulio de energía metabolizable; **MOD:** materia orgánica digestible; fósforo; **GB:** grasa bruta; **C_{14:0}:** Mirístico; **C₁₆:** Palmítico; **C_{16:1}:** Palmitoleico; **C_{18:0}:** Estearico; **C_{18:1 c9}:** Oleico; **C_{18:2 c9 c12}:** Linoleico; **C_{18:3 (n-3)}:** Linolénico; **C_{20:0}:** Aráquico; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

Hoover (1985) señala reducciones en el consumo de fibra neutro detergente cuando incluye en las dietas del vacuno lechero concentrados ricos en almidón. En el presente trabajo y a las proporciones de almidón ensayadas, no se observaron efectos contrarios al aumento de almidón en las dietas. Posiblemente, la diferencia de 1.55 kilogramos más de almidón ingerido con mezcla de concentrado del 42% respecto a la del 28%, no sea suficiente para manifestar el efecto señalado por Hoover (1985).

Por su parte, Oba y Allen (2003) apreciaron consumos de materia seca inferiores en dietas de menor contenido en almidón, atribuido a la mayor distensión del rumen por efectos del llenado físico. Dietas de baja concentración en almidón presentan porcentajes de fibra neutro detergente (FND) mayores, y la FND del forraje es el primer factor limitante en la reducción del consumo de materia seca (Allen, 2000). En cualquier caso, las concentraciones de almidón por kilogramo de materia seca ingerida para las mezclas de concentrado del 28.3 y 42% son de 201±0.4, 222±3 y 281±3.7 g kg⁻¹ respectivamente, similares a 316 y 211 g kg⁻¹ señalado por Oba y Allen (2003) en raciones de vacas lecheras que contienen 31.6% y 21.1% de almidón.

El consumo de 6cidos grasos no difiere entre mezclas de concentrados (Tabla 11) y s3, ($P < 0.001$) respecto al consumo de almid3n.

3.2.3. Composici3n qu3mica y excreci3n de heces

La concentraci3n de materia seca, nitr3geno, N-amoniaco; fibra neutro y 6cido detergente, materia org6nica, pH, conductividad el3ctrica y f3sforo de la materia seca no difieren seg3n la concentraci3n de almid3n incluida en la mezcla de concentrado o consumo de almid3n (g d^{-1}), obteni3ndose valores medios de $18.7 \pm 1.3\%$; 30.5 g kg^{-1} MS; 5.75 g kg^{-1} MS; $70.0 \pm 4.2\%$; $42.6 \pm 4.6\%$; $88.4 \pm 0.8\%$; 6.97 ± 0.58 ; $3.88 \pm 2.6 \text{ mS cm}^{-1}$ y $0.98 \pm 0.18\%$ respectivamente (Tabla 12). Para el N sobre muestra fresca, no difiere en relaci3n a la concentraci3n de almid3n de la mezcla de concentrado y $P < 0.05$, al almid3n ingerido. Estos resultados son inferiores a los indicados por Van Horn *et al.* (1994), Castillo *et al.* (2001) en vacas lecheras con similar ingest3n y producci3n de leche, y dentro del rango de 24.4 a 32.3 g N kg^{-1} de materia seca se6alado por Powel *et al.* (2006) y $5.7 \text{ g N-NH}_3 \text{ kg}^{-1}$ de materia seca.

Indirectamente la consistencia de las heces puede proporcionar signos cl3nicos y subcl3nicos de acidosis. La humedad de las heces aumenta como consecuencia de incrementar la osmolaridad de la acidez ruminal y del contenido gastrointestinal, pudiendo contener proporciones de alimento no digerido, causado por una reducida actividad celulol3tica y pH bajo. En el presente estudio y para la mezcla de mayor contenido en almid3n (42%), no se observaron heces blandas o diarreicas que revelasen signos de acidosis ruminal, como lo corrobora su contenido normal de materia seca (17.9%), situ6ndose dentro del rango 15% a 30% se6alado por Church (1988).

Tabla 12.- Composici3n f3sico-qu3mica de las heces

	Mezcla concentrados					Significaci3n			
	28%	35%	42%	et	P	Almid3n Ingerido d^{-1}	Con * Alm ingerido	L	C
MS, %	18.9	19.3	17.9	0.33	NS	NS	NS	NS	*
N, %	0.564	0.573	0.576	0.017	NS	*	NS	NS	NS
N, g kg^{-1} MS	29.8	29.7	32.0	0.84	NS	NS	NS	NS	NS
N-NH ₃ , g kg^{-1} MS	6.26	4.23	6.76	0.44	NS	NS	NS	NS	***
FND, % sms	69.9	70.3	69.8	1.2	NS	NS	NS	NS	NS
FAD, % sms	42.7	44.7	40.3	1.1	NS	NS	NS	NS	*
MO, % sms	88.8	88.1	88.3	0.22	NS	NS	NS	NS	NS
pH	7.09	6.97	6.85	0.16	NS	NS	NS	NS	NS
CE mS m^{-1}	4.58	3.51	3.54	0.74	NS	NS	NS	NS	NS
C:N	17.4	17.4	16.2	0.48	NS	NS	NS	NS	NS
F3sforo, % sms	0.93	1.14	0.89	0.042	NS	NS	NS	NS	***

MS: materia seca; N: nitr3geno; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra 6cido detergente; MO: materia org6nica; CE: conductividad el3ctrica; C:N: relaci3n carbono:nitr3geno; sms: sobre materia seca; P: nivel de significaci3n, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; NS: no significativo; et: error t3pico de la diferencia de medias; L: efecto lineal; C: efecto cuadr6tico

Cuando la concentración de fibra ácido detergente de la dieta disminuye, el porcentaje de materia seca de las heces del vacuno lechero se reduce (Ireland-Perry y Stallings, 1993), coincidente en el presente experimento con la mezcla del 42%, de menor concentración de fibra ácido de la dieta, sin diferencias para los concentrados del 28% y 35%.

El pH de las heces no se relaciona con su homólogo ruminal, debido a la fermentación y buferización en el intestino grueso, tomándose aquellos valores con precaución a la hora de diagnosticar acidosis ruminal (Clayton *et al.*, 1999). Stelletta *et al.* (2005), clasifican el pH de las heces de las vacas con acidosis ruminal, nivel crítico y estado normal de 6.44, 6.68 y 6.61 respectivamente; según este criterio, los pH de las heces no mostraron signos de acidez (Tabla 12). Ireland-Perry y Stallings (1993) observaron bajos pHs en dietas de baja concentración de fibra ácido detergente; por el contrario, Yang y Beauche (2006) no aprecian diferencias para consumos de almidón variables de 5.9 a 6.4 kg vaca y día. En el presente trabajo, los consumos de almidón y fibra neutro detergente no se observaron relaciones con el pH de las heces.

El porcentaje de granos enteros o partidos presentes en el ensilado de maíz es del $29.6 \pm 1.4\%$ y, sólo el $0.67 \pm 0.06\%$ son recuperados en heces, sin diferencias significativas para al almidón ingerido y sí, ($P < 0.001$) respecto a la concentración de almidón del concentrado (Tabla 13). Estos resultados sugieren un aporte aceptable de fibra neutro detergente efectiva para mantener un pH ruminal funcional, aunque en este experimento ambos parámetros no fueron determinados.

Tabla 13.- Producción, excreción de N y digestibilidad *in vivo*

	Mezcla concentrados					Significación			
	28%	35%	42%	et	P	Almidón d ⁻¹	Con * Alm ingerido	L	C
Heces frescas, kg d ⁻¹	20.7	16.7	18.4	0.63	NS	NS	NS	***	***
Heces, kg MS d ⁻¹	3.9	3.22	3.31	0.116	NS	NS	NS	***	**
dMS _{vivo}	0.76	0.80	0.80	0.07	NS	***	NS	**	NS
Heces, N g d ⁻¹	117	95	106	4.5	NS	NS	NS	NS	***
N heces, % N consumido	25.9	22.4	24.3	1.6	NS	***	NS	NS	NS
Heces kg kg ⁻¹ MS ingerida	1.27	1.01	1.07	0.04	*	***	NS	NS	NS
Heces kg ⁻¹ leche	0.82	0.72	0.79	0.03	NS	NS	NS	NS	*
Heces, MS kg ⁻¹ leche	0.16	0.14	0.14	0.005	NS	NS	NS	NS	NS
dN _{vivo}	0.74	0.77	0.75	0.011	NS	***	NS	NS	NS
Orina, N g d ⁻¹	221	221	211	5.8	NS	***	NS	NS	NS
Orina, N % N ingerido	46.3	49.1	47.8	1.32	*	***	NS	NS	NS
Heces, FND kg d ⁻¹	2.71	2.28	2.31	0.08	NS	NS	NS	***	**
dFND _{vivo}	0.45	0.55	0.53	0.01	NS	***	NS	NS	NS
Heces, FAD kg d ⁻¹	1.67	1.44	1.33	0.06	NS	NS	NS	***	NS
dFAD _{vivo}	0.48	0.55	0.58	0.02	NS	***	NS	**	NS
MO, kg d ⁻¹	3.46	2.84	2.92	0.10	NS	NS	NS	***	***
dMO _{vivo}	0.77	0.81	0.81	0.07	NS	***	NS	*	NS
Heces, P g d ⁻¹	36.5	36.5	29.1	1.88	NS	NS	NS	NS	NS
dP _{vivo}	0.50	0.56	0.60	0.02	NS	**	NS	NS	NS
% granos heces	.30	.73	.98	0.01	***	NS	NS	***	***

dMS: digestibilidad *in vivo* de la materia seca; **dMO:** digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; **dN:** digestibilidad *in vivo* del N; **dFND:** digestibilidad *in vivo* de la fibra neutro detergente; **dFAD:** digestibilidad *in vivo* de la fibra ácido detergente; **dP:** digestibilidad *in vivo* del fósforo; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

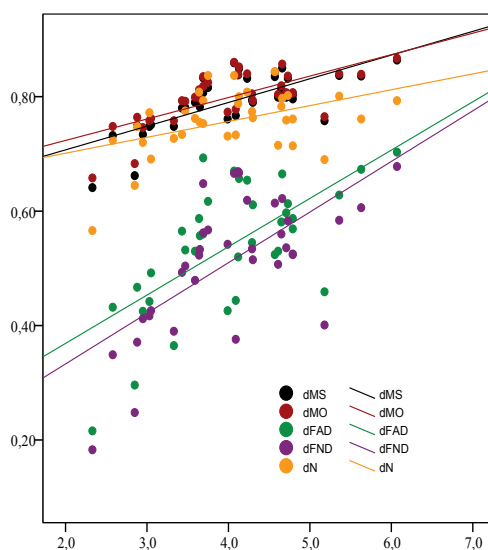
La digestibilidad aparente *in vivo* de la materia seca (dMS), materia orgánica (dMO), fibra ácido detergente (dFAD), neutro detergente (dFND) y del nitrógeno (dN), no fueron diferentes entre concentraciones de almidón incluido en mezcla de concentrado, pero sí, (P<0.001) con el consumo de almidón (Tabla 13). Las Figuras 17 y 18 representan la tendencia para dMS, dMO, dFAD dFND y dN respecto a los consumos de almidón y materia seca (kg d⁻¹), observándose aumentos en ambos casos de 4.14-1.57; 3.74-1.46; 8.44-3.03; 8.84-3.82 y 2.77-1.43 unidades porcentuales, para rangos de 2.33-6.07 el almidón y 11.5-21.8 kilogramos de almidón y materia seca vaca y día.

Diferentes trabajos señalan que, a menudo, la digestibilidad de la fibra disminuye cuando el consumo de materia seca incrementa (Putnam y Loosli, 1959; Valadares *et al.*, 2000), contrario a los resultados del presente trabajo (Figura 18). La dFND es numéricamente mayor en la mezcla del 35% de almidón y, P<0.001 respecto al consumo de almidón; porcentajes similares a los señalados por Firkins *et al.* (2001) sobre un total de 77 tratamientos recogidos en la bibliografía. Beckman y Weiss (2005), observan aumentos de 2.1 unidades porcentuales para dMS y dMO y, descensos de 1.1

la dFND en dietas de vacas lecheras alimentadas con proporciones variables de 25.4% a 33.3% de almidón.

La excreción media diaria de heces frescas o en forma de materia seca, no difiere entre concentraciones o consumo de almidón, pero sí ($P < 0.001$) descensos lineales conforme aumenta la proporción, con excretas medias diarias de 18.6 ± 0.63 y 3.4 ± 0.5 kg respectivamente (Tabla 13). No obstante, cada punto de incremento en la dMS, dMO, dFAD, dFND y dN la excreción en heces (kg MS) disminuyó -0.072 , -0.077 , -0.032 , -0.027 y -0.056 kg vaca y día o 0.385 , 0.411 , 0.171 , 0.144 o 0.299 kg de heces frescas respectivamente.

Figura 17.- Relación entre el consumo de almidón y la digestibilidad *in vivo*



$$dMS, \% = 68.4 (2.8) + 4.14 (0.69) \text{ Almidón ingerido } \text{kg } d^{-1}; \pm 3.5 r^2 = 0.51$$

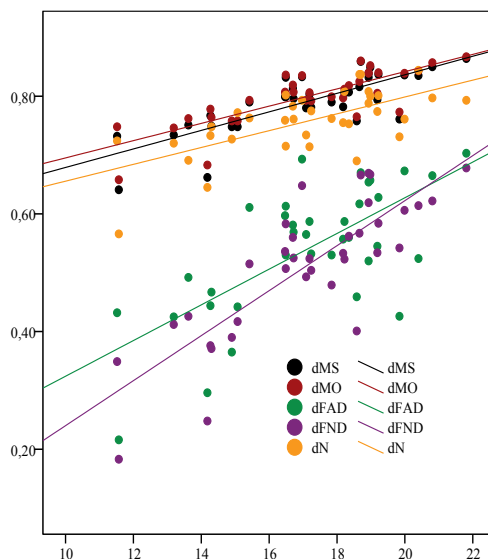
$$dMO, \% = 64.8 (2.6) + 3.74 (0.64) \text{ Almidón ingerido } \text{kg } d^{-1}; \pm 3.3 r^2 = 0.49$$

$$dFAD, \% = 19.9 (6.4) + 8.44 (1.63) \text{ Almidón ingerido } \text{kg } d^{-1}; \pm 8.43 r^2 = 0.43$$

$$dFND, \% = 15.6 (7.1) + 8.84 (1.7) \text{ Almidón ingerido } \text{kg } d^{-1}; \pm 8.9 r^2 = 0.43$$

$$dN, \% = 64.5 (4.0) + 2.77 (0.97) \text{ Almidón ingerido } \text{kg } d^{-1}; \pm 4.9 r^2 = 0.19$$

Figura 18.- Relación entre la ingestión de materia seca y la digestibilidad *in vivo*



$$dMS, \% = 52.1 (3.6) + 1.57 (0.21) \text{ Materia seca ingerida kg } d^{-1}; \pm 3.12 r^2=0.62$$

$$dMO, \% = 54.8 (3.2) + 1.46 (0.19) \text{ Materia seca ingerida kg } d^{-1}; \pm 2.8 r^2=0.63$$

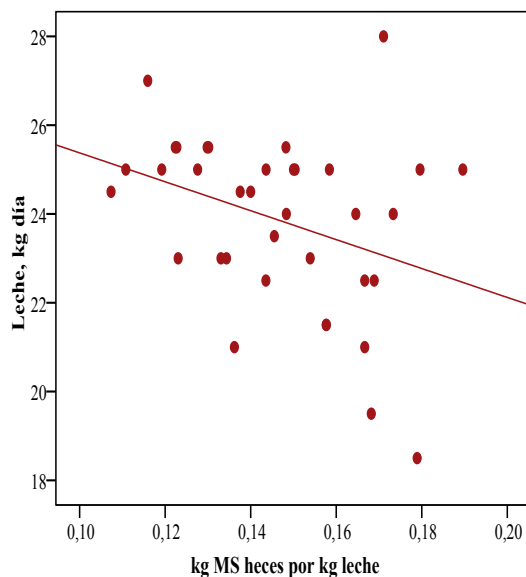
$$dFAD, \% = 2.06 (9.5) + 3.03 (0.55) \text{ Materia seca ingerida kg } d^{-1}; \pm 8.16 r^2=0.47$$

$$dFND, \% = -14.2 (7.9) + 3.82 (0.45) \text{ Materia seca ingerida kg } d^{-1}; \pm 6.8 r^2=0.67$$

$$dN, \% = 51.2 (4.8) + 1.43 (0.28) \text{ Materia seca ingerida kg } d^{-1}; \pm 4.19 r^2=0.43$$

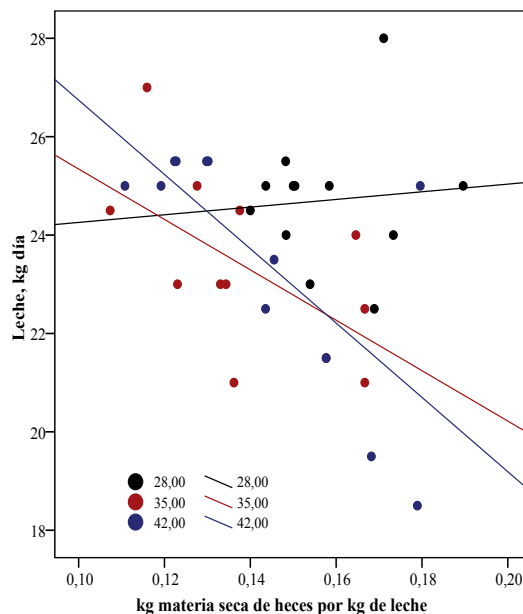
Las relaciones obtenidas entre los kilogramos de heces frescas por kilogramo de materia seca ingerida y kilogramos de materia seca de heces por kilogramo de leche (Tabla 13), pueden ser índices estimativos en la eficiencia de utilización de la materia seca. Para la primera, los resultados difieren según la concentración de almidón ($P<0.05$) y $P<0.001$ respecto al consumo de almidón, con valores medios de 1.27 ± 0.15 ; 1.01 ± 0.14 y $1.07\pm 0.14 \text{ kg kg}^{-1}$, inferiores a 2.05 señalado por Beckman y Weiss, (2005); sin diferencias significativas para la relación kilogramos de heces frescas por kilogramo de leche. Al relacionar la excreción de materia seca en heces por kilogramo de leche con la producción láctea, se obtienen relaciones significativas ($P<0.001$), pero bajo coeficiente de determinación, descensos de -0.004 kg de materia seca por kilogramo de leche, dentro del rango de 18.5 a 28 $\text{kg } d^{-1}$ (Figura 19). Sin embargo, pese a la mayor producción numérica de leche en el concentrado de inferior contenido en almidón (Tabla 15), la digestibilidad *in vivo* de la materia seca (Tabla 13) es menor; sin relaciones significativas para el concentrado del 28%, y sí, ($P<0.001$) para el de 35 y 42% de -0.007 kg de materia seca en heces por kilogramo de leche en ambos casos (Figura 20).

Figura 19.- Relación entre los kilogramos de materia seca por kilogramo de leche y la producción láctea (kg d^{-1})



$$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche} = 0.235 (0.04) - 0.004 (0.002) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.02 \text{ r}^2=0.12$$

Figura 20.- Relación entre los kilogramos de materia seca por kilogramo de leche y la producción láctea (kg d^{-1}) según la concentración de almidón de la mezcla de concentrado



$$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (Almidón, 28\%)} = \text{NS}$$

$$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (Almidón, 35\%)} = 0.29 (0.06) - 0.007 (0.003) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.01 \text{ r}^2=0.34$$

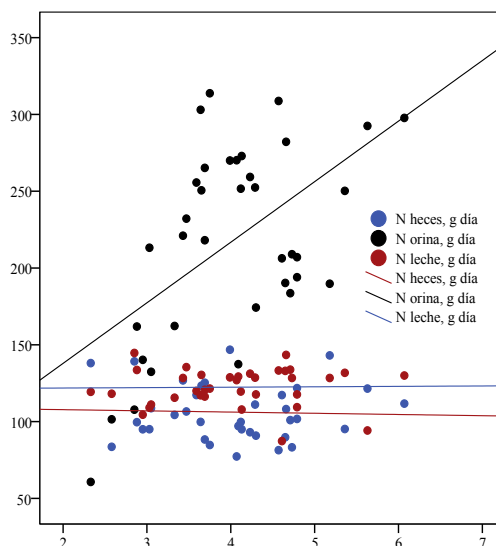
$$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (Almidón, 42\%)} = 0.30 (0.05) - 0.007 (0.002) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.01 \text{ r}^2=0.52$$

El volumen de N excretado en orina es superior al de las heces, con valores medios de 217 ± 63 y $117 \pm 18 \text{ g d}^{-1}$ respectivamente, sin diferencias en ambos casos con el tipo de mezcla de concentrado y, $P < 0.001$ el N de la orina (Tabla 13) en relación al

consumo de almid3n. En ambos casos, el porcentaje medio de N excretado en heces y orina respecto al ingerido es del $24.6\pm 5.7\%$ y $47.7\pm 8.8\%$ respectivamente, sin diferencias entre concentraciones de almid3n y, $P<0.001$ con la ingest3n de almid3n. La Figura 21 representa la excreci3n de N en leche, orina y heces para el conjunto de dietas, respecto al consumo de almid3n.

El N de las heces increment3 cuadr3ticamente ($P<0.001$), con m3ximos de 117 g N d^{-1} en el concentrado de menor concentraci3n de almid3n (28%) y m3nimos de 95 g N d^{-1} el de 35%. Para el conjunto de dietas, el N en heces respecto al N ingerido no difieren seg3n el almid3n incluido en la mezcla de concentrado (Tabla 15) y ($P<0.01$), con la ingesta de almid3n, obteni3ndose valores medios de $24.2\pm 5.47\%$.

Figura 21.- Relaci3n entre el consumo de almid3n y el N excretado en leche, orina y heces (g d^{-1})



Las variables m3s directamente relacionadas con la excreci3n diaria de N en heces por orden de importancia son el volumen de excretas frescas ($r=-0.76$, $P<0.01$); la digestibilidad *in vivo* del N de la dieta ($r=-0.68$, $P<0.01$); la digestibilidad de la materia seca y materia org3nica ($r=-0.46$, $P<0.01$); la digestibilidad de la fibra 3cido detergente ($r=-0.42$, $P<0.01$) y la fibra neutro detergente ($r=-0.38$, $P<0.01$), sin relaciones significativas para el consumo de almid3n o la concentraci3n del mismo en la mezcla de concentrado (Tabla 14). Para la orina, el consumo de prote3na bruta ($r=0.94$, $P<0.01$); ingest3n de materia seca ($r=0.92$, $P<0.01$); mientras, la digestibilidad aparente de la materia seca, fibra neutro y 3cido detergente, materia org3nica y del N presentan coeficientes de correlaci3n superiores al 70% ($P<0.01$) y signo positivo (Tabla 14).

Tabla 14.- Coeficientes de correlaci3n para todos los datos combinados

	Kg	%	MSI	FND	PB	dMS	dMO	dFAD	dFND	dN	Heces	MS heces	N heces	FND heces	MO heces	FAD heces	pH heces	CE heces	C:N heces	N heces	N Orina	NH ₃ kg MS
Almid3n, kg	-	.74**	.72**	.57**	.51**	.71**	.70**	.66**	.65**	.43**	-.24	-.34*	.27	-.14	-.21	-.10	-.22	-.16	-.40*	-.03	-.53**	.25
Almid3n, %		-	.12	-.04	-.16	.39**	.36**	.37*	.28	.11	.34*	-.48**	.07	-.01	-.23	-.21	-.16	-.16	-.28	-.24	-.06	.10
MSI, kg			-	.97**	.94**	.78**	.79**	.68**	.81**	.65**	-.19	-.16	.32**	-.22	-.16	-.17	-.16	-.10	-.28	.03	.92**	.13
FND, kg				-	.96**	.73**	.75**	.62**	.78**	.66**	-.17	-.11	.28	-.18	-.15	.26	-.15	-.10	-.18	.02	.93**	.04
PB, kg					-	.65**	.67**	.57**	.70**	.61**	.04	.007	.26	-.18	-.06	.18	-.14	-.07	-.18	.13	.94**	.15
dMS, %						-	.99**	.92**	.96**	.86**	-.65**	-.71**	.17	-.06	-.08	.04	-.14	-.12	-.21	-.46**	.80**	.08
dMO, %							-	.92**	.96**	.87**	-.65**	-.69**	.17	-.05	-.10	.05	-.15	-.13	-.20	-.46**	.81**	.08
dFAD, %								-	.89**	.78**	-.59**	-.69**	.15	-.09	-.11	-.31	-.08	-.10	-.25	-.42**	.71**	.15
dFND, %									-	.83**	-.58**	-.62**	.20	-.30	-.06	.06	-.08	-.13	-.21	-.38**	.83**	.07
dN, %										-	-.63**	-.60**	-.19	-.05	.0007	.15	-.18	-.19	.27	-.68**	.79**	-.17
Heces, kg											-	.88**	-.16	-.15	.15	-.07	-.03	.06	-.02	.76**	-.29	.19
Heces MS, kg												-	-.005	-.15	-.009	.07	-.01	.09	.09	.78**	-.25	.05
N, %													-	-.21	-.32*	-.03	.09	.19	-.81**	.49**	-.16	.36*
FND, %														-	-.04	.08	-.19	.03	.24	-.28	-.13	-.17
MO, %															-	.10	.25	.19	.16	-.06	-.02	-.05
FAD, %																-	-.14	-.003	.25	-.07	.19	-.28
pH																	-	.002	-.06	.03	-.13	-.005
EC, mS cm ⁻¹																		-	-.16	.20	-.11	.02
C:N																			-	-.54**	-.07	-.57**
N heces, g d ⁻¹																				-	-.15	.41**
N orina g d ⁻¹																					-	.04
NH ₃ kg MS																						-

** P<0.01; * P<0.05; **PB**: prote3na; **MSI**: materia seca ingerida; **FNDI**: fibra neutro detergente ingerida; **dMS**: digestibilidad de la materia seca; **dMO**: digestibilidad de la materia org3nica; **dFAD**: digestibilidad de la fibra 3cido detergente; **dFND**: digestibilidad de la fibra neutro detergente; **dN**: digestibilidad del N; **EC**: conductividad el3ctrica

3.2.4. Producción y composición química de la leche

Ni la producción de leche ni la corregida al 4% graso se vió modificada al aumentar la concentración de almidón en el concentrado o el consumo (Tabla 15). La eficiencia bruta media para el conjunto de concentrados es de 1.42 ± 0.24 kg de leche por kilogramo de materia seca ingerida, sin diferencias significativas entre concentraciones de almidón y, $P < 0.001$ respecto al consumo (Tabla 15), similar a 1.49 ± 0.24 kg kg^{-1} obtenido en las explotaciones intensivas de Cantabria con superior aporte de concentrado (11.21 ± 1.79 vs. 8.46 ± 1.30 kg vaca y día).

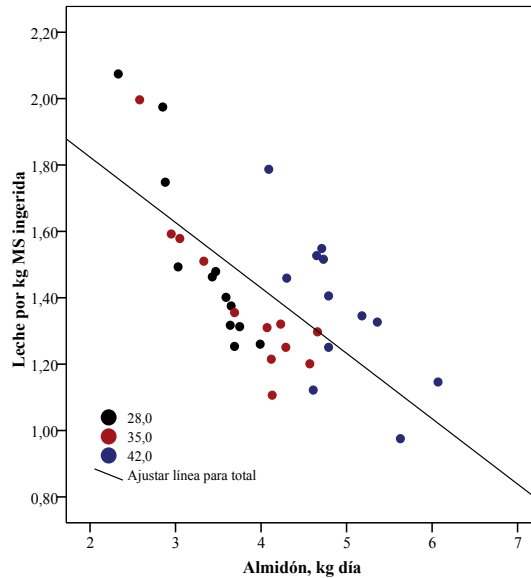
Tabla 15. Producción y composición química de la leche

	28%	35%	42%	et	P	Almidón d ⁻¹	Con * Alm	L	C
Leche, kg d ⁻¹	24.7	23.3	23.5	0.51	NS	NS	NS	NS	NS
Leche, 4% graso	21.2	19.7	20.9	0.56	NS	NS	NS	NS	NS
Grasa, %	3.57	3.15	2.65	0.17	***	***	***	***	NS
Grasa, kg d ⁻¹	0.88	0.73	0.61	0.03	***	***	NS	***	NS
Proteína, %	3.16	3.25	3.18	0.02	NS	NS	NS	NS	**
Proteína, kg d ⁻¹	0.78	0.76	0.75	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
SNG, %	8.87	8.84	8.94	0.03	NS	NS	NS	NS	NS
SNG, kg d ⁻¹	2.19	2.06	2.1	0.04	NS	NS	NS	NS	NS
Urea, mg dl ⁻¹	29.8	30.5	29.8	1.05	NS	NS	NS	NS	NS
Leche, kg MS ⁻¹	1.51	1.39	1.36	0.03	NS	***	NS	NS	NS
Eficiencia, N, %	27.7	28.3	27.8	0.8	NS	***	NS	NS	NS
Eficiencia EM, %	34.5	30.2	30.4	0.76	*	***	***	NS	NS
Ácidos grasos¹, %									
Butírico, C _{4:0}	2.62	2.09	2.66	0.09	NS	NS	NS	NS	***
Capríico, C _{6:0}	1.33	1.01	1.39	0.06	NS	NS	NS	NS	***
Caprílico, C _{8:0}	0.64	0.49	0.68	0.02	NS	NS	*	NS	***
Cáprico, C _{10:0}	1.26	1.0	1.41	0.04	NS	NS	NS	*	***
Láurico, C _{12:0}	1.57	1.35	1.71	0.04	NS	NS	NS	NS	***
Mirístico, C _{14:0}	6.94	6.38	7.09	0.16	NS	NS	NS	NS	***
Miristoleico, C _{14:1}	0.74	0.69	0.62	0.05	NS	NS	NS	***	***
Pentanoico, C _{15:0}	0.87	0.79	0.76	0.03	NS	NS	NS	NS	NS
Palmitico, C _{16:0}	27.8	28.2	26.7	0.19	NS	NS	NS	***	***
Palmitoleico, C _{16:1}	1.56	1.57	1.53	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
Margarico, C _{17:0}	0.51	0.60	0.50	0.03	NS	NS	NS	NS	*
Estearico, C _{18:0}	9.43	10.4	10.7	0.51	NS	NS	NS	NS	NS
Oléico, C _{18:1 cis9}	36.2	36.8	35.2	0.42	NS	NS	NS	NS	*
Ruménico, CLA: C _{18:2 cis9 trans11}	1.11	0.88	1.03	0.08	NS	NS	NS	NS	NS
Linoléico, C _{18:2 cis-9, -12}	3.81	4.18	4.27	0.17	NS	NS	NS	NS	NS
Linoléico, C _{18:3 n-3}	0.38	0.41	0.43	0.01	NS	NS	NS	**	NS
AGI	40.4	41.4	39.9	0.47	NS	NS	NS	NS	NS
AGS	48.4	48.7	49.0	0.54	NS	NS	NS	NS	NS
AGMI	37.7	38.4	36.7	0.43	NS	NS	NS	NS	NS
AGPI	4.19	4.6	4.7	0.18	NS	NS	NS	NS	NS
AGS/AGI	1.2	1.17	1.23	0.02	NS	NS	NS	NS	*
IA	0.75	0.72	0.77	0.01	NS	NS	NS	NS	**
IT	2.08	2.05	2.12	0.05	NS	NS	NS	NS	NS

SNG: sólidos no grasos; **AGI:** ácidos grasos insaturados (C_{18:1 cis9}; C_{18:2 cis9 trans12}; C_{18:3n-3}); **AGS:** ácidos grasos saturados (C_{10:0}; C_{12:0}; C_{14:0}; C_{15:0}; C_{16:0}; C_{17:0}; C_{18:0}); **AGMI:** suma de ácidos grasos monoinsaturados (C_{16:1}; C_{18:1 cis9}); **AGPI:** suma de ácidos grasos poliinsaturados (C_{18:2 cis-9 t11}; C_{18:3}); ¹: g 100 g⁻¹ de ácidos grasos; **EM:** energía metabolizable; **IA:** índice de aterogenicidad; **IT:** índice de trombogenicidad; **se:** error estándar de la diferencia de medias; **P:** nivel de significación, *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

Cada kilogramo de almidón ingerido dentro del rango de 2.33 a 6.07 kg vaca día, la eficiencia bruta disminuye -0.197 kg de leche por kg de materia seca ingerida (Figura 22).

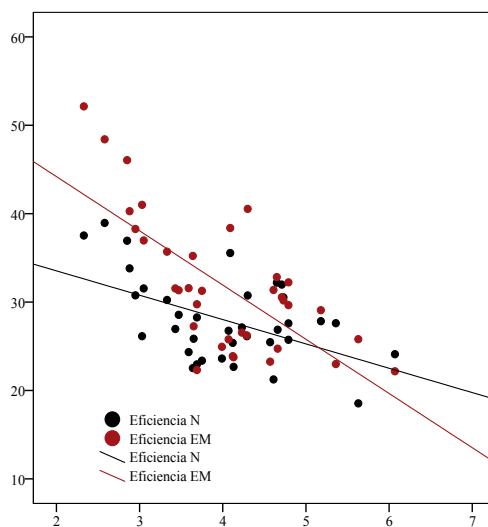
Figura 22.- Relación entre el consumo de almidón (kg d^{-1}) y la eficiencia bruta (kg leche kg^{-1} materia seca ingerida)



$$\text{Kg leche kg}^{-1} \text{ almidón} = 2.21 (0.14) - 0.19 (0.03) \text{ kg almidón d}^{-1}; \pm 0.181 r^2 = 0.47$$

Por el contrario, la eficiencia del uso de la energía metabolizable difiere entre concentraciones de almidón ($P < 0.05$), mayor en la mezcla del 28% con porcentajes medios de 34.5%, sin diferencias entre 35% y 42% y, $P < 0.001$ respecto al consumo de almidón, obteniéndose eficiencias para el conjunto de datos del $31.7 \pm 7.5\%$. De este modo, cada incremento de un kilogramo en el consumo de almidón disminuye -6.13 unidades porcentuales (Figura 23). Sin embargo, la eficiencia de utilización del N (NUE) difiere entre mezclas de concentrado, y sí, ($P < 0.001$) respecto al consumo de almidón (Tabla 15), donde por cada kilogramo de almidón ingerido la NUE disminuye -2.75 unidades porcentuales (Figura 23).

Figura 23.- Relación entre el consumo de almidón (kg d^{-1}) y la eficiencia de utilización del N (NUE, %) y de la energía metabolizable (EUEM, %)

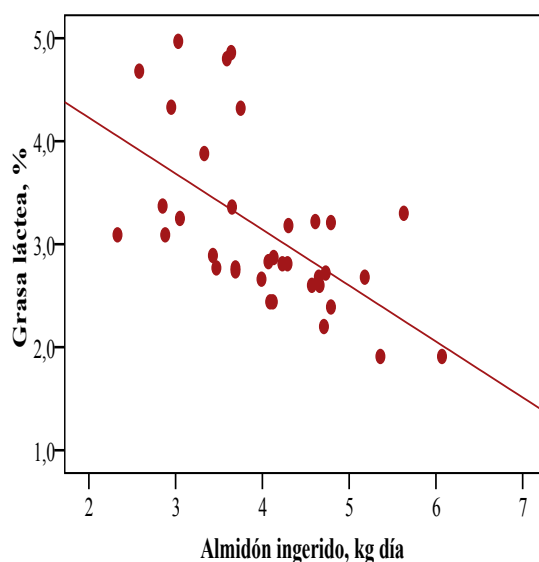


$$\text{Eficiencia N, \%} = 39.0 (3.3) - 2.75 (0.8) \text{ kg almidón } d^{-1}; \pm 4.12 \text{ } r^2=0.26$$

$$\text{Eficiencia EM, \%} = 56.4 (4.3) - 6.13 (1.0) \text{ kg almidón } d^{-1}; \pm 5.43 \text{ } r^2=0.49$$

El principal componente de la leche que disminuye al aumento creciente de almidón es la grasa (Tabla 15), a un ritmo de -0.066 unidades porcentuales por incremento en una unidad porcentual de almidón en la mezcla de concentrado y -0.54 unidades por kilogramo de almidón ingerido, dentro del rango de 2.23 a 6.07 kg vaca y día (Figura 23).

Figura 24.- Relación entre el consumo de almidón y el porcentaje de grasa en la leche



$$\text{Grasa láctea, \%} = 5.31 (0.53) - 0.54 (0.12) \text{ kg almidón } d^{-1}; \pm 0.66 \text{ } r^2=0.34$$

Numerosas investigaciones señalan depresiones de grasa en la leche cuando las dietas contienen elevado porcentaje de concentrado (Sutton *et al.*, 1987; Beauchemin *et*

al., 1991; Sutton *et al.*, 1993; Colin-Schoellen, *et al.*, 1995). Posiblemente, el menor porcentaje y producción de grasa en este experimento conforme aumenta la concentración de almidón en la mezcla, tenga su origen en el menor pH del líquido ruminal, tal como demostró Allen (1997), según la ecuación: $\text{pH}=4.44 + 0.46 \times$ porcentaje de grasa ($r^2=0.39$), concluyendo que pHs ruminales de 5.6 están asociados a porcentajes del 2.5% de grasa. Según esta ecuación, el pH ruminal estimado para las mezclas del 28%, 35% y 42% de almidón son de 6.08, 5.89 y 5.66 respectivamente. En el presente experimento y para el conjunto de tratamientos, cada punto de incremento en la concentración de almidón de la dieta (rango 19.9 a 28.7%), la grasa disminuye -0.16 unidades porcentuales, superior a -0.066 señalado por Jurjanz *et al.* (1998), atribuido a la menor concentración de FND de la dieta de 30.6% en el presente experimento y 36.2% al señalado por aquellos.

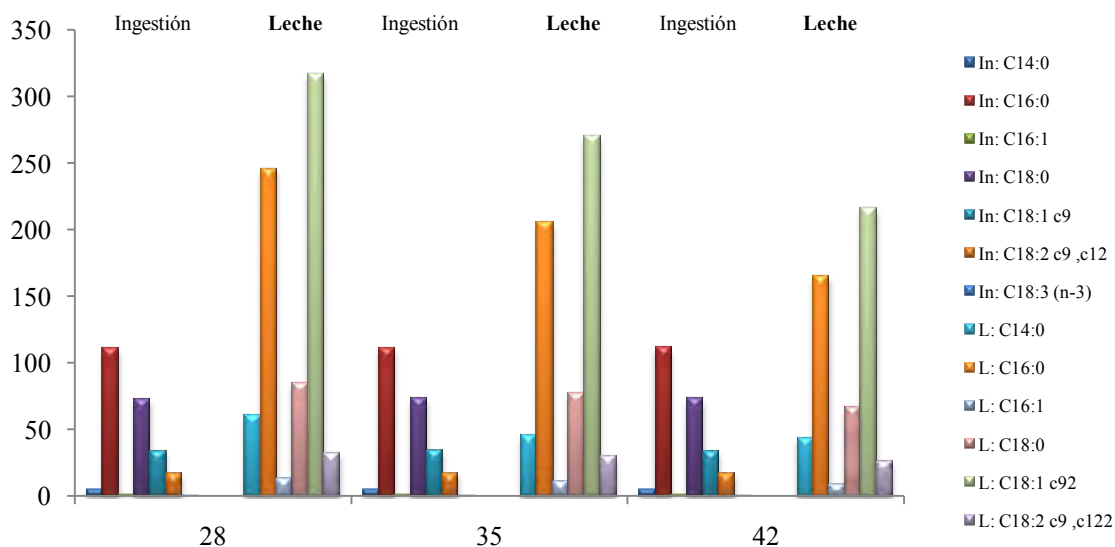
La Figura 25 representa la ingestión y producción en g d^{-1} de los diferentes ácidos grasos. Los de la leche no se observan grandes diferencias entre las concentraciones de almidón en las mezclas de concentrado, ni por el consumo de almidón (Tabla 15). Sin embargo, se obtienen incrementos numéricos del ácido linoleico ($\Omega 6$) y linolénico ($\Omega 3$). Timmen y Patton (1988) señalan variaciones en la composición de los ácidos grasos de la leche cuando las vacas se encuentran en balance energético positivo, sugiriendo, que consumos elevados de concentrado en esta fase de lactación, el patrón en la biohidrogenación de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en el rumen, la concentración de CLA en leche, causan depresión en grasa a menos que sean forrajes de alto contenido en almidón como el ensilado de maíz (Nielsen *et al.*, 2006) no se modifica. Posiblemente, en este experimento los efectos del almidón pudieran ser diluidos por el avanzado estado de lactación (188 ± 13 días). En cualquier caso, la concentración de $\Omega 3$, $\Omega 6$ y de ácido linoleico conjugado (CLA) por litro de leche son 0.133-1.30-0.40; 0.13-1.30-0.28 y 0.11-1.11-0.25 para la mezcla de concentrado del 28%, 35 y 42% respectivamente. La mayor concentración en la mezcla de menor contenido en almidón (Tabla 15), cabe imputarla al mayor porcentaje y producción de grasa ($P < 0.001$).

La suma de los ácidos grasos insaturados (AGI), los saturados (AGS), los monoinsaturados (AGMI) y los poliinsaturados (AGPI) no difieren entre concentraciones de almidón ni el consumo del mismo (Tabla 15), con porcentajes medios de $40.6 \pm 1.9\%$; $48.7 \pm 1.6\%$; $37.6 \pm 1.7\%$ y $4.5 \pm 0.69\%$ respectivamente. Para los saturados, los resultados aquí obtenidos son inferiores a 56.07% señalado por

Baultusnikienè *et al.* (2008), similares a 5.24% para los AGPI y superior proporción de CLA de 0.51% que los del presente trabajo de 1% (Tabla 15), también con raciones totales mezcladas. La relación AGS:AGI es similar entre concentrados (1.2 ± 0.1).

Los índices de aterogenicidad (IA) y trombogenicidad (IT) estimados no son modificados por la concentración de almidón en los concentrados ni el consumo del mismo, con valores medios de 0.75 ± 0.05 y 2.09 ± 0.18 respectivamente.

Figura 25.- Ingestión de ácidos grasos (In) y los producidos en leche (L) ambos en gramos vaca y día, según la concentración en proteína de la mezcla del concentrado



3.3. Balance de fósforo

3.3.1. Introducción

El ganado lechero requiere un suministro adecuado de fósforo para la remineralización del hueso, secreción de leche, metabolismo energético, transporte de ácidos grasos, síntesis de fosfolípidos, metabolismo de los aminoácidos y síntesis de proteína (NRC, 2001). De todos los minerales esenciales, el fósforo representa el mayor potencial de riesgo medioambiental vía contaminación de la superficie del agua (NRC, 2001). En los rumiantes, la mayoría del fósforo excretado procede de las heces (69% del ingerido); 30% en leche y 1% de la orina (Amaral, 2000).

Las estrategias para estimar los parámetros nutritivos, su relación con el bienestar animal y medioambiental han progresado ampliamente en los últimos años. Entre los diferentes modelos usados para tal fin está el “MOLLY”, específico para vacas lecheras (Baldwin *et al.*, 1987). El “LES” es un modelo dinámico con nuevos aspectos para la predicción de aminoácidos duodenales, flujo y producción de ácidos grasos volátiles propuesto por Lescoat y Sauvant, (1995); y el *Net Carbohydrate and Protein*

System (CNCPS 5.0) propuesto por Fox *et al.* (2003), sin ser un modelo dinámico, tiene la ventaja de incluir condiciones medioambientales y de manejo.

El camino más rápido para reducir la excreción de P al medio ambiente es limitar su exceso en la dieta. El miedo a que la reproducción disminuya hace incrementar el aporte (Carstairs *et al.*, 1980; Steevens *et al.*, 1981; de Boer *et al.*, 1981; Call *et al.*, 1987; Brodison *et al.*, 1989; Brintrup *et al.*, 1993; Wu y Satter, 1999).

El objetivo de este experimento se centra en estudiar los efectos del porcentaje de fósforo incluido en el concentrado de vacas lecheras sobre la excreción en heces, producción y calidad de la leche.

3.3.2. Consumo de materia seca

La mayoría de las investigaciones no señalan efectos negativos sobre el consumo de materia seca a incrementos graduales de fósforo (Brintrup *et al.*, 1993; Valk y Sebek, 1999; Wu y Satter, 2000), pero sí cuando es deficitario (Ternouth, 1990); posiblemente debido a reducciones de la actividad microbiana del rumen. Autores como Valk y Sebek (1999) observaron descensos de consumo en dietas de 0.24% de fósforo.

La Tabla 16 señala el consumo de nutrientes para cada concentración de fósforo inducido en la mezcla de concentrado.

Tabla 16.- Ingestión de nutrientes

	Mezcla concentrados				P	Significación			
	0.5%	0.65%	0.85%	et		Fósforo ingerido d ⁻¹	Con * Fos ingerido	L	C
MS, kg d ⁻¹	18.7	20.0	19.2	0.10	**	***	***	NS	NS
MO, kg d ⁻¹	17.3	18.4	17.7	0.4	***	***	***	NS	NS
EM, MJ d ⁻¹	250	260	254	5.09	NS	***	NS	NS	NS
PB, kg d ⁻¹	2.98	3.12	2.86	0.03	***	***	***	NS	NS
PDR, kg d ⁻¹	1.61	1.83	1.74	0.02	***	***	***	NS	NS
PNDR, kg d ⁻¹	1.37	1.28	1.11	0.04	***	***	***	***	NS
FND, kg d ⁻¹ kg	7.32	7.82	6.45	0.25	***	***	***	NS	**
NDR MJ ⁻¹ EM	1.02	1.12	1.09	0.02	NS	***	**	NS	NS
FAD, kg d ⁻¹	4.45	4.84	4.37	0.15	**	***	***	NS	NS
Almidón, kg d ⁻¹	3.66	4.11	4.05	0.005	NS	***	***	NS	NS
MOD _{inv} , kg d ⁻¹	15.9	16.5	16.1	0.32	NS	***	NS	NS	NS
Fósforo, g d ⁻¹	73.7	90.8	105.4	0.49	***	-	-	***	NS
CNF, kg d ⁻¹	7.25	7.72	7.57	0.01	***	***	***	NS	NS
CNF:FND	1.03	0.99	1.19	0.04	***	NS	***	NS	*
GB, g d ⁻¹	807	961	834	3.82	*	***	***	NS	NS
C _{14:0} , g d ⁻¹	55.4	63	60.5	0.03	NS	***	***	NS	NS
C ₁₆ , g d ⁻¹	185	191	190	0.68	NS	***	***	NS	NS
C _{16:1} , g d ⁻¹	1.75	1.87	1.79	0.008	NS	***	***	NS	NS
C _{18:0} , g d ⁻¹	92.5	98.4	94.1	0.45	NS	***	***	NS	NS
C _{18:1 c9} , g d ⁻¹	113.3	114.6	108.6	0.21	NS	***	***	NS	NS
C _{18:2 c9 c12} , g d ⁻¹	187.8	198.6	195.5	0.10	NS	***	***	NS	NS
C _{18:3 (n-3)} , g d ⁻¹	73.4	78.2	74.6	0.2	*	***	***	NS	NS
C _{20:0} , g d ⁻¹	1.37	1.46	1.41	0.008	NS	***	***	NS	NS

MS: materia seca; **MO:** materia orgánica; **EM:** energía metabolizable; **PB:** proteína degradable en rumen; **PNDR:** proteína no degradable en rumen; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **NDR/MJ EM:** nitrógeno degradable en rumen por megajulio de energía metabolizable; **MOD:** materia orgánica digestible; **GB:** grasa bruta; **C_{14:0}:** Mirístico; **C₁₆:** Palmítico; **C_{16:1}:** Palmitoleico; **C_{18:0}:** Esteárico; **C_{18:1 c9}:** Oleico; **C_{18:2 c9 c12}:** Linoleico; **C_{18:3 (n-3)}:** Linolénico; **C_{20:0}:** Aráquico; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

El consumo de materia seca y fibra ácido detergente difieren ($P < 0.01$); $P < 0.001$ la materia orgánica, la proteína bruta, la proteína degradable y no degradable, la fibra neutro detergente y el fósforo entre mezclas de concentrado, con ingestiones medias diarias de 19.3 ± 2.5 kg; 4.55 ± 0.72 kg; 17.8 ± 2.3 kg; 2.99 ± 0.37 kg; 1.73 ± 0.41 kg; 1.25 ± 0.20 kg; 7.19 ± 1.4 kg y 86.9 ± 18.4 g respectivamente.

Para la materia seca los resultados son coincidentes con los señalados en la literatura (Stevens *et al.*, 1971; Kincaid *et al.*, 1981; 1981; Brodison *et al.*, 1989; Brintrup *et al.*, 1993; Dhiman *et al.*, 1996; Wu y Satter, 2000; Wu *et al.*, 2000; Knowlton y Herbein, 2002), aumentando el consumo al incrementar el aporte de P en las dietas del vacuno lechero. Valk y Beynen (2003) proponen la ecuación [$1.9 + 1.43$ kg leche] para satisfacer las necesidades de P y al mismo tiempo, minimice la excreción. Según este modelo la ingestión diaria de P para el conjunto de dietas debería ser 34 g vaca, equivalente a una concentración en la materia seca de la ración del 0.18% sobre materia seca, inferior a 0.36% señalado por el NRC (2001).

Para el conjunto de la dieta y dentro de cada mezcla de concentrado, la concentración de fósforo resultó ser 3.69, 4.44 y 5.35 g kg⁻¹ de materia seca ($P < 0.001$) (Tabla 16), superiores a 4.1 g kg⁻¹ en las dos últimas suministrado en las explotaciones de Cantabria (Capítulo 1, Tabla 6 “*Alimentación y producción de leche*”). Satter y Wu, (1999) concluyen que los nutricionistas recomiendan 4.8 g kg⁻¹ MS, 25% superior al señalado por el NRC (1989). Otros, como Shaver y Howard, (1995); Sink *et al.* (2000) señalan que la sobrealimentación de fósforo es una práctica común en las explotaciones de leche.

Durand y Komisarczuk (1998) recomiendan que el fósforo disponible del alimento y el reciclaje salivar, puede ser al menos de 5 g kg⁻¹ de materia orgánica digestible. Según aquella proporción y el consumo de materia orgánica digestible, la concentración se sitúa al límite (4.7 ± 0.59 g kg⁻¹) en mezcla de concentrado que contiene el 0.50% de fósforo; aceptable la del 0.65% (5.5 ± 0.64 g kg⁻¹) y ligeramente mayor (6.6 ± 0.94 g kg⁻¹) con 0.8% de fósforo. Sin embargo, el consumo de materia orgánica digestible no incrementó al aumentar la ingesta de fósforo, atribuido a que en ningún caso el P ingerido fue limitante. Estudios realizados *in vitro* señalan en dietas que contienen 0.12% de P sobre materia seca, concentraciones de P en el líquido ruminal superior a 200 mg P L⁻¹, considerablemente mayor que 20 a 80 mg P L⁻¹ necesario para la máxima digestión de la celulosa (Hall *et al.*, 1961 y Chicco *et al.*, 1965).

3.3.3. Composición química y excreción de heces

La concentración de materia seca, nitrógeno, N-amoniaco; fibra ácido detergente, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y fósforo no difieren entre concentraciones de fósforo incluido en la mezcla de concentrado o consumo del mismo (g d^{-1}), obteniéndose valores medios de $19.5 \pm 2.0\%$; $27.2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$; $5.2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$; $42.7 \pm 7.1\%$; $85.4 \pm 3.4\%$; 7.16 ± 0.53 ; $8.4 \pm 7.7 \text{ mS cm}^{-1}$ y $1.12 \pm 0.36\%$ respectivamente (Tabla 17).

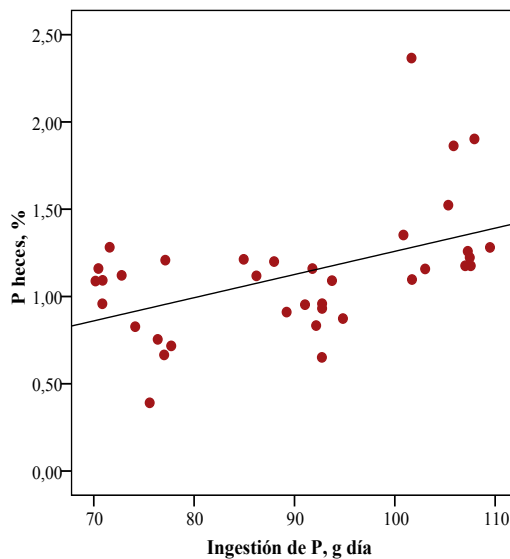
Tabla 17.- Composición físico-química de las heces

	Mezcla concentrados				Significación				
	0.5%	0.65%	0.80%	et	P	Fósforo ingerido d^{-1}	Con * Fós ingerido	L	C
MS, %	19.9	20.2	18.6	0.56	NS	NS	NS	NS	NS
N, %	0.56	0.54	0.52	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
N, $\text{g kg}^{-1} \text{ MS}$	28.3	26.9	28.4	0.99	NS	NS	NS	NS	NS
N-NH ₃ , $\text{g kg}^{-1} \text{ MS}$	5.76	5.34	4.59	0.43	NS	NS	NS	NS	NS
FND, % sms	62.9	62.0	63.4	1.39	*	NS	*	NS	NS
FAD, % sms	42.4	41.4	44.3	1.96	NS	NS	NS	NS	NS
MO, % sms	86.0	85.3	84.9	0.95	NS	NS	NS	NS	NS
pH	7.1	7.16	7.21	0.14	NS	NS	NS	NS	NS
CE, mS cm^{-1}	7.49	6.7	11.0	2.19	NS	NS	NS	NS	NS
C:N	17.9	18.6	17.6	0.64	NS	NS	NS	NS	NS
Fósforo, % sms	0.93	0.99	1.44	1.12	NS	*	NS	***	NS

MS: materia seca; **N:** nitrógeno; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **MO:** materia orgánica; **CE:** conductividad eléctrica; **C:N:** relación carbono:nitrógeno; **sms:** sobre materia seca; **P:** nivel de significación, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

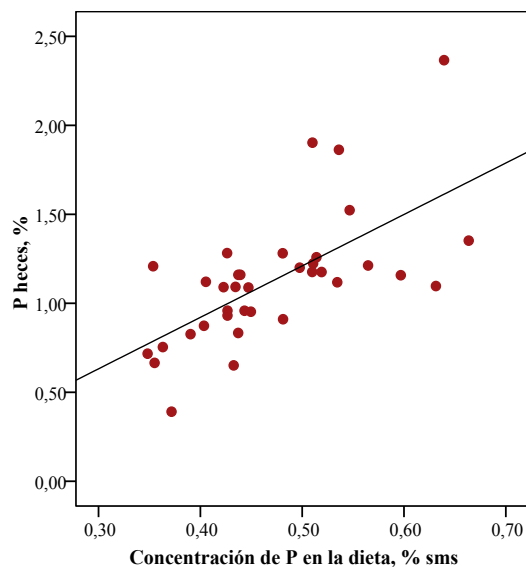
La concentración de fósforo de las heces aumentó linealmente ($P < 0.05$) conforme lo hizo la ingestión, a un ritmo de 0.013 unidades porcentuales por gramo de fósforo ingerido y dentro del rango de 70.5 a 109.5 g d^{-1} (Figura 26), equivalentes a 1.48 ± 0.15 ; 1.81 ± 0.25 y $2.53 \pm 0.33 \text{ g P excretado por kilogramo de materia seca ingerida}$. La pendiente aquí obtenida es similar a 0.0106 señalada por Wu *et al.* (2000). De igual forma, la concentración de fósforo de la dieta aumentó +2.89 unidades la concentración de fósforo en las heces (Figura 27).

Figura 26.- Relación entre el consumo de fósforo (g d^{-1}) y la concentración en heces



$$\text{Fósforo heces, (\%)} = -0.069 (0.37) + 0.013 (0.004) \text{ g P ingerido } \text{d}^{-1}; \pm 0.39 \text{ } r^2=0.24$$

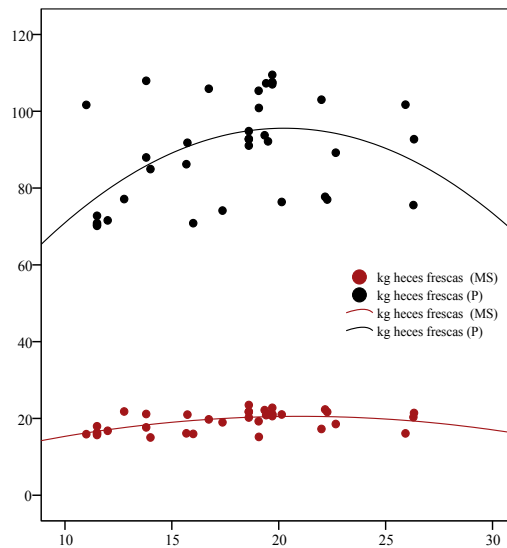
Figura 27.- Relación entre la concentración de fósforo en la dieta y en heces



$$\text{Fósforo heces, (\%)} = -0.235 (0.28) + 2.89 (0.58) \% \text{ P dieta}; \pm 0.28 \text{ } r^2=0.42$$

La excreción total de heces frescas o en forma de materia seca aumenta significativamente conforme incrementa la concentración de fósforo en la mezcla de concentrado ($P < 0.05$) y $P < 0.001$ respecto al fósforo ingerido (Tabla 18), con excretas medias de 17.8 ± 4.3 y 3.5 ± 1.04 kg día respectivamente. Las relaciones obtenidas son de tipo cuadrático respecto al P ingerido, sin diferencias con el consumo de materia seca (Figura 28).

Figura 28.- Relación entre la excreción de heces frescas con el consumo de fósforo (g d^{-1}) y la ingestión de materia seca (kg d^{-1})



Las digestibilidades aparentes de la materia seca, materia orgánica, ácido y neutro detergente y nitrógeno no difieren entre concentraciones de fósforo incluido en la mezcla de concentrado o el consumo, con valores medios de 0.81 ± 0.04 ; 0.83 ± 0.04 ; 0.66 ± 0.12 ; 0.68 ± 0.09 y 0.79 ± 0.05 . Por el contrario, la digestibilidad *in vivo* del fósforo es diferente ($P < 0.001$) en relación a la concentración de P en la mezcla de concentrado y $P < 0.05$, el consumo, obteniéndose valores medios de 0.40 ± 0.03 , similares a 0.38 señalado por Salcedo (2007) en novillas de primer parto y 0.40 (Weiss y Wyatt, 2004) sobre un total de 8 experimentos implicando 39 tratamientos. Autores como Morse *et al.* (1992); Spiekers *et al.* (1993) y Brintrup *et al.* (1993) concluyen que rara vez la digestibilidad del fósforo en rumiantes excede a 0.50.

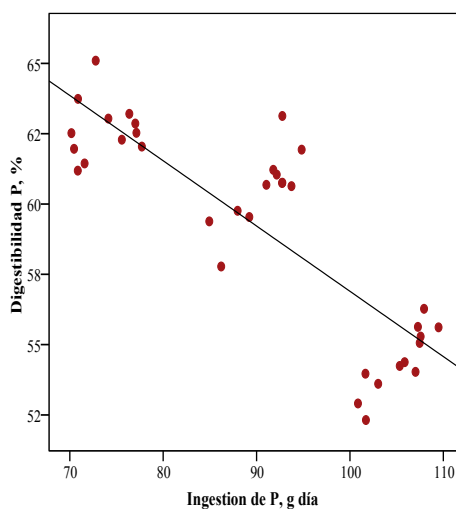
Tabla 18.- Producción y excreción de N en heces y orina y digestibilidad *in vivo*

	Mezcla concentrados				Significación				
	0.5%	0.65%	0.80%	et	P	Fosforo Ingerido d ⁻¹	Con * Fos ingerido	L	C
Heces frescas, kg d ⁻¹	16.2	18.4	18.8	1.01	*	***	*	NS	NS
Heces, kg MS d ⁻¹	3.29	3.72	3.5	0.26	NS	***	NS	NS	NS
dMS _{vivo}	0.82	0.81	0.81	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, N g d ⁻¹	90.1	100.9	97.4	6.2	NS	**	NS	NS	NS
N heces, % N consumido	18.8	20.4	21.5	1.3	NS	NS	NS	NS	NS
Heces kg kg ⁻¹ MS ingerida	0.17	0.18	0.18	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
Heces kg ⁻¹ leche	0.73	0.79	0.92	0.06	***	NS	**	NS	NS
Heces, MS kg ⁻¹ leche	0.14	0.16	0.17	0.01	*	NS	NS	NS	NS
dN _{vivo}	0.81	0.79	0.78	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
Orina, N g d ⁻¹	270	273	243	13.9	NS	***	NS	NS	NS
Orina, N % N ingerido	56.3	54.0	52.8	2.4	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, FND kg d ⁻¹	2.04	2.31	2.23	0.16	NS	***	NS	NS	NS
dFND _{vivo}	0.71	0.70	0.64	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, FAD kg d ⁻¹	1.37	1.54	1.56	0.13	NS	*	NS	NS	NS
dFAD _{vivo}	0.69	0.67	0.62	0.03	NS	NS	NS	NS	NS
MO, kg d ⁻¹	2.84	3.18	2.96	0.23	NS	***	NS	NS	NS
dMO _{vivo}	0.83	0.82	0.83	0.01	NS	NS	NS	NS	NS
Heces, P g d ⁻¹	27.5	35.8	48	0.59	***	*	NS	***	***
dP _{vivo}	0.62	0.60	0.59	0.07	***	***	NS	***	***
P heces, % P consumido	37.3	39.4	45.5	0.04	***	***	***	***	***

dMS: digestibilidad *in vivo* de la materia seca; **dMO:** digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; **dN:** digestibilidad *in vivo* del N; **dFND:** digestibilidad *in vivo* de la fibra neutro detergente; **dFAD:** digestibilidad *in vivo* de la fibra ácido detergente; **dP:** digestibilidad *in vivo* del fósforo; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

Conrad (1999) obtiene relaciones lineales entre el consumo de fósforo y su digestibilidad, con pendientes de 0.47, superiores a 0.23 del presente trabajo (Figura 29) y similar a 0.21 señalada por Salcedo (2007) en vacas multíparas alimentadas con ensilados de hierba y concentrados. Por su parte Knowlton y Herbein (2002), señalan descensos de 16.2 por ciento cuando el consumo de fósforo aumenta de 84.7 a 161.5 g día. Posiblemente, el bajo coeficiente de digestibilidad del fósforo en el presente trabajo, tenga su origen en el avanzado estado de lactación (257±14 días), reduciéndose ampliamente las necesidades, contrario a lo que ocurre al principio de lactación, donde las vacas son capaces de movilizar más P de las reservas corporales (Knowlton y Herbein, 2002).

Figura 29.- Relación entre el consumo de fósforo (g d^{-1}) y su digestibilidad (%)



$$\text{Digestibilidad fósforo, (\%)} = 80.1 (2.34) - 0.23 (0.02) \text{ g P ingerido } \text{d}^{-1}; \pm 2.05 \text{ } r^2=0.70$$

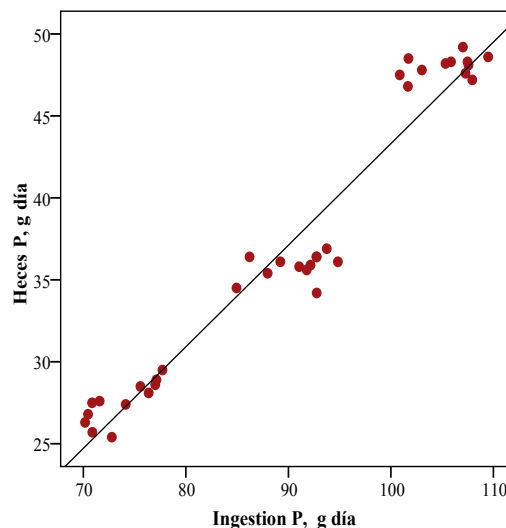
Los trabajos de Wu *et al.* (2000) indican relaciones lineales entre el P ingerido y el excretado del tipo: $-2.5 + (0.64 \text{ P ingerido g d}^{-1})$, sugiriendo que 0.36 g son utilizados por gramo de P ingerido. Arriaga *et al.* (2009) también obtienen relaciones lineales entre el consumo de fósforo y la excreción del tipo: $19.9 + (0.46 \text{ P ingerido g d}^{-1})$, similar a la del presente trabajo. La pendiente de 0.62 aquí obtenida (Figura 30) es similar a la indicada por Wu *et al.* (2000), ligeramente superior a 0.59 y menor a 0.7 en vacas primíparas ($32.1 \text{ g P ingerido d}^{-1}$) y múltiparas ($81.3 \text{ g P ingerido d}^{-1}$), alimentadas con ensilados de hierba y suplementadas con 3.6 kilogramos de materia seca en forma de concentrado (Salcedo, 2007). La ecuación indicada por este último autor en vacas lecheras de primera lactación es del tipo: $0.12 + (0.59 \text{ P ingerido g d}^{-1})$, $\pm 2.8 \text{ } r^2=0.69$.

Al comparar los resultados del P excretado en heces de las diferentes dietas estudiadas, con las ecuaciones de Wu *et al.* (2000) y Salcedo (2007), en ambos casos se obtiene un buen coeficiente de determinación ($r^2=0.94$); pero la primera ecuación sobreestima la excreción de P un 32.6% y 30.2% la segunda. Posiblemente, la diferencia entre los valores observados y estimados a partir de dichas ecuaciones, tenga su origen en la propia digestibilidad de la materia seca de la dieta, 66.7% la indicada por Wu *et al.* (2000) y 63.8% la segunda (Salcedo, 2007); mientras la del presente trabajo es de $81.8 \pm 0.04\%$ (Tabla 18), sin relaciones entre la digestibilidad de la materia seca *in vivo* y la excreción diaria de fósforo.

La excreción de P en heces aumenta conforme lo hace la concentración de P de la mezcla de concentrado ($P < 0.001$) y, $P < 0.05$ respecto a la ingestión, con valores

medios de 27.5; 35.8 y 48 g d⁻¹ para los concentrados que contienen el 0.5%, 0.65% y 0.80% respectivamente (Tabla 18). En términos porcentuales y respecto al P ingerido, equivale a 40.7±3.7%, mínimos de 37.3±1.05 y máximos de 45.5±1.17% en las dietas que contienen los concentrados del 0.5% y 0.80% de P respectivamente. Porcentajes inferiores a 59.3 g d⁻¹ en las explotaciones lecheras del País Vasco (Arriaga *et al.*, 2009) y 51.8±4.6% en las de Cantabria. Los trabajos de Morse *et al.* (1992) Metcalf *et al.* (1996) y Khorasani *et al.* (1997) reflejan descensos del 23% cuando se reduce el 40% la concentración de P en la dieta. En el presente experimento (Figura 30), se observan descensos del 28% de P en heces cuando la ingestión de P se reduce un 50%, equivalentes a 4.52 kg vaca y año.

■ **Figura 30.-** Relación entre la ingestión de fósforo (g d⁻¹) y el excretado en heces



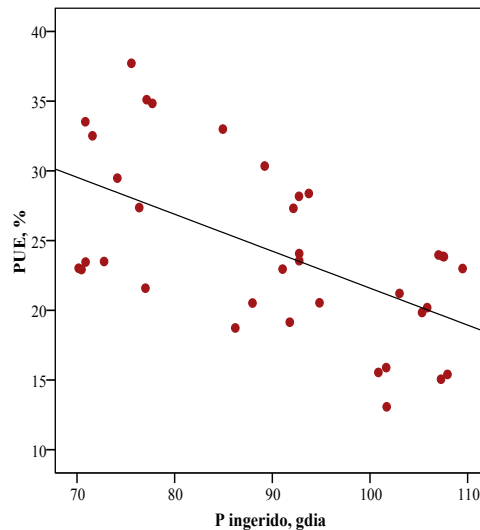
$$\text{Fósforo heces } g \text{ d}^{-1} = -18.6 (2.35) + 0.62 (0.02) g \text{ P ingerido } \bar{d}; \pm 2.05 \text{ } r^2=0.94$$

La eficiencia media de utilización del fósforo (PUE) para el conjunto de tratamientos es de 24.2±6.1%, con máximos de 28.7±5.8% en el concentrado del 0.5% de P y mínimos de 19.2±4.03% el de 0.80% de P, observándose diferencias significativas a nivel de concentración de fósforo (P<0.001) y, P<0.05 respecto al P ingerido. Los coeficientes de PUE obtenidos en el presente trabajo (Tabla 18), son inferiores a 38.5% señalados por Wu *et al.* (2000) en vacas lecheras mediando 308 días alimentadas con raciones totales mezcladas a tres concentraciones de P diferente (0.35%, 0.40% y 0.49%); a 21.6% en dietas con ensilados de hierba y 3.6 kg de concentrado con 88 días en leche (Salcedo, 2007); inferiores a 33% en explotaciones lecheras del País Vasco (Arriaga *et al.*, 2009) y 34% en las explotaciones de Cantabria.

Para el conjunto de dietas ensayadas, cada gramo de fósforo superior a 70 g d⁻¹ y dentro del rango 70 a 109.5 g d⁻¹, la eficiencia de utilización del P (PUE) disminuyó -0.26 unidades porcentuales (Figura 31), ligeramente inferior a -0.34 indicado por Wu *et al.* (2000). La ecuación señalada en la Figura 31 presenta similar pendiente a la obtenida en Cantabria (*Capítulo 2*, Figura 9 “*Excreción de N y P*”) de:

$$PUE, \% = 58.4 (1.5) - 0.276 (0.017) \text{ g P ingerido d}^{-1}; \pm 6.17 \text{ r}^2=0.47$$

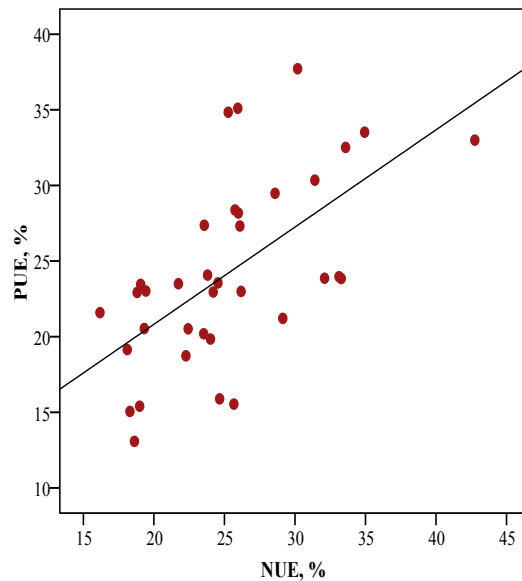
■ **Figura 31.-** Relación entre el consumo de P (g d⁻¹) y la eficiencia (PUE, %)



$$PUE, \% = 48.08 (5.8) - 0.26 (0.064) \text{ g P ingerido d}^{-1}; \pm 5.1 \text{ r}^2=0.33$$

Mejorar el coeficiente de utilización del N (NUE), puede contribuir a estimar y tomar decisiones sobre la suplementación de P en las dietas de vacas lecheras, utilizándose como estrategia a la hora de mejorar el coeficiente de utilización del fósforo (PUE). De este modo, se obtienen relaciones lineales entre la NUE (%) y la PUE (%) (Figura 32), donde aumentos en una unidad porcentual de la NUE, incrementó 0.64 puntos la PUE. Esta pendiente es ligeramente inferior a la obtenida en las explotaciones lecheras de Cantabria de 0.85 (*Capítulo 2*, Figura 13 “*Excreción de N y P*”), ligeramente superior a 0.92 (Arriaga *et al.*, 2009).

■ ■ ■ **Figura 32.-** Relación entre la NUE (%) y PUE (%)



$$PUE, \% = 7.95 (3.7) + 0.64 (0.14) NUE (\%); \pm 4.9 \ r^2=0.37$$

3.3.4. Producción y composición química de la leche

La mayoría de las investigaciones no señalan respuestas positivas en la producción de leche al incrementar la concentración de P en la dieta, excepto cuando es deficitario (Brintrup *et al.*, 1993; Valk y Sebek, 1999 y Wu y Satter 2000). Sin embargo, en vacas primíparas alimentadas 35% por encima de las recomendaciones (0.50% P) durante los primeros 84 días de lactación la producción se deprime (Carstairs *et al.*, 1981).

Pese a no observarse diferencias significativas entre el porcentaje de proteína y concentración de P en las mezclas de concentrado, ni respecto a la ingestión de fósforo, si se apreció una tendencia lineal al aumento gradual de P en los concentrados ($P < 0.01$) (Tabla 19).

En el presente trabajo, ni la producción de leche ni la corregida al 4% graso se vió afectada por la concentración o consumo de fósforo (Tabla 19). La eficiencia bruta media para el conjunto de tratamientos es de 1.16 ± 0.23 kilogramos de leche por kilogramo de materia seca ingerida, sin diferencias entre concentraciones de fósforo del concentrado ni el consumo. Esta baja eficiencia es atribuida al avanzado estado de lactación señalado anteriormente.

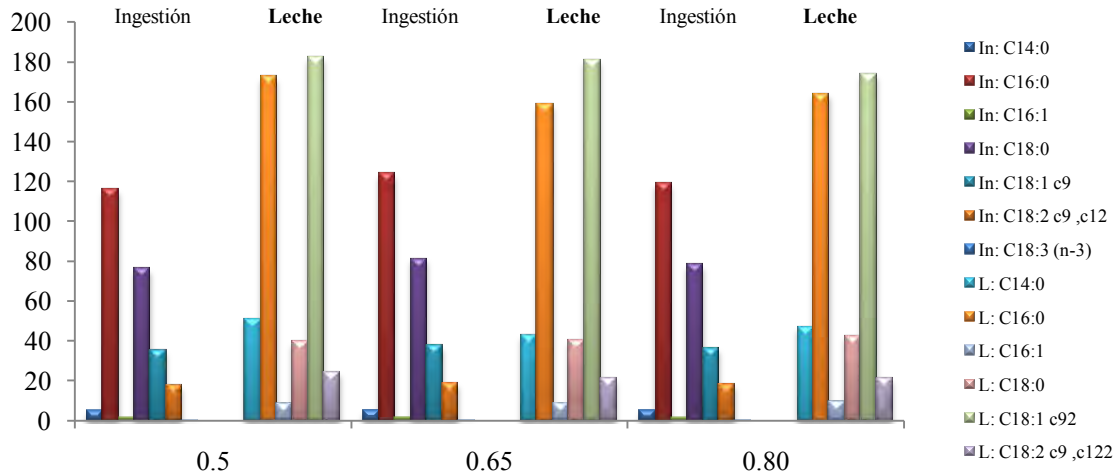
 **Tabla 19.** Producción y composición química de la leche

	0.5%	0.65%	0.80%	et	P	P ingerido d ⁻¹	Con * P ing	L	C
Leche, kg d ⁻¹	22.3	23.6	21.4	1.17	NS	NS	NS	NS	NS
Leche, 4% graso	17.6	17.3	16.5	1.0	NS	NS	NS	NS	NS
Grasa, %	2.46	2.24	2.53	0.09	***	NS	***	NS	NS
Grasa, kg d ⁻¹	0.56	0.53	0.54	0.04	*	NS	**	NS	NS
Proteína, %	3.22	3.32	3.45	0.05	NS	NS	NS	**	NS
Proteína, kg d ⁻¹	0.72	0.78	0.74	0.04	NS	*	NS	NS	NS
SNG, %	8.89	8.99	9.21	0.07	NS	NS	NS	***	NS
SNG, kg d ⁻¹	1.98	2.12	1.97	0.10	NS	*	NS	NS	NS
Urea, mg/dl	32.5	33.5	34.0	0.98	NS	NS	NS	NS	NS
Leche, kg MS ⁻¹	1.19	1.2	1.1	0.06	NS	NS	NS	NS	NS
Eficiencia N, %	24.7	25.5	25.6	1.5	NS	NS	NS	NS	NS
Eficiencia EM, %	23.1	22.5	21.2	1.4	NS	NS	NS	NS	NS
Eficiencia P, %	28.7	24.7	19.2	3.7	***	*	**	***	NS
Ácidos grasos¹, %									
Butírico, C _{4:0}	2.17	2.15	2.08	0.12	***	NS	***	NS	NS
Caprónico, C _{6:0}	1.21	1.09	1.15	0.08	***	NS	***	NS	NS
Caprílico, C _{8:0}	0.64	0.54	0.63	0.05	**	NS	**	NS	NS
Cáprico, C _{10:0}	1.53	1.27	1.55	0.16	**	NS	**	NS	NS
Láurico, C _{12:0}	2.11	1.81	2.15	0.18	NS	NS	NS	NS	NS
Mirístico, C _{14:0}	8.69	8.14	8.42	0.37	NS	NS	NS	NS	NS
Miristoleico, C _{14:1}	0.81	0.92	0.89	0.04	NS	**	NS	NS	NS
Pentadecanoico, C _{15:0}	1.19	1.17	1.17	0.04	NS	NS	NS	NS	NS
Palmítico, C _{16:0}	31.1	30.1	30.7	0.52	NS	NS	NS	NS	NS
Palmitoleico, C _{16:1}	1.53	1.75	1.79	0.09	NS	NS	NS	NS	NS
Margarico, C _{17:0}	0.64	0.63	0.59	0.008	**	NS	*	***	NS
Estéarico, C _{18:0}	6.59	7.67	8.04	0.17	***	*	***	***	NS
Oléico, C _{18:1 cis9}	32.9	34.4	32.7	0.62	***	NS	***	NS	NS
Ruménico, CLA: C _{18:2 cis9 trans11}	0.98	0.91	1.0	0.10	NS	NS	NS	*	NS
Linoléico, C _{18:2 cis-9, -12}	4.36	4.07	3.97	0.11	NS	**	NS	NS	NS
Linolénico, C _{18:3 n-3}	0.39	0.37	0.41	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
AGI	37.6	38.8	37.1	0.62	***	NS	***	NS	NS
AGS	51.8	50.8	52.6	0.45	*	NS	*	NS	*
AGMI	34.4	36.2	34.5	0.65	***	NS	***	NS	NS
AGPI	4.75	4.44	4.39	0.36	NS	NS	NS	NS	NS
AGS/AGI	1.38	1.30	1.43	0.04	**	NS	***	NS	NS
IA	0.99	0.89	0.99	0.02	NS	NS	NS	NS	NS
IT	2.34	2.24	2.41	0.04	***	NS	***	NS	NS

SNG: sólidos no grasos; **AGI:** ácidos grasos insaturados (C_{18:1 cis9}; C_{18:2 cis9 trans12}; C_{18:3n-3}); **AGS:** ácidos grasos saturados (C_{10:0}; C_{12:0}; C_{14:0}; C_{15:0}; C_{16:0}; C_{17:0}; C_{18:0}); **AGMI:** suma de ácidos grasos monoinsaturados (C_{16:1}; C_{18:1 cis9}); **AGPI:** suma de ácidos grasos poliinsaturados (C_{18:2 cis-9 t11}; C_{18:3}); ¹: g 100 g⁻¹ de ácidos grasos; **EM:** energía metabolizable; **IA:** índice de aterogenicidad; **IT:** índice de trombogenicidad; **se:** error estándar de la diferencia de medias; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

La Figura 33 representa la ingestión y producción en g d^{-1} de los diferentes ácidos grasos.

Figura 33.- Ingestión de ácidos grasos (In) y los producidos en leche (L) ambos en gramos vaca día) según la concentración en fósforo de la mezcla del concentrado



La suma de ácidos grasos insaturados (AGI) difiere $P < 0.001$ entre las concentraciones de fósforo incluido en la mezcla de concentrado; $P < 0.05$ los saturados (AGS); $P < 0.001$ los monoinsaturados (AGMI) y $P < 0.01$ la relación AGS/AGI, obteniéndose valores medios de $37.8 \pm 2.6\%$; $51.8 \pm 1.9\%$; $35.0 \pm 2.8\%$ y 1.37 ± 0.48 respectivamente; sin diferencias para el fósforo ingerido. Por el contrario, no se observaron diferencias en las concentraciones del ácido linoléico conjugado (CLA), ácido linolénico $\Omega 6$ y linolénico ($\Omega 3$) respecto a la concentración de P en el concentrado y $P < 0.01$ para el linolénico conforme incrementa la ingestión de fósforo.

Las concentraciones de $\Omega 3$, $\Omega 6$ y CLA por litro de leche son 0.099-1.07-0.25; 0.084-0.91-0.20 y 0.106-1.01-0.258 para las mezclas de concentrado del 0.5%, 0.65% y 0.80% respectivamente.

El índice de aterogenicidad (IA) no difiere entre concentraciones de fósforo y, un aumento ($P < 0.001$) del índice de trombogenicidad (IT), en el concentrado de mayor porcentaje de fósforo, imputable al superior porcentaje de grasa en la leche ($P < 0.001$) (Tabla 19).

3.5. Balance de fibra neutro detergente ÷ almidón

3.5.1. Introducción

El consumo de materia seca es la variable más influyente sobre la producción animal (Waldo y Jorgensen, 1981). La utilización óptima de la dieta está influenciada por su composición química y características físicas (Mertens, 1996). Los carbohidratos constituyen a menudo el 70% o más del consumo de materia seca, y son la mayor fuente de energía para las vacas. Desde un punto de vista nutricional, la fibra es definida como la fracción lentamente digestible o indigestible del alimento y ocupa espacio en el tracto gastrointestinal del animal. Biológicamente, la fibra neutro detergente (FND) o su inverso, solubles neutro detergente (SND), son afines al consumo (Sudweeks *et al.*, 1979; Mertens, 1994); densidad del alimento (Mertens, 1980); actividad de masticado o rumia (Cammell y Osbuourn, 1972); digestibilidad (Osbuourn *et al.*, 1974; Van Soest, 1982); tasa de digestión (Smith *et al.*, 1972) y depresión de la digestibilidad asociada con altos niveles de consumo (Mertens, 1983), son factores que directa o indirectamente afectan al consumo.

El NRC (1989) recomienda que el 75% del total de la fibra neutro detergente (FND) proceda del forraje para mantener una función ruminal óptima. Suministrar forrajes de baja calidad a vacas de alta producción manteniendo un 21% de FND del forraje y maximizar el consumo de energía para optimizar la producción de leche puede ser complejo (Slater *et al.*, 1999). La sustitución de concentrados fibrosos por alimentos ricos en almidón en las dietas del vacuno lechero, tiene por objetivo incrementar el consumo de energía. Cuando se sustituye forrajes por cereales (ricos en almidón), la concentración de fibra neutro detergente (FND) de la dieta incrementa al igual que el consumo (Allen, 2000). La digestibilidad aparente del almidón es dos veces superior a la FND (Firkins *et al.*, 2001), incrementando la digestibilidad energética (dE) de la dieta; sin embargo, la de la fibra neutro o ácido detergente, a menudo se reduce (Putnam y Loosli, 1959; Tyrrell y Moe, 1972; Valadares *et al.*, 2000), cuando se reemplaza forrajes por concentrados amiláceos. También la digestibilidad de la fibra se ve a menudo reducida cuando los concentrados ricos en almidón son reemplazados por subproductos como la cascarilla de soja (Ipharraguerre y Clark, 2003). No obstante, incrementos de digestibilidad energética son a menudo menos de lo esperado, sobre todo al modificar la relación forraje:concentrado (Llano y DePeters, 1985; Weiss y Shockey, 1991).

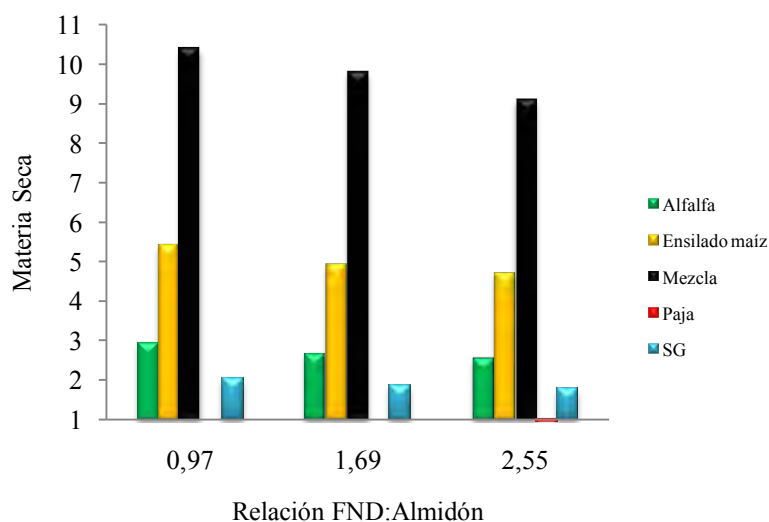
Numerosos estudios demuestran la importancia de optimizar la relación forraje:concentrado en la alimentación de las vacas lecheras (Miller y O'Dell, 1969; McCullough, 1973; Weiss y Shockey, 1991). Mertens (1985, 1987, 1992) propone que la FND puede ser una herramienta valiosa para establecer el límite superior en la relación forraje:concentrado de las raciones del ganado lechero.

El objetivo de este estudio se centra en evaluar los efectos de la relación FND:Almidón en la mezcla del concentrado sobre el consumo, excreción, producción y composición química de la leche.

3.5.2. Consumo de nutrientes

La ingestión de materia seca diaria de cada alimento dentro del conjunto de la dieta es de 5.02 ± 0.85 kg el ensilado de maíz; 2.73 ± 0.46 kg de alfalfa; 1.90 kg un suplemento a base de semilla entera de algodón y grasa protegida y 9.81 ± 1.63 kg de la mezcla de concentrados (20% es alfalfa deshidratada) (Tabla 5a, Figura 34). La mezcla que contiene la relación FND:Almidón_{concentrado} mayor (2.55) aporta 0.42 ± 0.06 kg de paja de cebada al consumo total diario de materia seca con.

Figura 34.- Consumo de materia seca (kg d^{-1}) dentro de cada tratamiento



El consumo de materia seca (MS), materia orgánica (MO), energía metabolizable (EM), proteína bruta (PB), proteína degradable en rumen (PDR), almidón, fósforo (P) y carbohidratos no fibrosos (CNF) no difiere entre concentrados al modificar la relación FND:Almidón_{concentrado}, con ingestas medias de 19.1 ± 3.2 kg; 17.7 ± 2.9 kg; 211 ± 33 MJ; 3.06 ± 0.51 kg; 1.83 ± 0.51 kg; 3.45 ± 0.59 kg; 72.9 ± 12.4 g; 6.27 ± 1.0 kg (Tabla 20). Por el contrario, la proteína no degradable en rumen (PNDR), fibra neutro detergente (FND) y la ácido detergente (FAD) difieren ($P < 0.001$) respecto a

la relación FND:Almidón_{concentrado} y, $P < 0.05$ la materia orgánica digestible (MOD), con valores medios de 1.13 ± 0.06 kg; 7.61 ± 1.65 kg; 4.97 ± 1.04 kg y 15.8 ± 3.3 kg respectivamente. Para PNDR se obtienen incrementos cuadráticos ($P < 0.001$), mayor en la mezcla de 1.69 FND:Almidón_{concentrado}; lineales para la FND y FAD ($P < 0.001$) y descensos para el almidón y la materia orgánica digestible ($P < 0.01$) conforme incrementa la relación FND:Almidón_{concentrado}.

La ingestión media de materia seca observada en el presente trabajo es similar a 20.6 kg d^{-1} señalada por Beckman y Weiss (2005) en vacas lecheras mediando 155 días en de lactación, alimentadas con raciones totales mezcladas y tres niveles en la relación FND:Almidón_{concentrado} de 0.74; 0.95 y 1.27. Por el contrario, estos autores obtienen pendientes positivas al aumentar la relación de la FND:Almidón_{dieta} de 0.7 kg de materia seca al incrementar dicha relación de 0.74 a 0.95 y 1.5 kg de 0.74 a 1.27. En el presente estudio, el consumo de materia seca disminuye 1.8 y 1.17 kilogramos para la relación FND:Almidón_{dieta} de 1.67 a 2.2 y 2.84 a 2.2 respectivamente; sin embargo, el coeficiente de determinación es bajo ($r^2 = 0.09$ $P < 0.05$). Posiblemente, el avanzado estado de lactación (306 ± 12), necesidades nutritivas inferiores y la baja producción de leche ($20 \pm 5.7 \text{ kg d}^{-1}$), unido a dietas muy concentradas con forrajes altamente digestibles (ensilado de maíz y alfalfa), sea la causa de ausencia de respuesta para el consumo de materia seca.

Cuando el contenido de fibra de la dieta es bajo y la densidad energética alta, el consumo es controlado por factores metabólicos (Conrad *et al.*, 1964; Montgomery y Baumgardt, 1965; Baile y Pfander, 1967). En este experimento, la diferencia de energía metabolizable ingerida entre la menor relación FND:Almidón_{concentrado} y la mayor, es solo de 9 MJ.

El consumo de materia seca está inversamente relacionado con la concentración de FND de la dieta según la ecuación: $[\text{kg MS vaca día} = 26.1 (1.59) - 0.172 (0.037) \% \text{ FND dieta}; \pm 2.58, r^2 = 0.38, P < 0.001]$ y, positivamente con la relación FND:CNF $[\text{kg MS vaca día} = 13.8 (2.6) + 6.25 (3.01) \text{ FND:CNF dieta}; \pm 3.1, r^2 = 0.11, P < 0.05]$, similares a -0.12 y 6.31 obtenido por Zabeli *et al.* (2005) en una revisión de 33 experimentos. De igual modo, la pendiente obtenida en el presente experimento es similar a la indicada por Zabeli *et al.* (2005), cuando se expresa el consumo de materia seca en kg/100 kg de peso vivo: $[\text{kg MS vaca día} = 4.05 (0.24) - 0.026 (0.006) \% \text{ FND dieta}; r^2 = 0.38, \pm 2.58, P < 0.001]$. Las respuestas obtenidas están presumiblemente conectadas con el efecto físico del llenado ruminal de la FND y la alta densidad energética de las dietas, a pesar

de encontrarse las vacas al final de lactación. Al principio de lactación, las vacas suelen estar en balance energético negativo, porque la ingestión de energía no cubre las necesidades de lactación (NRC, 2001). La extensión a que el consumo de materia seca en una vaca lactante es regulado por la distensión del retículo rumen, depende de las necesidades energéticas del animal y el efecto de llenado que ofrece la dieta (Allen, 2000).

La ingestión de los ácidos grasos difiere entre mezclas de concentrado ($P < 0.01$) e incrementos lineales conforme aumenta la relación $FND:Almidón_{concentrado}$ ($P < 0.05$) (Tabla 20).

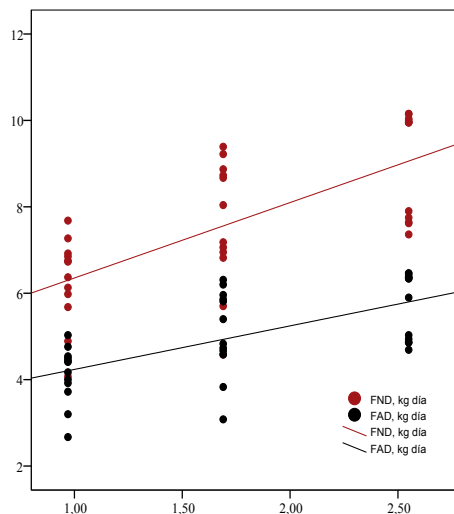
■ ■ ■ **Tabla 20.-** Ingestión de nutrientes

	Mezcla concentrados				Significación		
	0.97	1.69	2.55	et	P	L	C
MS, kg d ⁻¹	20.6	18.8	17.9	0.52	NS	*	NS
MO, kg d ⁻¹	19.1	17.4	16.7	0.48	NS	NS	NS
EM, MJ d ⁻¹	217	207	208	5.68	NS	NS	NS
PB, kg d ⁻¹	3.27	3.02	2.89	0.08	NS	NS	NS
PDR, kg d ⁻¹	2.06	1.72	1.73	0.08	NS	NS	NS
PNDR, kg d ⁻¹	1.21	1.31	1.16	0.002	***	***	***
FND, kg d ⁻¹ kg	6.27	7.6	9.03	0.208	***	***	NS
FND, kg 100 kg PV	0.97	1.17	1.41	0.03	***	***	NS
FAD, kg d ⁻¹	4.11	5.1	5.72	0.13	***	***	NS
Almidón, kg d ⁻¹	3.73	3.44	3.17	0.09	NS	**	NS
MOD _{vivo} , kg d ⁻¹	17.6	15.6	14.2	0.52	*	**	NS
Fósforo, g d ⁻¹	78.9	72.8	67.1	1.96	NS	**	NS
CNF, kg d ⁻¹	6.73	6.18	5.91	0.17	NS	NS	NS
CNF:FND	1.07	0.81	0.65	0.002	***	***	***
GB, g d ⁻¹	858	793	753	21.7	**	*	NS
C _{14:0} , g d ⁻¹	5.68	5.19	4.95	0.14	NS	*	NS
C ₁₆ , g d ⁻¹	130.9	119.6	114.0	3.3	NS	*	NS
C _{16:1} , g d ⁻¹	1.54	1.41	1.34	0.39	NS	*	NS
C _{18:0} , g d ⁻¹	85.8	78.4	74.8	2.18	NS	*	NS
C _{18:1 c9} , g d ⁻¹	39.8	36.4	34.7	1.01	NS	*	NS
C _{18:2 c9 c12} , g d ⁻¹	20.1	18.4	17.5	0.51	NS	*	NS
C _{18:3 (n-3)} , g d ⁻¹	0.37	0.34	0.33	0.01	NS	*	NS
C _{20:0} , g d ⁻¹	1.54	1.41	1.34	0.04	NS	*	NS

MS: materia seca; **MO:** materia orgánica; **EM:** energía metabolizable; **PB:** proteína degradable en rumen; **PNDR:** proteína no degradable en rumen; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **MOD:** materia orgánica digestible; **GB:** grasa bruta; **C_{14:0}:** Mirístico; **C₁₆:** Palmítico; **C_{16:1}:** Palmitoleico; **C_{18:0}:** Esteárico; **C_{18:1 c9}:** Oleico; **C_{18:2 c9 c12}:** Linoleico; **C_{18:3 (n-3)}:** Linolénico; **C_{20:0}:** Aráquico; **P:** nivel de significación, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

La sustitución de parte de almidón por fibra neutro detergente incrementó, el consumo de FAD y FND ($P < 0.001$), Tabla 20 y Figura 35.

Figura 34.- Relación entre FND:Almidón_{dieta} y el consumo de FND y FAD (kg d⁻¹)



$$FND, \text{ kg d}^{-1} = 2.23 (0.96) + 2.4 (0.41) FND:Almidón \text{ dieta}; \pm 1.25 r^2=0.49$$

$$FAD, \text{ kg d}^{-1} = 1.86 (0.64) + 1.38 (0.27) FND:Almidón \text{ dieta}; \pm 0.80 r^2=0.42$$

Como cabía esperar, el consumo de FND/100 kg de peso vivo es superior ($P<0.001$) en la mezcla de mayor relación FND:Almidón_{concentrado}, con valores medios de 0.97 ± 0.15 ; 1.17 ± 0.22 y 1.41 ± 0.18 para los concentrados de 0.97, 1.69 y 2.55 g FND por gramo de almidón respectivamente. En cualquier caso, la ingesta de FND/100 kg de peso vivo es superior a 0.9%-1.2% señalado por Bach (2002) y Mertens (1985) en la mezcla de concentrado de 2.55 g FND por g de almidón y, similar para 0.97 y 1,69 (Tabla 20).

3.5.3. Composición química y excreción de heces

La concentración de materia seca, nitrógeno, N-amoniaco, fibra neutro detergente, pH, conductividad eléctrica, relación carbono:nitrógeno y fósforo no difiere entre mezclas de concentrado, con medias de $18.4\pm 1.0\%$; $0.54\pm 0.06\%$; $6.0\pm 3.2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}^{-1}$; $68\pm 5.3\%$; $6.7\pm 0.48 \text{ mS cm}^{-1}$; 9.44 ± 6.4 ; 17.2 ± 2.0 ; $0.90\pm 0.16\%$ respectivamente (Tabla 21). Por el contrario, la fibra ácido detergente ($P<0.05$) y la materia orgánica ($P<0.01$) son diferentes, con porcentajes medios de $43.4\pm 3.9\%$ y $86.4\pm 1.4\%$ respectivamente.

La digestibilidad aparente de la materia seca (dMS) y del nitrógeno (dN) difieren $P<0.05$ según la relación FND:Almidón_{concentrado} y, $P<0.001$ la digestibilidad de la materia orgánica (dMO), fibra ácido detergente (dFAD) y neutro detergente (dFND), con valores medios de $80.9\pm 7.2\%$; $78.1\pm 9.08\%$; $82.3\pm 6.7\%$; $67.6\pm 13.8\%$ y $66.5\pm 14.4\%$ respectivamente, observándose en todos los casos descensos lineales conforme aumenta la relación FND:Almidón_{concentrado} (Tabla 22) y Figura 36. Los porcentajes de la dFND

aquí obtenidos son superiores a los señalados por Firkins *et al.* (2001) procedentes de una recopilación de 77 tratamientos. Por su parte Putnam y Loosli, (1959) y Valadares *et al.* (2000) señalan que la digestibilidad de la FND disminuye cuando los concentrados amiláceos sustituyen al forraje; sin embargo, el consumo de materia seca puede incrementar. Otros estudios (Edionwe y Owen, 1989; Cunningham *et al.*, 1993), señalan aumentos cuando se reemplaza almidón por alimentos fibrosos como la cascarilla de soja. En el presente experimento, tanto el consumo de materia seca (kg d^{-1}) como por 100 kg de peso vivo, no difieren entre concentrados de diferente relación FND:Almidón_{concentrado}; si bien, se aprecia descensos numéricos. De este modo, la materia seca ingerida por 100 kg de peso vivo es 3.21 ± 0.41 ; 2.93 ± 0.55 y 2.79 ± 0.44 para la relación FND:Almidón_{concentrado} de 0.97, 1.69 y 2.55 respectivamente.

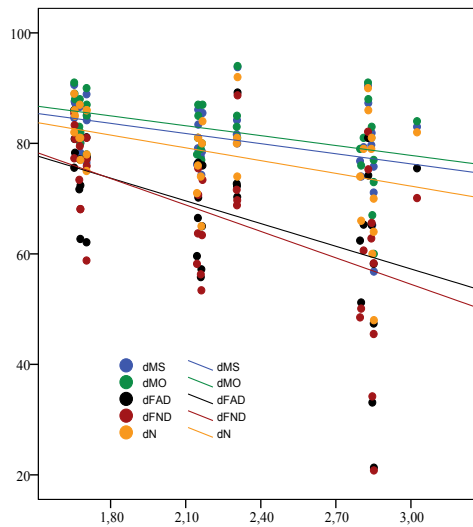
Tabla 21.- Composición físico-química de las heces

	Mezcla concentrados				Significación		
	0.97	1.69	2.55	et	P	L	C
MS, %	18.3	18.2	18.9	0.18	NS	NS	NS
N, %	0.53	0.55	0.53	0.01	NS	NS	NS
N, g kg^{-1} MS	29.3	30.8	28.4	0.61	NS	NS	NS
N-NH ₃ , g kg^{-1} MS	5.33	5.33	7.4	0.54	NS	NS	NS
FND, % sms	66.0	71.3	67.3	0.88	NS	NS	**
FAD, % sms	41.0	45.5	43.7	0.63	*	NS	*
MO, % sms	87.2	86.7	85.4	0.22	**	***	NS
pH	6.87	6.62	6.84	0.08	NS	NS	NS
CE, mS cm^{-1}	9.04	9.09	10.1	1.1	NS	NS	NS
C:N	17.4	16.6	17.7	0.36	NS	NS	NS
Fósforo, % sms	0.82	0.90	0.98	0.02	NS	*	NS

MS: materia seca; **N:** nitrógeno; **FND:** fibra neutro detergente; **FAD:** fibra ácido detergente; **MO:** materia orgánica; **CE:** conductividad eléctrica; **C:N:** relación carbono:nitrógeno; **P:** nivel de significación; **sms:** sobre materia seca; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

La tendencia negativa observada en las diferentes digestibilidades aparentes analizadas, manifiestan el mismo comportamiento que el indicado por Beckman y Weis (2005) en dietas mezcladas variando la relación FND:Almidón de 0.74, 0.95 y 1.27; sin embargo, los resultados del presente experimento (Tabla 23) son superiores a los indicados por aquellos. Por el contrario, las relaciones que se obtienen para dMS, dMO, dFAD, dFND y dN respecto a la ingestión de materia seca son de tipo cuadrático (Figura 37), observándose la digestibilidad máxima en un rango de consumo variable de 17 a 19 kilogramos de materia seca para este tipo de dietas basados en ensilado de maíz y alfalfa deshidrata como fuentes de forraje.

Figura 36.- Relación entre la FND:Almidón_{dieta} y la digestibilidad *in vivo* dMS, dMO, dFAD, dFND y dN (%)



$$dMS, \% = 94.6 (5.2) - 6.1 (2.3) FND:Almidón\ dieta; \pm 6.6 r^2=0.17$$

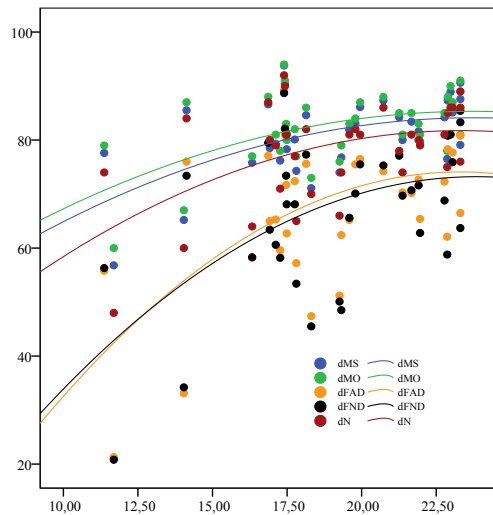
$$dMO, \% = 95.7 (4.9) - 5.9 (2.1) FND:Almidón\ dieta; \pm 6.1 r^2=0.18$$

$$dFAD, \% = 98.3 (9.7) - 13.6 (4.2) FND:Almidón\ dieta; \pm 12.2 r^2=0.24$$

$$dFND, \% = 102.3 (9.8) - 15.9 (4.2) FND:Almidón\ dieta; \pm 12.3 r^2=0.29$$

$$dN, \% = 95.3 (6.6) - 7.7 (2.9) FND:Almidón\ dieta; \pm 8.2 r^2=0.17$$

Figura 37.- Relación entre el consumo de materia seca (kg d⁻¹) y la digestibilidad *in vivo* dMS, dMO, dFAD, dFND y dN (%)



$$dMS, \% = 26.7 + 4.8\ kg\ MS - 0.10\ kg\ MS^2; \pm 6.3 r^2=0.28$$

$$dMO, \% = 31.2 + 4.5\ kg\ MS - 0.096\ kg\ MS^2; \pm 5.8 r^2=0.29$$

$$dFAD, \% = -53.4 + 10.9\ kg\ MS - 0.23\ kg\ MS^2; \pm 11.4 r^2=0.35$$

$$dFND, \% = -43.3 + 9.7\ kg\ MS - 0.20\ kg\ MS^2; \pm 12.4 r^2=0.30$$

$$dN, \% = 10.3 + 6.1\ kg\ MS - 0.13\ kg\ MS^2; \pm 8.04 r^2=0.26$$

Tabla 22.- Producción, excreción de N en heces y orina y digestibilidad *in vivo*

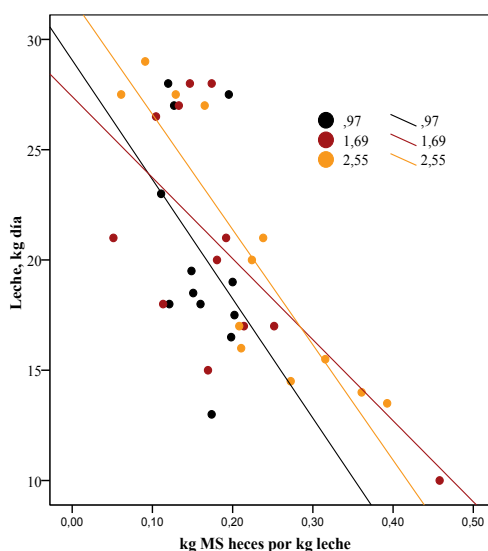
	Mezcla concentrados				Significación			
	0.97	1.69	2.55	et	P	L	C	
Heces frescas, kg d ⁻¹	18.7	19.3	17.9	0.91	NS	NS	NS	
Heces, kg MS d ⁻¹	3.23	3.36	3.99	0.18	NS	NS	NS	
dMS _{vivo}	0.84	0.82	0.76	0.01	*	***	NS	
Heces, N g d ⁻¹	90	102	118	5.8	NS	*	NS	
N heces, % N consumido	17.1	21.7	26.7	1.4	NS	***	NS	
Heces frescas kg kg ⁻¹ MS ingerida	0.91	1.05	1.0	0.04	NS	NS	NS	
Heces kg ⁻¹ leche	0.90	1.01	1.0	0.01	*	NS	NS	
Heces, MS kg ⁻¹ leche	0.16	0.18	0.22	0.01	NS	NS	NS	
dN _{vivo}	0.82	0.78	0.73	0.01	*	***	NS	
Orina, N g d ⁻¹	331	274	235	12.1	**	***	NS	
Orina, N % N ingerido	63.1	55.9	49.3	1.6	***	***	NS	
Heces, FND kg d ⁻¹	2.15	2.42	2.63	0.12	NS	NS	NS	
dFND _{vivo}	0.75	0.67	0.56	0.02	***	***	NS	
Heces, FAD kg d ⁻¹	1.39	1.54	1.62	0.07	NS	NS	NS	
dFAD _{vivo}	0.75	0.69	0.58	0.02	***	***	NS	
MO, kg d ⁻¹	2.73	2.96	3.47	0.15	NS	*	NS	
dMO _{vivo}	0.85	0.82	0.76	0.01	***	***	NS	
Heces, P g d ⁻¹	30.9	31.2	33.6	1.8	NS	NS	NS	
dP _{vivo}	0.67	0.62	0.53	0.02	NS	**	NS	

dMS: digestibilidad *in vivo* de la materia seca; **dMO:** digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica; **dN:** digestibilidad *in vivo* del N; **dFND:** digestibilidad *in vivo* de la fibra neutro detergente; **dFAD:** digestibilidad *in vivo* de la fibra ácido detergente; **dP:** digestibilidad *in vivo* del fósforo; **P:** nivel de significación, * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

El volumen de heces frescas es similar entre dietas, con excreciones medias de 18.7±3.9; 19.3±3.4 y 17.9±5.2, equivalentes a 3.23, 3.36 y 3.99 kg de materia seca (Tabla 22) para las mezclas que contienen la relación FND:Almidón_{concentrado} de 0.97, 1.69 y 2.55 respectivamente. Los resultados aquí obtenidos son inferiores a 39.4, 43.2 y 45.3 kg vaca y día, equivalentes a 1.97, 2.09 y 2.11 kg de heces por kilogramo de materia seca ingerida en dietas que contienen una relación FND:Almidón_{concentrado} de 0.74, 0.95 y 1.27 respectivamente, señalados por Beckman y Weiss (2005), imputable a la menor digestibilidad de la materia seca, con valores medios de 71.2%, 69.9% y 69.1% para las relaciones FND:Almidón señaladas anteriormente.

La excreción de heces en forma materia seca o frescas por kilogramo de leche, no difiere entre mezclas de concentrados (Tabla 22). Sin embargo, cuando la producción de leche disminuye, la excreción de materia seca en heces por kilogramo de leche aumenta (Figura 38). La pendiente media obtenida para el conjunto de dietas es -0.011 kg de materia seca en heces por incremento de un kilogramo de leche, para un rango de producción variable de 10 a 29 kg leche día o -0.034 kg de heces frescas por litro de leche ($r^2=0.31$, P<0.001). Para las heces frescas por kilogramo de leche, los valores aquí obtenidos son inferiores a 1.33 kg kg⁻¹ de leche señalados por Beckman y Weiss (2005). Estos resultados sugieren que incrementando la producción de leche por aumentar la digestibilidad de la dieta, la producción de estiércol vaca y día se reduce.

Figura 38.- Relación entre los kilogramos de materia seca en heces por kilogramo de leche y la producción de láctea por día



$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (FND:Almidón } 0.97) = 0.21 (0.044) - 0.003 (0.002) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.03 r^2=0.15$

$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (FND:Almidón } 1.69) = 0.41 (0.09) - 0.012 (0.004) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.08 r^2=0.42$

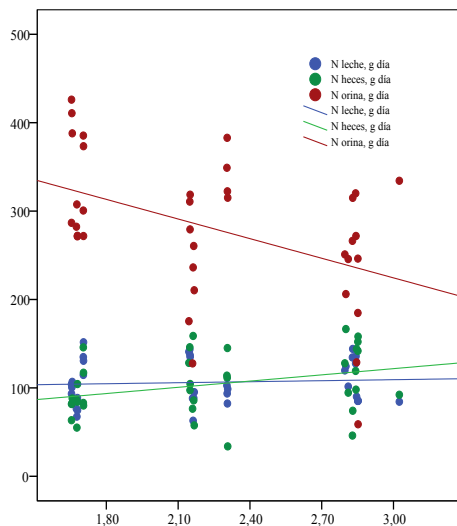
$\text{Kg MS heces kg}^{-1} \text{ leche (FND:Almidón } 2.55) = 0.53 (0.052) - 0.015 (0.002) \text{ kg leche d}^{-1}; \pm 0.04 r^2=0.79$

El N excretado en orina es superior a las heces, con valores medios de 280 ± 80 y $104 \pm 34 \text{ g d}^{-1}$ respectivamente, observándose diferencias significativas ($P < 0.01$) entre concentrados de diferente relación $\text{FND:Almidón}_{\text{concentrado}}$ (Tabla 22). En ambos casos, el porcentaje de N excretado en heces y orina en relación al ingerido es de $21.8 \pm 9\%$ y $56.1 \pm 10.9\%$ respectivamente (Tabla 22), obteniéndose incrementos lineales conforme aumenta la relación $\text{FND:Almidón}_{\text{concentrado}}$. El N de las heces es inferior a 172 g d^{-1} (Beckman y Weiss, 2005). Sin embargo, la tendencia es similar conforme incrementa la relación $\text{FND:Almidón}_{\text{concentrado}}$. Posiblemente mayor concentración de N ligado a la fibra ácido y neutro detergente pudiera no ser digerido y excretado en heces, tal y como se desprende de la menor digestibilidad del N (Tabla 22).

La Figura 39 representa la relación entre la $\text{FND:Almidón}_{\text{dieta}}$ y el N excretado en leche, orina y heces. Al disminuir el aporte de almidón e incrementar la fibra neutro detergente, se produce un efecto contrario al observado cuando se aumenta el consumo de almidón (Figura 20, **Balance Almidón**), por el contrario, no se aprecian relaciones significativas en el N de las heces y leche. De los resultados obtenidos se desprende que la sustitución de parte del almidón por fibra neutro detergente, la suma del N excretado en heces y orina, es superior en dietas de menor relación $\text{FND:Almidón}_{\text{concentrado}}$, con valores medios de $80.3 \pm 3.5\%$ con 0.97 y $76.1 \pm 4.08\%$ las de 2.55, sin diferencias en la

producción de leche y eficiencia de utilización del N (NUE) y de la energía metabolizable (Tabla 23).

Figura 39.- Relación entre la FND:Almidón_{dieta} y el N excretado en leche, orina y heces (g d⁻¹)



2.5.4. Producción y composición química de la leche

Ni la producción de leche ($20.4 \pm 5.3 \text{ kg d}^{-1}$) ni la corregida al 4% ($18.1 \pm 4.6 \text{ kg d}^{-1}$) se ve modificada por la relación FND:Almidón_{concentrado} (Tabla 23). La composición química de la leche tampoco varía respecto al tipo de mezcla, con porcentajes medios de proteína del $3.3 \pm 0.33\%$, $9.06 \pm 0.54\%$ los sólidos no grasos de y 17.5 mg dl^{-1} de urea en leche respectivamente. El porcentaje de grasa incrementa linealmente ($P < 0.001$) a medida que lo hace la relación FND:Almidón_{concentrado} (Tabla 23). La eficiencia bruta, la del nitrógeno y de la energía metabolizable tampoco son diferentes entre concentrados, con valores medios de 1.07 ± 0.24 kilogramos de leche por kilogramo de materia seca ingerida; $21.9 \pm 4.8\%$ la del N y $27.9 \pm 6.9\%$ la energía metabolizable.

Tabla 23. Producción y composición química de la leche

	Mezcla concentrados			Significación			
	0.97	1.69	2.55	et	P	L	C
Leche, kg d ⁻¹	20.4	20.7	20.2	0.92	NS	NS	NS
Leche, 4% graso	17.02	18.8	18.6	0.74	NS	NS	NS
Grasa, %	2.80	3.41	3.60	0.13	***	**	NS
Grasa, kg d ⁻¹	0.57	0.71	0.70	0.03	NS	NS	NS
Proteína, %	3.44	3.25	3.23	0.05	NS	NS	NS
Proteína, kg d ⁻¹	0.70	0.67	0.65	0.02	NS	NS	NS
SNG, %	9.11	9.1	8.96	0.09	NS	NS	NS
SNG, kg d ⁻¹	1.83	1.86	1.81	0.07	NS	NS	NS
Urea, mg/dl	17.2	16.7	18.5	0.71	NS	NS	NS
Leche, kg MS ⁻¹	1.11	1.11	0.99	0.04	NS	NS	NS
Eficiencia, N, %	23.4	22.3	20.1	0.77	NS	NS	NS
Eficiencia EM, %	26.1	30.1	27.4	1.16	NS	NS	NS
Ácidos grasos¹, %							
Butírico, C _{4:0}	2.52	2.84	3.19	0.09	*	***	NS
Caprónico, C _{6:0}	1.4	1.53	1.78	0.08	NS	NS	NS
Caprílico, C _{8:0}	0.70	0.76	0.91	0.05	NS	NS	NS
Cáprico, C _{10:0}	1.57	1.59	1.93	0.12	NS	NS	NS
Láurico, C _{12:0}	1.94	1.84	2.16	0.11	NS	NS	NS
Mirístico, C _{14:0}	7.77	7.48	8.29	0.24	NS	NS	NS
Miristoleico, C _{14:1}	0.66	0.61	0.64	0.03	NS	NS	NS
Pentanoico, C _{15:0}	1.15	0.90	0.88	0.02	NS	***	NS
Palmitico, C _{16:0}	30.08	29.4	29.7	0.12	NS	NS	NS
Palmitoleico, C _{16:1}	1.28	1.24	1.20	0.04	NS	NS	NS
Margarico, C _{17:0}	0.65	0.59	0.56	0.01	NS	**	NS
Esteárico, C _{18:0}	9.34	11.33	11.52	0.26	***	***	NS
Oléico, C _{18:1 cis9}	32.2	31.5	29.3	0.55	NS	*	NS
Ruménico, CLA: C _{18:2 cis9 trans11}	0.81	0.65	0.66	0.03	NS	NS	NS
Linoléico, C _{18:2 cis-9, -12}	4.41	4.42	4.1	0.06	NS	**	NS
Linolénico, C _{18:3 n-3}	0.41	0.41	0.36	0.007	**	***	NS
AGI	37.04	36.4	33.8	0.59	NS	*	NS
AGS	52.5	53.1	55.0	0.39	*	***	NS
AGMI	33.4	32.8	30.5	0.57	NS	*	NS
AGPI	4.82	4.83	4.46	0.06	***	*	NS
AGS/AGI	1.43	1.47	1.64	0.03	*	**	NS
IA	0.95	0.95	1.08	0.03	NS	NS	NS
IT	2.42	2.51	2.79	0.05	**	***	NS

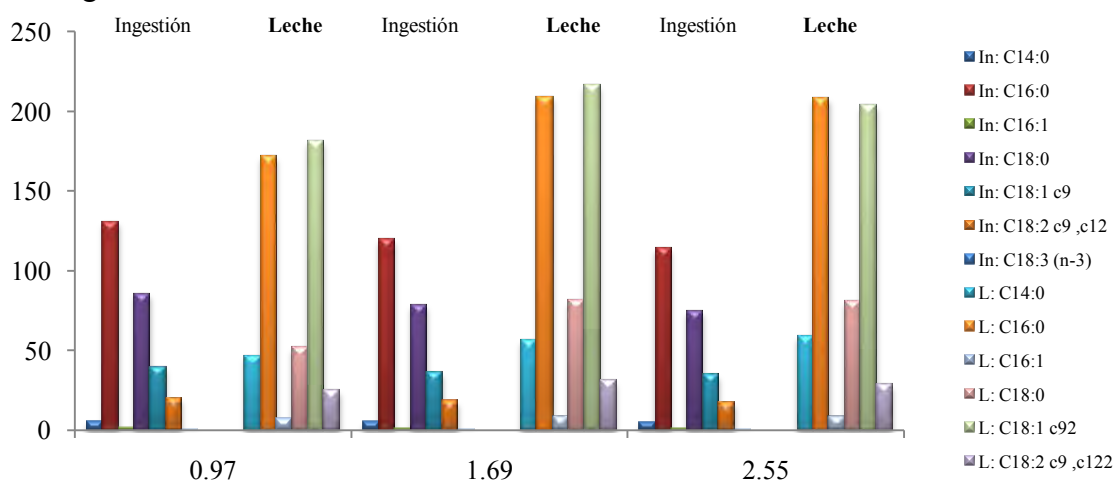
SNG: sólidos no grasos; **AGI:** ácidos grasos insaturados (C_{18:1 cis9}; C_{18:2 cis9 trans12}; C_{18:3n-3}); **AGS:** ácidos grasos saturados (C_{10:0}; C_{12:0}; C_{14:0}; C_{15:0}; C_{16:0}; C_{17:0}; C_{18:0}); **AGMI:** suma de ácidos grasos monoinsaturados (C_{16:1}; C_{18:1 cis9}); **AGPI:** suma de ácidos grasos poliinsaturados (C_{18:2 cis-9 t11}; C_{18:3}); ¹: g 100 g⁻¹ de ácidos grasos; **EM:** energía metabolizable; **IA:** índice de aterogenicidad; **IT:** índice de trombogenicidad; **se:** error estándar de la diferencia de medias; **P:** nivel de significación, *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; **NS:** no significativo; **et:** error típico de la diferencia de medias; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

La Figura 40 representa la ingestión y producción en g d⁻¹ de los diferentes ácidos grasos. Para éstos últimos, solo el butírico (P<0.05) y esteárico (P<0.001) aumentan cuando lo hace relación FND:Almidon_{concentrado}; por el contrario el linoléico (Ω3) disminuye cuando dicha relación incrementa (P<0.01). Sin embargo, el ácido linoleico conjugado (CLA) es inferior en la dieta de mayor contenido en fibra. En cualquier caso, las concentraciones de Ω3, Ω6 y CLA por litro de leche son 0.113-1.22-0.113-0.233; 0.143-1.5-0.21 y 0.131-1.48-0.234 para las mezclas que contienen el 0.97; 1.69 y 2.55 g de FND g⁻¹ de almidón.

El porcentaje de ácidos grasos saturados (AGS) difieren entre concentrados ($P < 0.05$) y $P < 0.001$ los poliinsaturados, sin diferencias significativas los insaturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) (Tabla 23). Por el contrario los gramos por litro de leche para los AGS, AGI, AGMP por litro de leche no difieren según aumenta la relación $FND:Almidón_{concentrado}$ con valores medios de 13.9; 10.7; 0.36 y 10.47 $g\ l^{-1}$.

El índice de aterogenicidad (IA) no manifiesta diferencias entre concentrados y $P < 0.01$ el índice de trombogenicidad (IT), obteniéndose valores medios de 0.99 ± 0.19 y 2.57 ± 0.33 respectivamente.

Figura 40.- Ingestión de ácidos grasos (In) y los producidos en leche (L) en gramos vaca día entre concentrados de diferente relación $FND:Almidón_{concentrado}$



4.- Modelizado de la eficiencia de la NUE y PUE

La Tabla 24 señala la estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización de la eficiencia del nitrógeno (NUE) y fósforo (PUE) para el conjunto de dietas.

Tabla 24. Estadística descriptiva de las variables utilizadas en la modelización del N y P

	Mínimo	Máximo	Rango	Media	Std	Varianza
Días lactación	169	317	148	240	41	1659
MS, kg d ⁻¹	11.4	23.5	12.1	18.7	2.74	7.49
MO, kg d ⁻¹	10.5	21.7	11.2	17.2	2.52	6.35
EM, kg d ⁻¹	119	326	206	233	40	1617
PB, kg d ⁻¹	1.83	3.82	1.99	2.96	0.44	0.19
FND, kg d ⁻¹	3.54	10.1	6.61	6.57	1.59	2.52
FAD, kg d ⁻¹	2.26	6.71	4.45	4.48	1.11	1.23
Almidón, kg d ⁻¹	2.33	6.46	4.13	4.23	0.87	0.75
MOD, kg d ⁻¹	6.97	21.3	14.3	15.5	2.76	7.61
PDR, kg d ⁻¹	0.53	2.48	1.95	1.75	0.43	0.18
PNDR, kg d ⁻¹	0.84	1.69	0.85	1.21	0.15	0.02
P, g d ⁻¹	44.2	109.5	65.3	77.1	14.9	220.7
CNF, kg d ⁻¹	3.8	9.92	6.12	7.61	1.49	2.23
dMS	0.57	0.94	0.37	0.81	0.05	0.0027
dMO	0.60	0.94	0.35	0.82	0.05	0.0025
dFAD	0.21	0.89	0.68	0.62	0.13	0.016
dFND	0.18	0.89	0.70	0.63	0.13	0.016
dN	0.48	0.92	0.44	0.78	0.06	0.004
dP	0.21	0.89	0.68	0.58	0.10	0.012
Leche, kg d ⁻¹	10	30	20	22.7	4.01	16.1
GB leche, %	1.58	4.97	3.39	3.13	0.82	0.67
PB leche, %	2.63	3.97	1.34	3.22	0.25	0.06
CLA, g kg ⁻¹ leche	0.06	0.65	0.58	0.27	0.10	0.01
Ω3, g kg ⁻¹ leche	0.05	0.21	0.16	0.12	0.03	0.001
Ω3, g kg ⁻¹ leche	0.54	2.20	1.66	1.26	0.33	0.11

Las correlaciones de las variables independientes con la variable dependiente “Eficiencia” vienen reflejadas en la Tabla 25. Esto puede sugerir una ecuación de regresión múltiple con bajo poder de predicción (a menos que un bajo grado de multicolinealidad pueda ser demostrado).

La literatura señala la ingestión de N y P las variables más relacionadas con NUE y PUE (CAST, 2002; Cerosaletti *et al.*, 2004; Ipharraguerre y Clark, 2005; Salcedo, 2006; Hollmann, *et al.*, 2008; Arriaga *et al.*, 2009). Sin embargo, para la PUE, otras variables como la producción de leche, son consideradas de interés por ASAE (2005).

4.1.1. NUE

La variable “Leche kg d⁻¹” del modelo “Producción de leche” (**Grupo 1**) presenta correlación positiva y negativa los “días de lactación” (Tabla 25). Las variables del **Grupo 2** del modelo “Ingestión de nutrientes”, la mayoría manifiestan correlaciones negativas (las máximas corresponden al consumo de proteína bruta $r=-0.53$, $P<0.01$ y la mínima de $r=-0.25$, $P<0.01$ la ingestión de proteína degradable en

rumen, PNDR) y, positiva aunque baja ($r=0.25$, $P<0.01$) el consumo de carbohidratos no fibrosos (CNF). Las consideradas dentro del modelo “*Digestibilidad*” (**Grupo 3**) son las de menor coeficiente de correlación (Tabla 25).

Tabla 25.- Correlaciones Pearson entre la variable dependiente “Eficiencia N y Eficiencia P” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor. Entre paréntesis, grupo de cada variable

	NUE		PUE
Leche, kg d ⁻¹ (1)	0.57**	P, g d ⁻¹ (2)	-0.73**
PB, kg d ⁻¹ (2)	-0.53**	Leche, kg d ⁻¹ (1)	0.65**
MO, kg d ⁻¹ (2)	-0.44**	dP (3)	-0.43**
MS, kg d ⁻¹ (2)	-0.44**	MOD, kg d ⁻¹ (2)	-0.42**
MOD, kg d ⁻¹ (2)	-0.44**	PB, kg d ⁻¹ (2)	-0.41**
PDR, kg d ⁻¹ (2)	-0.44**	MO, kg d ⁻¹ (2)	-0.39**
Almidón, kg d ⁻¹ (2)	-0.44**	MS, kg d ⁻¹ (2)	-0.38**
FND, kg d ⁻¹ (2)	-0.43**	dMO (3)	-0.33**
FAD, kg d ⁻¹ (2)	-0.42**	dMS (3)	-0.33**
Días lactación (1)	-0.35**	EM, kg d ⁻¹ (2)	-0.32**
dFAD (2)	-0.35**	dFAD (2)	-0.32**
EM, kg d ⁻¹ (2)	-0.34**	dFND (3)	-0.32**
dFND (3)	-0.35**	PDR, kg d ⁻¹ (2)	-0.31**
dP (3)	-0.29**	dN (3)	-0.25**
dMO (3)	-0.26**	Días lactación (1)	-0.23**
CNF, kg d ⁻¹ (2)	0.25**		
PNDR, kg d ⁻¹ (2)	-0.25**		
dMS (3)	-0.25**		
dN (3)	-0.20*		

NUE: eficiencia de utilización del N (%); PUE: eficiencia de utilización del P (%); (1) Modelo producción de leche; (2) Modelo ingestión nutrientes; (3) Modelo digestibilidad

4.1.1.1. Desarrollo de diferentes modelos

El Modelo del **Grupo 1**, es calculado por regresión simple de “NUE” (Tabla 26) con la variable independiente “Leche, kg d⁻¹”, porque presenta un mayor grado de correlación $r=0.57$ (Tabla 25). La pendiente obtenida es superior a 0.53 en las explotaciones lecheras de Cantabria, observándose coeficientes de determinación similares ($r^2=0.32$ vs. $r^2=0.33$), pero la constante es inferior (12.0 vs. 8.6) imputable al mayor número de días en ordeño (239±40 vs. 175±22) en aquellas. En sistemas de alimentación basado en forrajes (ensilados y pastoreo) y mínimo aporte de concentrado (Salcedo, 2006) obtiene una ecuación similar ($NUE=7.83 + 0.65$ leche d⁻¹; ±5.01 $r^2=0.26$).

Tabla 26.- Análisis de regresión simple de la “NUE” con “Leche kg d⁻¹”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	8.6***	2.01	
Leche, kg d ⁻¹	0.724***	0.087	0.572

*** $P<0.001$

$$NUE, \% = 8.6 + 0.724 \text{ kg leche } d^{-1}; \pm 4.18 \text{ } r^2=0.33 \text{ [1]}$$

El modelo [2] con variables dependientes del **Grupo 1** calculado también por regresión simple de la “NUE” (Tabla 25) con la variable independiente “Días lactación” presenta un bajo coeficiente de determinación ($r^2=0.12$) y superior error estándar (Tabla 27).

Tabla 27.- Análisis de regresión simple de la “NUE” con “Días lactación”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	35.6***	2.37	
Días lactación	-0.044***	0.010	-0.354

*** P<0.001

$$NUE, \% = 35.6 - 0.044 \text{ Días lactación}; \pm 4.76 \text{ } r^2=0.12 \text{ [2]}$$

Cuando se incluye las dos variables independientes “Leche, kg d⁻¹” y “Días de lactación”, mejora la estimación de la NUE en un 15% (Tabla 28).

Tabla 28.- Análisis de regresión múltiple de la “NUE” con “Leche, kg d⁻¹” y “días lactación”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	17.1***	3.15	
Leche, kg d ⁻¹	0.65***	0.086	0.518
Días lactación	-0.029***	0.009	-0.234

*** P<0.001

$$NUE, \% = 17.1 + 0.65 \text{ Leche kg d}^{-1} - 0.029 \text{ Días lactación}; \pm 4.02 \text{ } r^2=0.38 \text{ [3]}$$

El modelo [4] incluye las variables del **Grupo 2** “Ingestión nutrientes” con un aceptable coeficiente de correlación superior a $r=0.44$ (Tabla 25) y mediante el proceso paso a paso.

Tabla 29. Análisis de regresión múltiple de la “NUE” con “kg PB; “kg almidón” y “kg PDR”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	Diagnostico colinealidad	
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV
Constante	52.1***	3.36			
PB, kg d ⁻¹	-10.05***	2.23	-0.863	0.121	8.25
Almidón, kg d ⁻¹	-1.71***	0.429	-0.292	0.835	1.19
PDR, kg d ⁻¹	5.65**	2.27	0.479	0.121	8.27

*** P<0.001; ** P<0.01; FIV: factor de inflación de la varianza

$$NUE, \% = 52.1 - 10.05 \text{ kg PB} - 1.71 \text{ kg Almidón} + 5.65 \text{ kg PDR} \pm 4.06; \text{ } r^2=0.37 \text{ [4]}$$

El modelo “Digestibilidad” no es incluido por presentar un bajo coeficiente de determinación que los modelos del Grupo 1 y 2.

a₁) Desarrollo de diferentes modelos con variables de cada grupo

La Tabla 30 resume los modelos más interesantes desarrollados paso a paso, incluyendo variables independientes de los diferentes grupos. El modelo aceptado como

candidato para estimar la NUE es el modelo [3a], por contener variables fácilmente medibles y el error estándar de la regresión muy similar al [4a]. En ningún caso se observan problemas de colinealidad. Las variables “Leche, kg d⁻¹” y “PB, kg d⁻¹” aparecen en todos los modelos con un coeficiente β elevado. Para la primera variable, es coincidente con Tamminga (1992), quien señala aumentos de NUE al incrementar la producción de leche, aunque otros autores, como Van Burchem *et al.* (1999) cuestionan que aumentos de producción lechera sea necesariamente bueno en términos de eficiencia; sin embargo, Arriaga *et al.* (2009) señalan mejoras de la NUE al aumentar la producción de leche ($r^2=0.21$). La segunda variable “PB, kg d⁻¹” es coincidente con Salcedo (2006). Por su parte Arriaga *et al.* (2008), señalan descensos de NUE cuando el consumo de N es mayor de 600 g d⁻¹ (3.75 kg PB d⁻¹). En el presente trabajo la ingestión media de proteína es de 2.95 ± 0.43 (473 \pm 69 g N d⁻¹).

■ ■ ■ **Tabla 30.-** Desarrollo de diferentes modelos con variables de todos los grupos

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad		±	R ²
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV			
Modelo 1a							3.05	0.64
Constante	27.1***	2.11						
Leche, kg d ⁻¹	0.76***	0.064	0.60	0.99	1.0			
PB, kg d ⁻¹	-6.5***	0.58	-0.56	0.99	1.0			
Modelo 2a							2.66	0.72
Constante	30.1***	1.98						
Leche, kg d ⁻¹	0.789***	0.056	0.62	0.99	1.00			
PB, kg d ⁻¹	-5.08***	0.55	-0.43	0.84	1.18			
Almidón, kg d ⁻¹	-1.89***	0.28	-0.32	0.83	1.19			
Modelo 3a							2.60	0.74
Constante	30.02***	1.93						
Leche, kg d ⁻¹	0.73***	0.055	0.62	0.99	1.00			
PB, kg d ⁻¹	-4.72***	0.56	-0.40	0.79	1.26			
Almidón, kg d ⁻¹	-1.36***	0.34	-0.23	0.54	1.82			
FND, kg d ⁻¹	-0.49***	0.188	-0.15	0.53	1.88			
Modelo 4a							2.56	0.74
Constante	29.68***	1.91						
Leche, kg d ⁻¹	0.78***	0.054	0.61	0.98	1.02			
PB, kg d ⁻¹	7.1***	1.19	-0.61	0.169	5.93			
Almidón, kg d ⁻¹	-1.42***	0.33	-0.24	0.54	1.83			
FND, kg d ⁻¹	-0.53***	0.18	-0.16	0.52	1.89			
MS, kg d ⁻¹	0.438**	0.195	0.23	0.162	6.16			

Para mejorar el modelo [3a] elegido como candidato, un efecto random (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 31).

Tabla 31.- Modelo [3a_r] con efecto random (30% de los casos) del modelo [3a]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	29.9***	3.67	
Leche, kg d ⁻¹	0.82***	0.08	0.60
PB, kg d ⁻¹	-4.49***	0.95	-0.33
Almid3n, kg d ⁻¹	-2.49***	0.49	-0.35
R ² =0.80			
Std de la estima = 2.5			
Nº grupos = 43			

*** P<0.001

Interpretaci3n del modelo [3a_r]

$$NUE, \% = 29.9 + 0.82 \text{ Leche, kg d}^{-1} - 4.49 \text{ PB kg d}^{-1} - 2.49 \text{ Almid3n, kg d}^{-1}; \pm 2.5 \text{ } r^2=0.80 \text{ [3a}_r\text{]}$$

Coeficientes de regresi3n no estandarizados

Los coeficientes no estandarizados (Tabla 31) indican que aumentos de 1 kg de leche vaca y d3a, la NUE incrementa 0.82 unidades porcentuales; descensos de 1 kg de prote3na o almid3n causan aumentos de NUE en 4.49 y 2.49 unidades porcentuales. Las pendientes obtenidas para las tres variables independientes son similares a las del modelo [3a].

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes para la influencia de cada variable en la media de la NUE y, porque el rango de las variables tambi3n son diferentes (Tabla 24). La variable “Leche, kg d⁻¹” para el modelo [3a_r] tiene un rango de 20; 1.93 para “PB kg d⁻¹” y 3.79 los “kilogramos de almid3n d⁻¹”.

Coeficientes de regresi3n estandarizados

El valor de los coeficientes beta se3alan el cambio de las desviaciones medias est3andar en la variable dependiente “NUE” asociados con un cambio de la desviaci3n est3andar en la variable independiente. Para las variables medidas los “Leche, kg d⁻¹” presenta un mayor coeficiente (0.60) y, similares PB, kg d⁻¹ (0.33) y (0,35) los “kg de almid3n d⁻¹”.

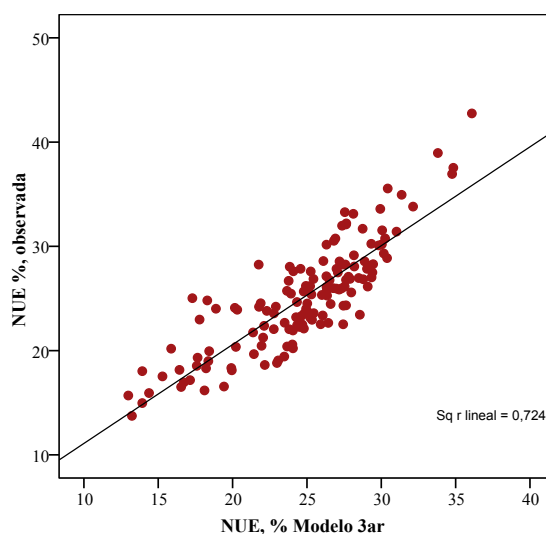
Las desviaciones est3andar de cada variable del modelo [3a_r] vienen representadas en la Tabla 32, indicando que la variable “Leche, kg d⁻¹” es el coeficiente beta m3s relevante del sistema (0.60). El signo del coeficiente beta es positivo, lo que corrobora que un incremento en un kilogramo de leche origina un aumento en la media de la NUE.

■ ■ **Tabla 32.-** Desviaciones estándar de cada variable del modelo [3a_r]

	Rango	Min	Máx.	Media	Std	Coefficiente beta
Leche, kg d ⁻¹	20	10	30	22.1	4.2	0.608
PB, kg d ⁻¹	1.93	1.89	3.82	2.89	0.40	-0.33
Almidón, kg d ⁻¹	3.79	2.67	6.46	4.19	0.79	-0.35

La Figura 41 representa la relación entre la “NUE” observada y la obtenida en el modelo [3a].

■ ■ **Figura 41.-** Relación entre la NUE obtenida en el modelo [3a_r] incluyendo el efecto random (30% de los casos) y la observada



4.1.2. PUE

Las variables del **Grupo 1** “Leche, kg d⁻¹” y “Días de lactación” presentan relación positiva y negativa respectivamente. Las variables del **Grupo 2**, consideradas dentro del modelo “*Ingestión de nutrientes*”, todas manifiestan relaciones negativas (las máximas corresponden al consumo de fósforo $r=-0.73$, $P<0.01$ y la mínima $r=-0.25$, $P<0.01$ la ingestión de proteína degradable en rumen). Las consideradas dentro del modelo “*Digestibilidad*” (**Grupo 3**) son las de menor coeficiente de correlación (Tabla 25) y manifiestan signo negativo.

4.1.2.1. Desarrollo de diferentes modelos

El Modelo del **Grupo 1**, calculado por regresión simple de “PUE” (Tabla 33) con la variable independiente “Leche, kg d⁻¹”, describe la relación con la PUE, porque es la variable de mayor correlación $r=0.65$ (Tabla 25). La pendiente obtenida es superior a 0.54 en las explotaciones lecheras de Cantabria, observándose superior coeficiente de determinación ($r^2=0.32$ vs. $r^2=0.12$), pero la constante es inferior (2.17 vs. 17.7) imputable a la mayor digestibilidad de la materia orgánica ($81.9\pm 4.9\%$ vs. $69.1\pm 4.3\%$);

menor volumen de heces (3.53 ± 0.8 vs. 6.72 ± 0.68 kg MS vaca día) y menor producción de materia seca en heces por kilogramo de leche producido (0.15 vs. 0.22 kg kg^{-1}). Sin embargo, el consumo de P vaca día es superior en las explotaciones lecheras de Cantabria (87.3 ± 21.1 vs. 77 ± 14 gramos), pero mayor la concentración en heces (0.89 ± 0.19 vs. 0.68 ± 0.20), e inferior P excretado en heces (31.7 ± 46.2 g d^{-1}). Pese a estas diferencias, la PUE es menor en el presente experimento ($28.7 \pm 7.2\%$) que en las explotaciones de Cantabria ($34.3 \pm 8.4\%$).

Tabla 33.- Análisis de regresión simple de la “PUE” con “Leche kg d^{-1} ”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	2.17 ^{NS}	2.66	
Leche, kg d^{-1}	1.16 ^{***}	1.16	0.65

*** $P < 0.001$; NS: no significativo

$$PUE, \% = 2.17 + 1.16 \text{ kg leche } \text{d}^{-1}; \pm 5.5 \text{ } r^2 = 0.42 \text{ [1]}$$

Cuando se incluye las dos variables independientes “Leche, kg d^{-1} ” y “Días de lactación” del **Grupo 2** el modelo no mejora significativamente, obteniéndose similares coeficientes de determinación y error estándar de la regresión (Tabla 34).

Tabla 34.- Análisis de regresión simple de la “PUE” con “Leche, kg d^{-1} y días de lactación”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	6.7 ^{NS}	4.31	
Leche, kg d^{-1}	1.13 ^{***}	0.11	0.63
Días lactación	-0.015 ^{NS}	0.012	-0.087

*** $P < 0.001$; NS: no significativo

$$PUE, \% = 6.7 + 1.13 \text{ Leche } \text{kg } \text{d}^{-1} - 0.015 \text{ Días lactación}; \pm 5.51 \text{ } r^2 = 0.43 \text{ [2]}$$

En modelo [3] incluye las variables del **Grupo 2** “Ingestión de nutrientes”, sólo el P ingerido (g d^{-1}) en modelos de regresión simple es significativo (Tabla 35).

Tabla 35. Análisis de regresión múltiple de la “PUE” con “P g d^{-1} ”

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados
	B	Std error	Beta
Constante	56.2 ^{***}	2.2	
P, g d^{-1}	-0.357 ^{***}	0.02	-0.73

*** $P < 0.001$

$$PUE, \% = 56.2 - 0.357 \text{ P } \text{g } \text{d}^{-1}; \pm 4.95 \text{ } r^2 = 0.53 \text{ [3]}$$

El modelo digestibilidad no es incluido por presentar un bajo coeficiente de determinación y explica menos que los modelos del Grupo 1 y 2.

a₁) Desarrollo de diferentes modelos con variables de cada grupo

La Tabla 36 resume los modelos más interesantes desarrollados paso a paso, incluyendo las variables independientes de los diferentes grupos. El modelo aceptado como candidato para estimar la PUE es el modelo [1a], por incluir variables fácilmente medibles y error estándar de la regresión similar a los modelos [2a y 3a]. En ningún caso se observó problemas de colinealidad. Las variables “Leche, kg d⁻¹” y “P, g d⁻¹” aparecen en todos los modelos con un coeficiente β elevado. Para la primera variable, es coincidente con Wu *et al.* (2000), quienes señalan que al aumentar el consumo de fósforo lo hace la excreción, afectando de forma negativa a la PUE. Autores como Morse *et al.* (1992); Brintrup (1993); y Spiekrs *et al.* (1993), señalan que la digestibilidad del P en vacas lecheras varía desde 0.45 a 0.50, reduciéndose al incrementar el consumo de P (Knowlton y Herbein, 2002).

■ ■ ■ **Tabla 36.-** Desarrollo de diferentes modelos con variables de todos los grupos

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnostico colinealidad		±	R ²
	B	Std error	Beta	Tolerancia	FIV			
Modelo 1a							1.29	0.97
Constante	29.6***	0.83						
P, g d ⁻¹	-0.36***	0.007	-0.739	0.99	1.0			
Leche, kg d ⁻¹	1.18***	0.027	0.658	0.99	1.0			
Modelo 2a							1.18	0.97
Constante	31.96***	0.887						
P, g d ⁻¹	-0.34***	0.008	-0.695	0.99	0.73			
Leche, kg d ⁻¹	1.18***	0.025	0.662	0.84	0.99			
PB, kg d ⁻¹	-1.39***	0.26	-0.084	0.83	0.73			
Modelo 3a							1.16	0.97
Constante	31.7***	0.86						
P, g d ⁻¹	-0.34***	0.08	-0.704	0.99	0.69			
Leche, kg d ⁻¹	1.18***	0.024	0.658	0.79	0.98			
PB, kg d ⁻¹	-2.77***	0.56	-0.168	0.54	0.15			
MS, kg d ⁻¹	0.256***	0.093	0.096	0.53	0.14			

*** P<0.001

Para mejorar el modelo [1a] elegido como candidato, un efecto random “Días lactación” (30%) fue incluido para comprobar su bondad (Tabla 37).

■ ■ ■ **Tabla 37.-** Modelo [1a_r] con efecto random (30% de los casos) del modelo [1a]

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	
	B	Std error	Beta	
Constante	30.4***	1.51		
P, g d ⁻¹	-0.37***	0.013	-0.723	
Leche, kg d ⁻¹	1.19***	0.049	0.642	
R ² =0.97				
Std de la estima = 1.28				
Nº grupos = 43				

*** P<0.001

Interpretación del modelo [1a_r]

$$NUE, \% = 30.4 - 0.37 P \text{ g d}^{-1} + 1.19 \text{ Leche kg d}^{-1}; \pm 1.28 r^2=0.97 \text{ [3a}_r\text{]}$$

Coeficientes de regresión no estandarizados

Los coeficientes no estandarizados (Tabla 37) indican que aumentos de 1 kg de leche por vaca y día, la PUE incrementa de 0.82 unidades porcentuales y descensos de 1 g de fósforo causa aumentos de 0.37 unidades porcentuales. Las pendientes obtenidas para las dos variables independientes son similares a las del modelo [1a].

La magnitud de los coeficientes no estandarizados son diferentes para la influencia de cada variable en la media de la PUE y, porque el rango de las variables también son diferentes (Tabla 24). La variable “Leche, kg d⁻¹” para el modelo [1a_r] tiene un rango de 20 y 65.3 para “P, g d⁻¹”.

Coeficientes de regresión estandarizados

Los valores de los coeficientes beta indican el cambio de las desviaciones medias estándar en la variable dependiente “PUE” asociados con un cambio de la desviación estándar en la variable independiente. Para las variables medidas el “P, g d⁻¹” presenta un mayor coeficiente (-0.72) que “Leche, kg d⁻¹” (0.64).

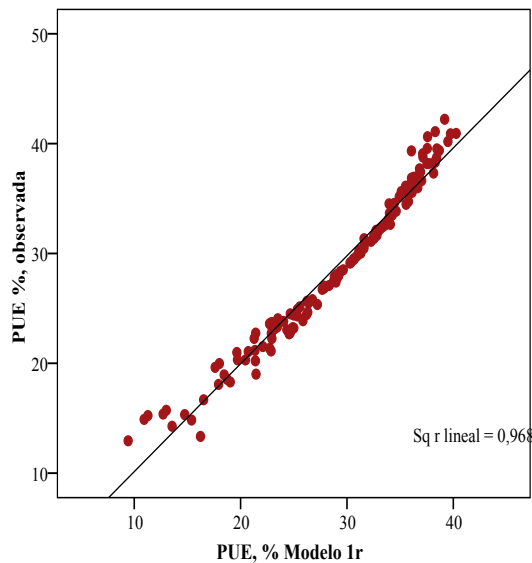
Las desviaciones estándar de cada variable del modelo [1a_r] vienen representadas en la Tabla 38, indicando que el consumo de P g d⁻¹ es el coeficiente beta más relevante del sistema (-0.72). El signo de dicho coeficiente beta es negativo, lo que corrobora que un descenso de un gramo en la ingestión de P origina un aumento en la media de la PUE.

Tabla 38.- Desviaciones estándar de cada variable del modelo [3a_r]

	Rango	Min.	Máx.	Media	Std	Coefficiente beta
P, g d ⁻¹	54.0	53.4	107.4	74.8	14.5	-0.72
Leche, kg d ⁻¹	20	10	30	23.4	3.97	0.64

La Figura 42 representa la relación entre la “PUE” observada y la obtenida en el modelo [1a_r].

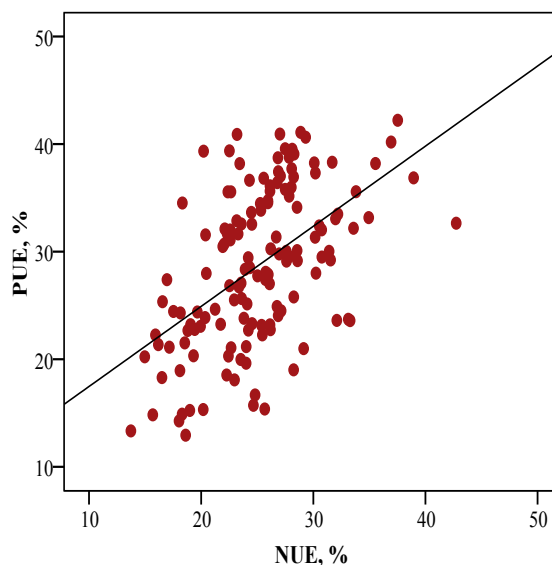
Figura 42.- Relación entre la PUE obtenida en el modelo [1a_r] incluyendo el efecto random (30% de los casos) y la PUE observada



5.- Relación gramos de N y P excretado por kilogramo de leche para todos los balances nutricionales

De los cuatro balances nutricionales descritos anteriormente, se observa una relación lineal entre la NUE y la PUE (Figura 43). La pendiente aquí obtenida, el coeficiente de determinación y el error estándar de la regresión es similar a la obtenida en las explotaciones lecheras de Cantabria (*Capítulo 2*, Figura 13 **“Excreción de N y P”** [$PUE, \% = 10.29 (2.3) + 0.85 (NUE, \%)$; ± 7.2 $r^2=0.26$] y similar a [$PUE, \% = 8.09 + 0.92 (NUE, \%)$; $r^2=0.35$] indicado por Arriaga *et al.* (2009), lo que corrobora que incrementando la NUE, aumenta la PUE. La NUE es más fácilmente medible que la PUE, porque el fósforo es un elemento que suele analizarse menos en las explotaciones que la proteína.

■ ■ ■ **Figura 43.-** Relación entre la NUE y la PUE



$$PUE, \% = 10.02 (2.62) + 0.74 (NUE, \%); \pm 6.19 \quad r^2=0.27$$

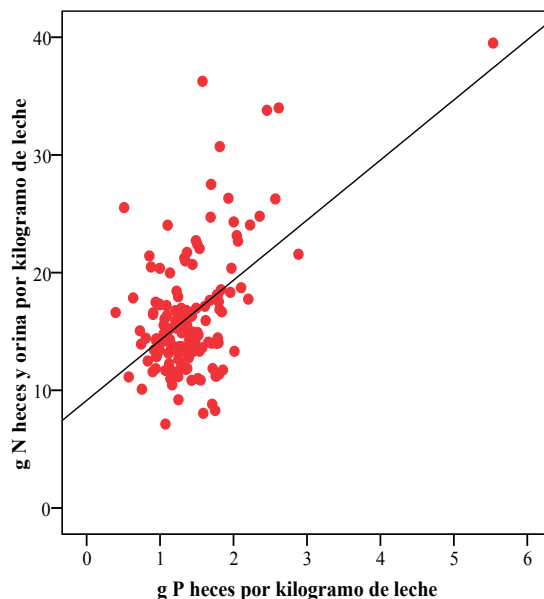
Sin embargo, pese a la similitud de las pendientes (la del presente experimento, de las explotaciones lecheras de Cantabria y la obtenida por Arriaga *et al.* (2009), existen diferencias entre las tres ecuaciones (Tabla 39). Supongamos tres consumos de N (g vaca día) para una producción de 25 kg d⁻¹ al 3.2% de proteína en leche, la PUE y el error resultante son los indicados en la Tabla 39.

■ ■ ■ **Tabla 39.-** Diferencias entre ecuaciones

N, g d ⁻¹	N leche, g d ⁻¹	NUE, %	PUE, %	Diferencia, %	Ecuación
					Datos del Balance
400	125	31.2	33.1	-	
500	125	25	28.5	-	
600	125	20.8	25.4	-	
					Explotaciones Cantabria
400	125	31.2	36.8	+11.3%	
500	125	25	31.5	+10.5%	
600	125	20.8	27.9	+10.1%	
					Arriaga <i>et al.</i> , (2009)
400	125	31.2	36.8	+11.3%	
500	125	25	31.1	+8.14%	
600	125	20.8	27.2	+7.12%	

La relación entre el N excretado en heces y orina respecto al fósforo excretado en heces no se obtiene correlación, pero sí cuando ambas se expresan por kilogramos de leche (Figura 44).

Figura 44.- Relación entre la excreción de N y P por litro de leche



$$g P \text{ heces } L^{-1} \text{ leche} = 0.548 (0.12) + 0.053 (g N \text{ heces+orina } L^{-1} \text{ leche}); \pm 0.47 \ r^2=0.27$$

6.- Clasificación de las mezclas de concentrado

Para diferenciar los efectos de las 12 mezclas de concentrado utilizadas en los diferentes experimentos respecto a la *ingestión de alimento, digestibilidad, producción y calidad de la leche, excreción y contenido de nitrógeno y fósforo de las heces*, se clasificaron en función de su relación PB÷P y FND÷Almidón (Tabla 40).

Tabla 40.- Composición química de cada una de las mezclas dentro de cada balance nutricional y su relación PB/P y FND/Almidón

Balance	Clasificación	PB*	P*	FND*	Almidón*	PB/P	FND÷Almidón
Proteína	1	15.7	0.27	31.7	27.6	58.1	1.14
	2	18.9	0.32	30.6	27.6	59.1	1.10
	3	21.7	0.35	29.6	27.6	62.0	1.07
Almidón	4	18.5	0.7	26	27.9	26.4	0.93
	5	18.7	0.7	27.8	34.2	26.7	0.81
	6	18.3	0.53	24.2	43.1	34.5	0.56
Fósforo	7	18.5	0.51	37.8	27.5	36.2	1.36
	8	18.3	0.64	37.9	27.6	28.5	1.37
	9	18.6	0.81	37.2	27.6	22.9	1.34
FND÷Almidón	10	18.5	0.48	27.2	27.6	38.5	0.98
	11	18.3	0.49	37.6	27.6	37.3	1.36
	12	18.6	0.50	44.2	27.6	37.2	1.60

* Valores expresados en % sobre materia seca

A partir de dicha clasificación se realizó un análisis de componentes principales K medias (Tabla 41), revelando que los autovectores seleccionados (relación PB÷P y

FND÷Almidón_{concentrado}) de las mezclas de concentrado explican el 49.8% y el 35.2% de la variación de la eficiencia del P (**PUE**) respectivamente; sin diferencias para la NUE y el N excretado en heces y orina. Por el contrario, la relación PB÷P explica el 31% de la variabilidad del P excretado en las heces. La producción diaria de heces y producción de leche, ninguno de los autovectores seleccionados manifiesta cierto grado de explicación. Sin embargo, la relación FND÷Almidón revela el 29%, 31%, 32%, 43%; 34% y 37.1% de la variabilidad para dMS, dMO, dFAD, dFND, dN y dP respectivamente.

Este análisis permitió caracterizar tres grupos de mezclas de concentrados en función de la relación PB÷P y FND÷Almidón_{concentrado} (Figura 45), con concentraciones medias de PB, Almidón, FND y P de 18.6%-27.6%-34.1%-0.48% para los del grupo 1; 18.5%-27.6%-36.1%-0.58% las del grupo 2 y 18.4%-32.0%-30.3%-0.60% las del grupo 3 respectivamente. A la izquierda de la Figura 45 quedan las mezclas de menor relación en la concentración de PB÷P g g^{-1} y FND÷Almidón_{concentrado} g g^{-1} (31.3 y 0.82); a la derecha, las mezclas intermedias para PB÷P y mayor FND÷Almidón_{concentrado} (37. y 2.12) y en el centro, las mezclas de mayor relación PB÷P e intermedia FND÷Almidón_{concentrado} (39.4 y 1.27).

Tabla 41.- Valores medios del análisis de conglomerados K medias

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	et	P
Dietas	1, 2, 3, 7, 8 y 9	10 y 12	4, 5, 6, 11		
PB÷P	39.4	37.9	31.3		
FND÷Almidón	1.27	2.12	0.82		
PB, % sms	18.6	18.5	18.4		
P, % sms	0.48	0.58	0.60		
FND, % sms	34.1	36.1	30.3		
Almidón, % sms	27.6	27.6	32.1		
Ingestión de materia seca					
MS, kg d ⁻¹	19.3b	19.3b	17.5a	0.24	***
Ensilado maíz, kg MS d ⁻¹	5.1b	5.06b	4.6a	0.06	***
Alfalfa, kg MS d ⁻¹	2.73	2.75	2.56	0.03	*
Alfalfa dentro mezcla, kg MS d ⁻¹	1.94b	1.86b	1.62a	0.04	***
Mezcla sin alfalfa, kg MS d ⁻¹	7.71b	7.91b	7.06a	0.10	***
Suplemento, kg MS d ⁻¹	1.90b	1.92b	1.78a	0.02	*
Digestibilidad					
dMS	0.81	0.80	0.79	0.005	NS
dMO	0.82	0.81	0.80	0.005	NS
dFAD	0.64b	0.66b	0.57a	0.011	***
dFND	0.66b	0.66b	0.55a	0.011	***
dN	0.79b	0.78ab	0.76a	0.006	*
dP	0.60	0.60	0.57	0.011	NS
Producción y calidad de la leche					
Leche, kg d ⁻¹	23.3b	20.3a	23.1b	0.36	***
Grasa, %	3.02	3.20	3.20	0.07	NS
Proteína, %	3.20a	3.33b	3.21a	0.02	*
Urea, mg dl ⁻¹	35.1c	17.9a	26.5b	0.53	***
NUE, %	25.3b	21.7a	26.5b	0.44	***
PUE, %	29.3	27.2	28.5	0.67	NS
CLA, g L ⁻¹ leche	0.258ab	0.233a	0.288b	0.009	*
Ω 3, g L ⁻¹ leche	0.113a	0.112ab	0.13b	0.003	**
Ω 6, g L ⁻¹ leche	1.18a	1.36b	1.30ab	0.03	*
IA	0.77a	1.02b	0.79a	0.018	***
IT	2.43b	2.60c	2.19a	0.028	***
Excreción de heces					
Heces frescas, kg d ⁻¹	18.7	18.26	18.8	0.36	NS
Heces, kg MS d ⁻¹	3.55	3.62	3.45	0.07	NS
N, g kg ⁻¹ MS heces	28.0a	28.9a	30.6b	0.35	***
N heces, g d ⁻¹	98	104	105	2.33	NS
N orina, g ⁻¹	259ab	283b	233a	6.2	**
N heces y orina, g d ⁻¹	357a	387b	338a	6.2	***
P, g 100 g ⁻¹ MS heces	0.84a	0.90a	0.97b	0.018	***
P heces, g d ⁻¹	29.1a	32.4ab	33.4b	0.80	*

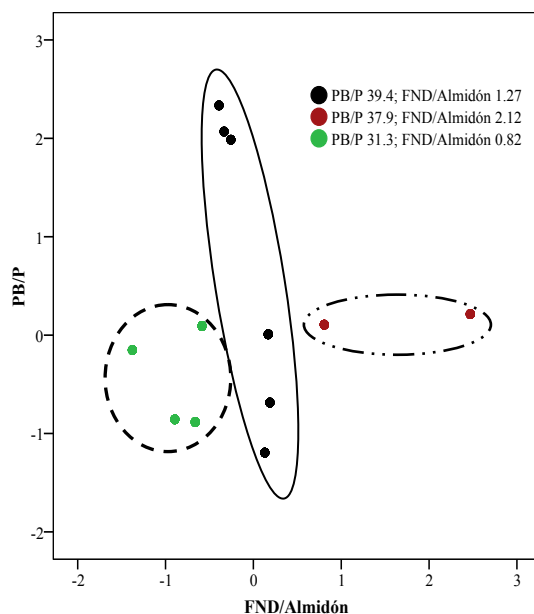
PB: proteína bruta; **P:** fósforo; **FND:** fibra neutro detergente; **MS:** materia seca; **dMS, dMO, dFAD, dFND, dN y dP:** digestibilidad de la metería seca, materia orgánica, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, nitrógeno y fósforo; **NUE:** eficiencia de utilización del N; **PUE:** eficiencia de utilización del fósforo; **CLA:** ácido linoléico conjugado; **IA:** índice de aterogeneidad; **IT:** índice de trombogeneidad; **sms:** sobre material seca; **a, b, c,** dentro de cada fila difieren P<0.05; **P:** nivel de significación

El mayor consumo de materia seca se registró en las mezclas de concentrado del **Grupo 1** y **Grupo 2** (Tabla 41).

Para la variable digestibilidad, la dFAD y dFND es similar entre los concentrados del **Grupo 1** y **Grupo 2** y menor ($P < 0.05$) los del Grupo 3.

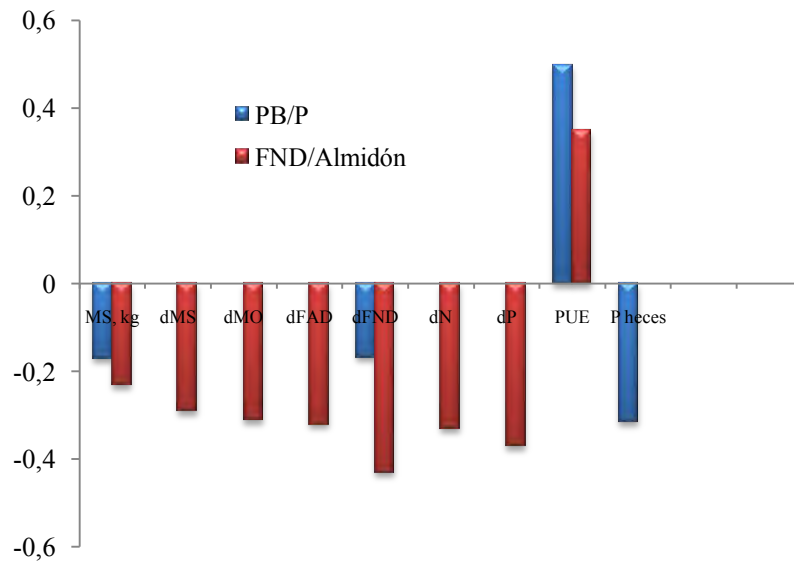
La mejor producción de leche se registra en las mezclas del **Grupo 1** y **Grupo 3**, sin diferencias para la concentración de grasa en leche. Por el contrario, el mayor porcentaje de proteína en leche y menor concentración de urea se obtiene con la mezcla del **Grupo 2**. Los gramos de ácido linoleico conjugado (CLA) y $\Omega 3$ corresponden a la mezcla del **Grupo 3**.

■ ■ ■ **Figura 45.-** Distribución de las mezclas de concentrado según las dos primeras componentes principales (PB÷P y FND÷Almidón_{concentrado})



Ninguna mezcla de concentrado manifiesta diferencias respecto a la excreción de heces frescas. Sin embargo, las menores concentraciones de N por kilogramo de materia seca en heces se registran en las mezclas del **Grupo 1** y **Grupo 2**; sin diferencias para el N excretado en heces, aunque sí, ($P < 0.01$) el de la orina que fue mayor ($P < 0.05$) en la mezcla del **Grupo 2**. Tanto la concentración como la excreción de P en heces, las mezclas del **Grupo 3** son las de mayor contenido.

Figura 46.- Coeficiente de correlación para las dos primeras componentes principales (PB÷P y FND÷Almidón_{concentrado})



Del total de variables que presentan significación, el 54.1% corresponden a la mezcla del **Grupo 1**; 41.6% a las del **Grupo 2** y el 25%, las del **Grupo 3**. Por lo tanto y a la vista de los resultados obtenidos en dietas basadas en ensilado de maíz y alfalfa, la mezcla de concentrado mejor situada es la que contiene el 18.6%, 27.6%, 34.1% y 0.48% de PB, Almidón, FND y P respectivamente, o bien cualquiera de las mezclas enumeradas con 1, 2, 3, 7, 8 y 9.

7.- Conclusiones parciales

7.1- Balance nitrógeno

La mayor concentración de N en la mezcla de concentrado favorece más excreción de N y menor eficiencia de utilización del N (NUE), sin grandes diferencias en producción de leche y porcentaje de proteína y la digestibilidad aparente del nitrógeno.

7.2.- Balance almidón

El superior consumo de almidón no mejora la ingesta de materia seca, sin variaciones en la composición química de las heces, la excreción de N en heces y orina y la digestibilidad aparente del nitrógeno. La producción de leche no varía al aumentar la concentración de almidón en la mezcla de concentrados, pero sí se reduce el porcentaje y producción de grasa en leche, sin variaciones para la NUE.

7.3.- Balance de fósforo

El consumo de materia seca y fósforo aumenta al incrementar la concentración de P en la mezcla de concentrado. Sin embargo, la concentración de P y el excretado en heces, aumenta cuando lo hace el consumo de P o la concentración de la dieta. La eficiencia de utilización del fósforo (PUE) disminuye al aumentar el consumo de fósforo. La producción de leche y la corregida al 4% graso no varía por la inclusión de más fósforo en la mezcla de concentrado.

7.4.- Balance de $FND \div Almidón_{concentrado}$

Cuando la relación g de $FND \div g$ almidón en la mezcla de concentrado incrementa, el consumo de FND aumenta, sin efectos significativos sobre la ingestión de materia orgánica digestible. La composición química de las heces no varía al modificar la relación $FND \div Almidón_{concentrado}$. Por el contrario, la digestibilidad aparente del N, FND, FAD y MO disminuyen cuando dicha relación aumenta. El N de las heces no difiere entre concentrados, pero si un aumento significativo del N de la orina. La producción de leche no varía, pero sí el porcentaje de grasa, que aumenta al incrementar la relación $FND \div almidón$, sin variaciones para la proteína de la leche.

El tipo de mezcla de concentrado conteniendo un 20% de alfalfa deshidratada que mejora el consumo, digestibilidad, producción de leche y menor excreción de N y P en heces es la formada por 18.6%, 27.6%, 34.1% y 0.48% de proteína bruta, almidón, fibra neutro detergente y fósforo respectivamente.

8.- Bibliografía

- AMARAL, D. 2000. Impact of phosphorus on reproduction and the environment. Kentucky Ruminant Nutrition. *Impact of Phosphorus Nutrition*, 35-45.
- ALLEN, M. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* **80**, 1447-1462.
- ALLEN, M. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **83**, 1598-1624.
- ARRIAGA, H.; PINTO, M.; CALSAMIGLIA, S.; MERINO, P. 2009. Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. *J. Dairy Sci.* **92**, 204-215.
- ASAE. 2005. Manure production and characteristics. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI.
- BACH, A. 2002. Trastornos ruminales en el vacuno lechero: un enfoque práctico. *XVIII Curso de Especialización FEDNA*, 119-139. Barcelona (España).
- BAILE, C.; PFANDER, W. 1967. Ration density as a factor controlling food intake in ruminants. *J. Dairy Sci.*, **50**, 77-80.
- BALDWIN, R.; FRANCE, J.; GILL, M. 1987. Metabolism of the lactating cow. II. Digestive elements of a mechanistic model. *J. Dairy Res.* **54**, 107-131.
- BALTUSNIKIENĖ, A.; BARTKEVICIŪTĖ, Z.; CERNAUSKIENĖ, J. 2008. Fatty acids content and composition of milk fat from cows consuming pasture and total mixed ration. *Veterinarija ir zootechnika*, **42** (64), 28-33.
- BATAJOO, K.; SHAVER, R. 1993. Impact of Nonfiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **77**, 1580-1588.
- BEAUCHEMIN, K.; FARR, B.; RODE, L. 1991. Enhancement of the effective fiber content of barley based concentrates fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* **74**, 3128-3139.
- BECKMAN, J.; WEISS, W. 2005. Nutrient Digestibility of Diets with Different Fiber to Starch Ratios when Fed to Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*, **88**, 1015-1023.
- BEEVER, D.; REYNOLDS, C. 1994. Forage quality, feeding value and animal performance. In: *Grassland and Society*. Eds. J. Frane and J. Marnettje, L. *Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation*. Wageningen, The Netherlands. pp. 48-60.
- BRINTRUP, R.; MOOREN, T.; MEYER, U.; SPIEKERS, H.; PFEFFER, E. 1993. Effects of two levels of phosphorus intake on performance and faecal phosphorus excretion of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **69**, 29-36.

- BRODISON, J.; GOODALL, E.; ARMSTRONG, J.; GIVENS, D.; GORDON, F.; McCAUGHEY, W.; TODD, J. 1989. Influence of dietary phosphorus on the performance of lactating dairy cattle. *J. Agric. Sci. Camb.* **112**, 303-311.
- CABRITA, A.; BESSA, R.; ALVES, S.; DEWHURST, R.; FONSECA, A. 2007. Effects of dietary protein and starch on intake, milk production, and milk fatty acid profiles of dairy cows fed corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* **90**, 1429-1439.
- CALL, J.; BUTCHER, J.; SHUPE, J.; LAMB, R.; BOMAN, R.; OLSON, A. 1987. Clinical effects of low dietary phosphorous concentrations in feed given to lactating dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* **48**, 133-136.
- CAMMELL, S.; OSBOURN, D. 1972. Factors influencing the total time spent chewing by sheep given diets containing long, dried forages. *Proc. Nutr. Soc.* **31**, 63A.
- CARSTAIRS, J. ; NEITZEL, R.; EMERY, R. 1981. Energy and phosphorus status as factors affecting postpartum performance and health of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **64**, 34-41.
- CAST. 2002. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. Rep. No. 21. *Council for Agricultural Science and Technology*, Ames, IA.
- CASTILLO, A.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.; FRANCE, J. 2000. A review of efficiency of nitrogen utilization in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. *J. Anim. and Feed Sci.* **9**, 1-32.
- CASTILLO, A. KEBREAB, E.; BEEVER, D.; BARBI, J.; SUTTON, J.; KIRBY, H.; FRANCE, J. 2001a. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim Sci.* **79**, 240-246.
- CASTILLO, A.; KEBREAB, E.; BEEVER, D.; BARBI, J.; SUTTON, J.; KIRBY, H.; FRANCE, J. 2001. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim. Sci.* **79**, 240-246.
- CEROSALETI, P.; FOX, D.; CHASE, L. 2004. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **87**, 2314-2323.
- CHICCO, C.; AMMERMAN, C.; MOORE, J.; VAN WALLEGHEN, P.; ARLINGTON, L.; SHIRLEY, R. 1965. Utilization of inorganic orthometa and pyrophosphates by lambs and by cellulolyte rumen microorganisms in vitro. *J. Anim. Sci.* **24**, 355-363.
- CHURCH, D. 1988. The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- CLAYTON, E.; LEAN, I; ROWE J.; COX J. 1999. Controlling acidosis in dairy cattle with virginiamycin. *J. Dairy Sci.* **82**, 1545-1554.

COLIN-SCHOELLEN, O.; JURJANZ, S.; GARDEUR, J.; LAURENT, F. 1995. Effet de la nature de l'aliment concentré sur les performances zootechniques de vaches laitières recevant une ration complète. *Ann. Zootech. (Paris)* **44**, 359–372.

CONRAD, H.; PRATT, A.; HIBBS, J. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* **47**, 54-62.

CONRAD, H. 1999. Dietary phosphorus, excretory phosphorus and environmental concerns. Pages 63–71 in Proc. 10th Annual Florida Ruminant Nutr. Symp. Gainesville, FL.

CUNNINGHAM, K.; CECAVA, M.; JOHNSON, T. 1993. Nutrient digestion, nitrogen, and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate. *J. Dairy Sci.*, **76**, 3523–3535.

DE VETH, M.; CASTAÑEDA-GUTIÉRREZ, E.; DWYER, D.; PFEIFFER, A.; PUTMAN, D.; BAUMAN, D. 2006. Response to conjugated linoleic acid in dairy cows differing in energy and protein status. *J. Dairy Sci.* **89**, 4620-4631.

DEWHURST, R.; DAVIES, D.; MERRY, J. 2000. Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology* **85**, 1-21.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DAVIES, D. 1998. Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. *J. Dairy Sci.* **81**, 3370–3384.

DHIMAN, T.; SATTER, L.; SHAVER, R. 1996. Milk production and blood phosphorus concentrations of cows fed low and high dietary phosphorus. Pp. 105-106 in U.S. Dairy Forage Res. Center 1995 Res. Summaries, Madison. WI.

DINN, N.; SHELFORD, J.; FISHER, L. 1998. Use of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System and Rumen-Protected Lysine and Methionine to reduce nitrogen excretion from lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* **81**, 229-237.

DURAN, M.; KOMISARCZUK, S. 1988. Influence of major minerals on rumen microbiota. *J. Nutr.* **118**, 249-260.

EDIONWE, A.; OWEN, F. 1989. Relation of intake to digestibility of diets containing soyhulls and distillers dried grains. *J. Dairy Sci.*, **72**, 1786–1792.

EWING, P.; SMITH, F. 1917. A study of the rate of residues through the steer and its influence on digestion coefficients. *J. Agri. Res.* **10**, 55-63.

FIRKINS, J.; EASTRIDGE, M.; St-PIERRE, N.; NOFTSGER, S. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.*, **79** (Suppl. E): E218-E238.

FOX, D.; TEDESCHI, L.; TYLUTKI, T.; RUSSELL, J.; VAN AMBURG, M.; CHASE, L.; PELL, A.; OVERTON, T. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and

Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* **112**, 29-78.

FOX, D.; TYLUTKI, T.; TEDESCHI, L.; VAN AMBURCH, M.; CHASE, L.; PELL, A.; OVERTON, T.; RUSSELL, J. 2003. A Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 5.0. Model documentation. Department of Animal Science, Cornell University 288 pp.

GACLIOSTRO, G. 1998. Suplementación con lípidos protegidos en vacas lecheras en lactancia temprana: efectos sobre la producción, la composición de la leche, la concentración de metabolitos plasmáticos y la respuesta a estímulos hormonales. *Revista Argentina de Producción Animal*, **18** (2), 85-100.

GOERING, H.; VAN SOEST, P. 1970. Forage fiber analysis. Ag. Handbok N°. 379. Washington DC ARS USDA.

GONDA, H.; EMANUELSON, M.; MURPHY, M. 1996. The effect of roughage to concentrate ratio in the diet on nitrogen and purine metabolism in dairy cows. *Anim. Feed Sci. and Techn.* **64**, 27-42.

GURPAL, S.; CODE, B.; MENUN; THOMAS, J. 2005. Establishing a linkage between phosphorus forms in dairy cow diets, feces, and manure. *J. Envirom. Qual.* **34**, 1380-1391.

HALL, O.; BAXTER, H.; HOBBS, C. 1961. Effect of phosphate in different chemical forms on in vitro cellulose digestion by rumen microorganism. *J. Anim. Sci.* **20**, 817-819.

HOLMANN, M.; KNOWLTON, K.; HANIGAN, M. 2008. Evaluation of solids, nitrogen, and phosphorus excretion models for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **91**, 1245-1257.

HOOVER, W.; STOKES, S. 1991. Balancing Carbohydrates and Proteins for Optimum Rumen Microbial Yield. *J. Dairy Sci.* **74**, 3630-3644.

HU, F.; STAMPFER, M.; J. MANSON. 1997. Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. *New England Journal of Medicine*, **337**, 1491-99.

IPHARRAGUERRE, I.; CLARK, J. 2003. Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: Areview. *J. Dairy Sci.*, **86**, 1052-1073.

IPHARRAGUERRE, I.; CLARK, J. 2005. Varying protein and starch in the diet of dairy cows. II. Effects on performance and nitrogen utilization for milk production. *J. Dairy Sci.*, **88**, 2556-2570.

IRELAND-PERRY, R.; STALLINGS, C. 1993. Fecal consistency as related to dietary composition in lactating Holstein cow. *J. Dairy Sci.* **76**, 1074-1082.

JENSEN, R. 2002. The composition of bovine milk lipids. *J. Dairy Sci.* **85**, 295-350.

JOURNET, M.; CHAMPREDON, C.; PION, R.; VERITE, R. 1983. Physiological basis of the protein nutrition of high producing cows: critical analysis of the allowances, IVth Int. Symp. Protein metabolism and nutrition, INRA Publ., Versailles, 433-447.

JURJANZ, S.; OLIN-SCHOELLEN, O.; ARDEUR, J.; LAURENT, F. 1998. Alteration of milk fat by variation in the source and amount of starch in a total mixed diet fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* **81**, 2924-2933.

KEADY, T.; MURPHY, J. 1998. The effects of ensiling and supplementation with sucrose and fish meal on forage intake and milk production of lactating dairy cows. *Anim. Sci.* **66**, 9-20.

KHORASANI, G.; JANZEN, R.; MCGILL, W.; KENNELLY, J. 1997. Site and extent of mineral absorption in lactating cows fed whole crop cereal grain silage or alfalfa silage. *J. Anim. Sci.* **75**, 239-248.

KINCAID, R.; HILLERS, J.; CROMRAT, J. 1981. Calcium and phosphorous supplementation of rations for lactating cow. *J. Dairy Sci.* **64**, 754-758.

KNOWLTON, K.; HERBEIN, J.; MEISTER-WEISBARTH, M.; WARK, W. 2001. Nitrogen and phosphorous partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. *J. Dairy Sci.* **84**, 1210-1217.

KNOWLTON, K.; HERBEIN, J. 2002. Phosphorous partitioning during early lactation in dairy cows fed diets varying in phosphorous content. *J. Dairy Sci.* **85**, 1227-1236.

KOLVER, E.; MULLER, L.; VARGA, G.; CASSIDY, T. 1998. Synchronisation of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **81**, 2017-2028.

KRISTENSEN, V.; KRISTENSEN, T.; AAES, O.; HANSEN, O. 1998. The amount and composition of cattle faeces and urine and excretion of N, P and K in faeces and urine. In: *A Renovation of the Danish Standard Values concerning the Nitrogen, Phosphorus and Potassium Content of Manure* (Eds. H.D. Poulsen and V.F. Kristensen). Danish Institute of Agricultural Science. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries. pp. 108-141.

LESCOAT, P.; SAUVANT, D. 1995. Development of a mechanistic model for rumen digestion validated using the duodenal flux of amino acids. *Reprod. Nutr. Dev.* **35**, 45-70.

LINES, L.; WEISS, P. 1996. Use of nitrogen from ammoniated alfalfa hay, urea, soybean meal and animal protein meal by lactating cows. *J. Dairy Sci.* **79**, 1992-1999.

LLANO, C.; DePETERS, E. 1985. Apparent digestibilities of diets varying in ratios of forage to concentrate and quality of forage at two intakes by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **68**, 1189-1197.

MAFF, 1984. Energy allowances and feeding systems for ruminants, Reference Book 443. Her Majesty's Stationary Office. London (UK).

McCORMICK, M.; FRENCH, D.; BROWN, T.; CUOMO, G.; CHAPA, A.; FERNANDEZ, J.; BEATTY, G.; BLOUINI, D. 1999. Crude proteína and rumen undegradable protein effects on reproduction and lactation performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* **82**, 2697-2708.

McCULLOUGH, M. 1973. Optimum Feeding of Dairy Animals. Univ. Press, Athens, GA.

MERTENS, D. 1980. Fiber content and nutrient density in dairy rations. Page 35 in Proc. Dist. Feed Conf. Dist. Feed Res. Council, Ft. Wright, KY.

MERTENS, D. 1983. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages. Page 60 in Cornell Nutr. Conf., Cornell Univ., Ithaca, NY.

MERTENS, D. 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. Page 1 in Georgia Nutr. Conf., Univ. Georgia, Athens.

MERTENS, D. 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. *Georgia Nutr. Conf.* pp 1-18.

MERTENS, D. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Anim. Sci.*, **64**, 1548-1558.

MERTENS, D. 1992. Nonstructural and structural carbohydrates. Page 219 in Large Dairy Herd Management. Am. Dairy Sci. Assoc., Champaign, Ii.

METCALF, J.; MANSBRIDGE, R.; BLAKEM, J. 1996. Potential for increasing the efficiency of nitrogen and phosphorous use in lactating dairy cos. *J. Anim. Sci.* **62**, 636.

MILLER, W.; O'Dell, G. 1969. Nutritional problems of using maximum forage or maximum concentrates in dairy rations. *J. Dairy Sci.* **52**, 1144-1154.

MISSELBROOK, T.; POWELL, J. 2005. Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. *J. Dairy Sci.* **88**, 4304-4312.

MONTGOMERY, M.; BAUMGARDT, B. 1965. Regulation of food intake in ruminants. 1. Pelleted rations varying in energy concentration. *J. Dairy Sci.*, **48**, 569-574.

MORSE, D.; HEAD, H.; WILCOX, C.; VAN HORN, H.; HISSEM, C.; HARRIS, B. 1992. Effects of concentration of dietary phosphorous on amount and route of excretion. *J. Dairy Sci.* **75**, 3039-3049.

NEWBOLD, J.; RUST, S. 1992. Effect of asynchronous nitrogen and energy supply on growth of ruminal bacteria in batch culture. *J. of Anim. Sci.* **70**, 238-546.

- NIELSEN, T.; STRAARUP, E.; VESTERGAARD, M.; SEJRSEN, K. 2006. Effect of silage type and concentrate level on conjugated linoleic acids, trans-C18:1 isomers and fat content in milk from dairy cows. *Reprod. Nutr. Dev.* **46**, 699–712.
- NOCET, J.E.; J.B. RUSSELL. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial síntesis an milk production. *J. Dairy Sci.* **71**, 2070-2107.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle Sixth revised Edition. National Academy Pres, Washington D.C.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- OBA, M.; ALLEN, M. 2003. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *J. Dairy Sci.* **86**, 174–183.
- OLIVEIRA, A.; VALADARES, R.; VALADARES, S.; CECON, P.; OLIVEIRA, G.; SILVA, R.; COSTA, M. 2001. Intake, apparent digestibility, milk composition and production of lactating cows fed four non protein nitrogen compound levels. *Braz J. Anim. Sci.* **30**, 1358-1366.
- OSBOURN, D.; TERRY, R.; OUTEN, G.; CAMMELL, S. 1974. The significance of a determination of cell walls as the rational basis of the nutritive evaluation of forages. Page 374 in Proc. 12th Int. *Grassl. Congr.* Vol. III, Moscow, USSR.
- PALMQUIST, D.; DENISE, A.; BARBANO, D. 1993, Feed and Animal Factors Influencing Milk Fat Composition. ADSA Foundation Symposium: milk fat synthesis and modification. *J Dairy Sci.* **76**, 1753-1771.
- PAUL, J.; DINN, N.; KANNANGARA, T.; FISHER, L. Protein Content in Dairy Cattle Diets Affects Ammonia Losses and Fertilizer Nitrogen Value. *J. Environ Qual.* **27**, 528-534.
- PETERSEN, S.; SOMMER, S.; BÉLINE, F.; BURTON, C.; DACH, J.; DOURMAD, J.; LEIP, A.; MISSELBROOK, T.; NICHOLSON, F.; POULSEN, H.; PROVOLO, G.; SORENSEN, P.; VINNERAS, B.; WEISKE, A.; BERNAL, M.; BÖHM, R.; JUHÁSZ, C.; MIHELIC, R. 2007. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livest. Sci.* **112**, 180-191.
- PETIT, H.; TREMBLAY, G. 1995. Ruminal fermentation and digestion in lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *J. Dairy Science* **78**, 342-352.
- PEYRAUD, J.; VERITE, R.; DELABY, L. 1995. Nitrogen excretion by dairy cows: effect of the diet and of the level of production. *Fourrages* **142**, 131-144.

POWELL, J.; WATTIAUX, M.; BRODERICK, G.; MOREIRA, V.; CASLER, M. 2006. Dairy Diet Impacts on Fecal Chemical Properties and Nitrogen Cycling in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **70**, 786-794.

PUTNAM, P.; LOOSLI, J. 1959. Effect of feeding different ratios of roughage to concentrate upon milk production and digestibility of the ration. *J. Dairy Sci.*, **42**, 1070-1078.

RIVEROS, E.; ARGAMENTERIA, A. 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. 1. Forrajes verdes. 2. Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal* 12-49.

SALCEDO, G. 2005. Evaluación del Net Carbohydrate and Protein System en vacas de leche alimentadas exclusivamente a pasto. *XLV R.C. de la SEEP*, 175-182, Gijón (Asturias).

SALCEDO, G. 2006. Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. Documentos técnicos de Medio Ambiente. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria (España).

SALCEDO, G. 2007. Efectos del tipo de conservante añadido o no, al ensilado de hierba sobre la excreción de fósforo en novillas de reposición y vacas lecheras. *Actas de la XLVI R.C. de la S.E.E.P.*, 409-414. Vitoria (España).

SATTER, L. ; WU, Z. 1999. New strategies in ruminant nutrition: getting ready for the next millennium. Pages 1-24 In: Proc. Southwest Nutr. Management Conf., Phoenix, AZ. Univ. Arizona, Tucson, AZ.

SCHWAB, C.; HUHTANEN, P.; HUNT, C.; HVELPLUND, T. 2005. Nitrogen requirements of cattle. In: Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle. Edited by E Pfeiffer and A Hristov. UK.

SHAVER, R.; HOWARD, W. 1995. Are we feeding too much phosphorus? *Hoards Dairyman*: 280-281.

SHELLENBERGER, P.; KESIER, E. 1961. Rate of passage of feeds through the digestive tract of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* **20**, 416-419.

SILVA, R.; VALADARES, R.; VALADARES, S.; CECON, P.; CAMPOS, J.; OLIVEIRA, G.; OLIVEIRA, A. 2001. Urea for dairy cows. 1. Intake, digestibility, milk production and composition. *Braz J. Anim. Sci.* **30**, 1639-1649.

SILVA, E.; SUAREZ, M.; HERRERA, R.; NAKANO, T.; OZIMEK, L.; VERDALET, I. 2007. Alto contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche y productos derivados al incorporar semillas de girasol a la dieta vacuna. Implicaciones sobre el riesgo trombo/aterogénico. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, **57**, 173-178.

SINCLAIR, L.; GARNSWORTHY, P.; NEWBOLD, J.; BUTTERY, P. 1993. Effects of synchronising the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *Journal of Agricultural Science* **120**, 251-263.

SINCLAIR, L.; GARNSWORTHY, P.; NEWBOLD, J.; BUTTERY, P. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *Journal of Agricultural Science*, **124**, 463-472.

SINK, S.; KNOWLTON, K.; HERBEIN, J. 2000. Economic and environmental implications of overfeeding phosphorus on Virginia dairy farms. *J. Anim. Sci.* **78** (Suppl. 2):4.

SLATER, A.; EASTRIDGE, M.; FIRKINS, J.; BIDINGER, L. 1999. Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **83**, 313-321.

SMITH, L.; GOERING, H.; GORDON, G. 1972. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *J. Dairy Sci.*, **55**, 1140-1147.

SMITS, M.; VALK, H.; ELZING, A.; KEEN, A. 1995. Effect of protein nutrition on ammonia emission from dairy cow a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Sci.*, **44**, 147-156.

SPIEKERS, H.; BRINTRUP, R.; BALMELLI, M.; PFEFFER, E. 1993. Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **69**, 37-43.

SSPS 11. 2002. Guía para análisis de datos. Ed. Mcgraw-Hill.

STELLETTA, C.; BADAN, M.; MORGANTE, M.; GIANESELLA, M.; BERZAGHI, P.; RAVAROTTO, L.; LOTTO; ANDRIGHETTO, I. 2005. Acid-base status, and the pH of feces, urine, muzzle and uterus in dairy cows affected by Subacute Rumen Acidosis (SARA). *J. Anim. Sci.* Vol. **83**, Suppl. 1/*J. Dairy Sci.* Vol. 88, Suppl. 1.

STEVENS, F.; BUSH, L.; STOUT, J.; WILLIAMS, E. 1971. Effects of varying amounts of calcium and phosphorus in rations for dairy cows. *J. Dairy Sci.* **54**, 655-651.

SUDWEEKS, E.; ELY, S.; MERTENS, D.; SISK, L. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughage value index system. *J. Anim. Sci.* **53**, 1406-1411.

SUTTON, D.; BINES, J.; MORANT, S.; NAPPER, D.; GIVENS, D. 1987. A comparison of starchy and fibrous concentrates for milk production, energy utilization and hay intake by Friesian cows. *J. Agric. Sci. (Camb.)* **109**, 375-386.

SUTTON, D.; MORANT, S.; BINES, J.; NAPPER, D.; GIVENS, D. 1993. Effect of altering the starch:fibre ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. *J. Agric. Sci. (Camb.)* **120**, 379-390.

TAMMINGA, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *J. Dairy Sci.* **75**, 345-357.

TAMMINGA, S.; VERSTEGEN, M. 1996. Implications of nutrition of animals on environmental pollution. In: P. C. Carnsworthy, HARESING, W. and D. J. A. COLE (ed.) *Recent Advances in Animal Nutrition*. pp 121–134. Nottingham University Press, U.K.

TERNOUTH, J. 1990. Phosphorus and beef production in Northern Australia. *Trop. Grasslands* **24**, 159–169.

TYMMEN, H.; PATTON, S. 1988. Milk fat globules: Fatty acid composition, size and in vivo regulation of fat liquidity. *Lipids* **23**, 685–689.

TYRREL, H.; REID, J. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *J. Dairy Sci.* **48**, 1215-1233.

TYRRELL, H.; MOE, P. 1972. Net energy value for lactation of a high and low concentrate ration containing corn silage. *J. Dairy Sci.*, **55**, 1106–1112.

ULBRICHT, T.; SOUTHGATE, D. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, **338**, 985-992.

VALK, H.; BEYNEN, A. 2003. Proposal for the assessment of phosphorus requirements of dairy cows. *Livestock Production Science*, **79**, 267-272.

VALK, H.; SEBEK, L. 1999. Influence of prolonged feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, reproduction and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **82**, 2157-2163.

VALADARES, S.; BRODERICK, G.; VALADARES, R.; CLAYTON, M. 2000. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *J. Dairy Sci.*, **83**, 106–114.

WALDO, D.; JORGENSEN, N. 1981. Forages for high animal production: Nutritional factors and effects of conservation. *J. Dairy Sci.*, **64**, 1207-1229.

VAN BRUCHEM, J.; SCHIERE, H.; VANKEULEN, H. 1999. Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient use of nutrients. *Livestock Production Science*. **61**, 145-153.

VAN HORN, H.; WILKIE, A.; POWERS, W.; NORDSTEDT, R. 1994. Components of dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.* **77**, 2008-2030.

VAN KESSEL, J.; RUSSEL, J. 1997. The endogenous polysaccharide utilization rate of mixed ruminal bacteria and the effect on ruminal fermentation rates. *J. Dairy Sci.* **80**, 2442-2448.

VAN SOEST, P.J. 1994. Nitrogen metabolism. Page 290-311 in *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. P.J. Van Soest, ed. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, NY.

VAN SOEST, P.; WINE, R. 1967. The use of detergents in analysis of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell wall constituents. *J. AOAC* **50**:50.

VAN SOEST, P.; ROBERTSON, J.; LEWIS, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* **74**, 3583-3597.

VAN VUUREN, A.; VAN DER KOELEN, C.; VALK, H.; DE VISSER, H. 1993. Effects of Partial Replacement of RyeGrass by low Protein Feeds on Rumen Fermentation and Nitrogen Loss by Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **76**, 2982-2993.

WEISS, W.; SHOCKEY, W. 1991. Value of orchardgrass and alfalfa silages fed with varying amounts of concentrates to dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **74**, 1933-1943.

WEISS, B. 2002. Protein and carbohydrate utilization by lactating dairy cows. Published in Proceedings Southeast Dairy Herd Management pages 72-80. Efficiency of Feed Use. *J. Dairy Sci.* **89**, 2694-2704.

WELCH, J.; SMITH, A. 1969. Influence of forage quality on rumination time in sheep. *J. Anim. Sci.*, **28**, 813-818.

WELCH, J.; SMITH, A. 1970. Forage quality and rumination time in cattle. *J. Dairy Sci.*, **53**, 797-800.

WU, Z.; SATTER, L. 2000. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. *J. Dairy Sci.* **83**, 1042-1051.

WU, Z.; SATTER, L. 2000. Milk production and reproductive of dairy cows feed two concentrations of phosphorous for two years. *J. Dairy Sci.* **83**, 1052-1063.

WU, Z.; SATTER, L.; SOJO, R. 2000. Milk production, reproductive performance, and excretion of phosphorous by dairy cows fed three amounts of amounts of phosphorous. *J. Dairy Sci.* **83**, 1028-1041

WU, Z.; SATTER, L.; BLOHOWIAK, A.; STAUFFACHER, R.; WILSON, J. 2001. Milk production, phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.* **84**, 1738-1748.



3

Utilización y producción
de forrajeras
abonadas con purín



Utilización y producción de forrajeras abonadas con purín

Movimiento de N y P en el suelo según el tipo de purín aplicado

G. Salcedo



MOVIMIENTO DE N Y P EN EL SUELO SEGÚN EL TIPO DE PURIN APLICADO

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

- 2.1. Suelo y clima
- 2.2. Fertilización
- 2.3. Forrajes
- 2.4. Mediciones experimentales
- 2.5. Determinaciones analíticas
- 2.6. Cálculos
- 2.7. Análisis estadístico

3. Resultados y discusión

- 3.1. Variación de pH, MO, N_t, C:N, Ce y P

- 3.1.1. *Cultivos forrajeros*

4. Conclusiones parciales

Resumen

En el presente experimento se estudia la evolución y composición química del suelo abonado con purín de vacuno lechero durante dos años a la dosis de 0, 20, 40 y 60 toneladas ha^{-1} según un diseño experimental de parcelas divididas. La parcela mayor corresponde al tipo de asociación forrajera: Guisantes [*Pisum sativum* L. cv “Gracia”]; Habines [*Vicia faba* L. cv “Lucy”]; Triticale x Habines [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Lucy”]; Triticale x Guisantes [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Gracia”] y Veza x Avena [*Vicia Sativa* L. cv “Aneto” y Avena Sativa L. cv “Orlanche”] en rotación con maíz para ensilado cv “Fisco”), también fertilizado con 0, 20, 40 y 60 t ha^{-1} y la menor, el tipo de purín (Intensivo vs. Semiintensivo). Los resultados mostraron diferencias significativas de pH, N total, conductividad eléctrica y P Olsen ($P < 0.001$) y $P < 0.01$ la materia orgánica oxidable. Por el contrario, según el tipo de forraje (siembra pura de leguminosas -guisantes- y asociación de cereal -triticale- x leguminosa -guisante), no se observaron diferencias para los parámetros analizados entre forrajes. La dosis aumentó la concentración de N total y conductividad eléctrica ($P < 0.01$). La interacción tipo de forraje x purín, no fue diferente. El N total del suelo fue la variable más relevante del sistema, incrementando un 46% respecto al testigo sin purín.

Palabras clave: composición química, purín, suelo.

Abstract

In the present experiment studies the evolution and chemical composition of fertilized soil with dairy cattle slurry for two years at doses of 0, 20, 40 and 60 t ha⁻¹, according to a split-plot experimental design. The largest parcel is the type of forage association: Peas [*Pisum sativum* L. cv "Gracia"]; Beans [*Vicia faba* L. cv "Lucy"]; Triticale x Beans [x *Triticosecale* Wittm. cv "Trujillo" and "Lucy"]; Triticale x Peas [x *Triticosecale* Wittm. cv "Trujillo" and "Grace"] and Oats x Vetch [*Vicia sativa* L. cv "Aneto and *Avena sativa* L. cv "Orlanche"] in rotation with corn silage Cv. Fisco), also fertilized with 0, 20, 40 and 60 t ha⁻¹ and lowest for the type of manure (Intensive vs. Semiintensive). The results showed significant differences in pH, total N, electrical conductivity and Olsen P ($P < 0.001$) and $P < 0.01$ oxidizable organic matter. By contrast, the type of forage (legume seed peas pure and association triticle cereal x legume pea), no difference was seen for parameters between forages. The dose increased the concentration of total N and electrical conductivity ($P < 0.01$). The interaction type of forage x manure, was no different. The total soil N was the most important variable in the system, increasing 46% compared with the control without slurry.

Key words: chemical composition, manure, soil.

1. Introducción

Los purines de vacuno lechero son una fuente importante de nutrientes en la explotación para la producción de alimentos y, al mismo tiempo, representan un problema medioambiental. A partir de la década de los 90 las explotaciones se orientaron a sistemas intensivos con poca superficie; aumentos de carga ganadera; alimentación basada en raciones al 50-60% de concentrado y 50-40% de forraje. La especialización de algunas zonas de Cantabria, principalmente en la zona Costera, como por ejemplo la de Ribamontán al Mar, con cargas de 1.34 vacas mayores de 24 meses (Salcedo, 2006), aumenta esta problemática medioambiental. La producción anual de estiércol (heces y orina) para vacas mayores de 24 meses es estimada en 940253 t⁻¹ de orina y 264849 t MS año (Salcedo, 2006).

El suelo como elemento dinámico, permite, entre otras funciones, filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y reducir la toxicidad de materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo subproductos urbanos e industriales y depósitos atmosféricos (Seybold *et al.*, 1998). Su capacidad de biodegradar los residuos, unido a que los elementos contaminantes permanezcan en el suelo durante más tiempo sin que se observen a corto plazo efectos nocivos, comparado con el agua o la atmósfera, hacen de este elemento un recurso más “resistente”. Sin embargo, esta capacidad es limitada, provocando en muchos casos su degradación y, por consiguiente, la disminución de su capacidad actual o futura para generar en términos de calidad y cantidad, bienes o servicios. Diversos estudios coinciden en afirmar que el método más efectivo y económico de afrontar el problema de la acumulación de desechos orgánicos procedentes de la ganadería intensiva, es la aportación directa al suelo (Schröder *et al.*, 2004; Westernam y Bicudo, 2005).

La aplicación racional y controlada de los purines de vacuno lechero, presenta gran interés como fertilizante. La importancia que tiene reemplazar la fertilización mineral por la de tipo orgánico, contribuye a minimizar los costes de producción, a la vez que ayuda a mejorar las condiciones medioambientales (Schröder, 2005). La fertilización mineral aplicada de forma no controlada, puede ocasionar serios problemas de contaminación y degradación del suelo (Goulding, 2000). Parte del N demandado por las plantas es de tipo inorgánico, como producto de la mineralización de compuestos orgánicos del suelo. La tasa de mineralización depende de las condiciones ambientales, como humedad y oxígeno, presión de CO₂, aireación, pH y temperatura; pero también, tipo de suelo y prácticas culturales, como la rotación de cultivos. La

eficiencia de mineralización del N es máxima, cuando la etapa de liberación se sincroniza con la absorción.

El objetivo de este experimento se centra en estudiar la evolución del suelo después de aplicaciones crecientes de purín del vacuno lechero en cultivos forrajeros de invierno en rotación con maíz.

2. Material y métodos

2.1. Suelo y clima

Las características físico-químicas del suelo a diferente profundidad en las que se realizó el experimento, corresponden a un suelo de textura Franco-Arcillolimoso, bajo contenido en materia orgánica, N total, fósforo y ligeramente ácido (Tabla 1).

■ ■ Tabla 1.- Composición físico-química del suelo

Profundidad, cm	pH	MO total, %	MO oxidable, %	N _t , %	C/N	P, ppm
10	5.5	2.63	2.02	0.13	9.04	8.2
20	5.55	2.43	1.93	0.1	10.8	7.8
30	5.83	1.07	0.82	0.05	9.5	7.1
Medias	5.62	2.04	1.57	0.093	9.82	7.7
Std	0.14	0.69	0.53	0.032	0.76	0.45
Textura	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación USDA		
10 cm	18.7	45	36.2	Franco-arcillolimoso		
20 cm	23.7	42.5	34.3	Franco-arcilloso		
30 cm	16.8	46.8	36.2	Franco-arcillolimoso		
Conjunto	20	46.2	33.7	Franco-arcillolimoso		

N_t: nitrógeno total, **C/N**: relación Carbono / Nitrógeno; **P**: fósforo asimilable Olsen; **Std**: desviación estándar; **USDA**: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; **ppm**: partes por millón

Las condiciones climatológicas durante el experimento vienen reflejadas en la Figura 1. Las temperaturas medias y las precipitaciones en los períodos octubre del 2006 a diciembre del 2006; enero 2007 a diciembre 2007 y enero 2008 a septiembre 2008 fueron de 15 °C, 14.4 °C y 15.18 °C; 323, 868 y 1159 mm m² respectivamente. El déficit hídrico se registró en los meses de abril, junio, julio, agosto y septiembre en el año 2007 y en enero, julio, agosto y septiembre el año 2008 (Figura 2). La mayor evapotranspiración potencial se localizó durante el mes de julio en ambos años, con valores medios de 102 mm m², coincidiendo con el máximo crecimiento del maíz.

Figura 1.- Climograma durante el experimento

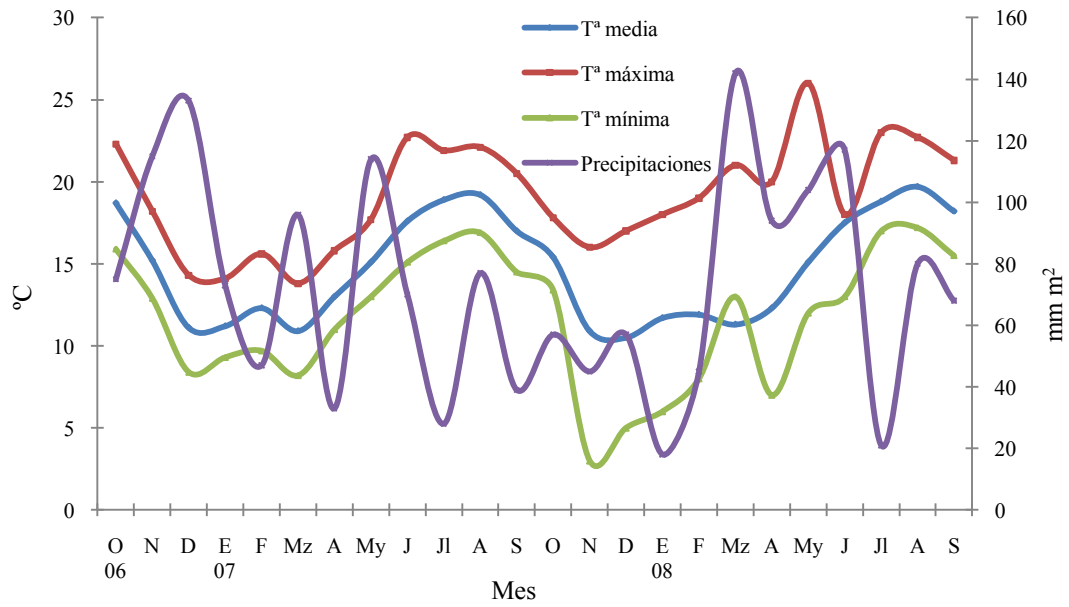
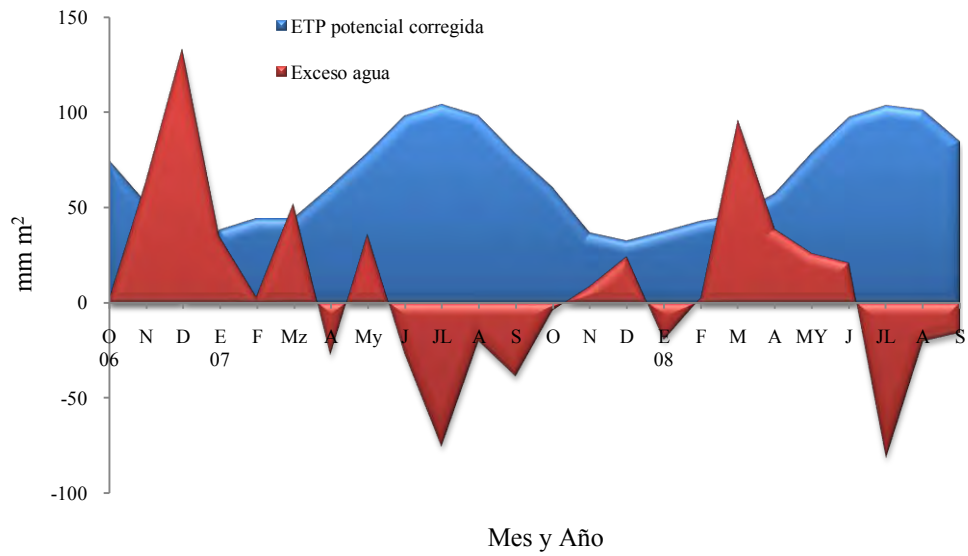


Figura 2.- Humedad del suelo



2.2. Fertilización

El terreno es fertilizado con dos tipos de purín *intensivo* (sistema de alimentación con carro mezclador) vs. *semiintensivo* (sistema a pastoreo) a las dosis de 0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹ (Tabla 2). Estas dosis elegidas corresponden a múltiplos de producción de purín por vaca y año (Salcedo, 2006). La composición química y dosis de N y P por hectárea Figuran en la Tablas 3 y 4.



Aplicación de purín en convencional

Tabla 2.- Cronología de las prácticas culturales en el tiempo y muestreos de los diferentes experimentos

		1ª ROTACION		2ª ROTACION				
		FORRAJERAS 06 – 07		FORRAJERAS 07 – 08				
Cultivo anterior		Maíz (11020 kg MS ha ⁻¹)		Maíz (13268 kg MS ha ⁻¹)				
Aplicación purín		16-10-06 0, 20, 40 y 60 t ha ⁻¹		24-9-07 0, 20, 40 y 60 t ha ⁻¹				
Cultivos		Habines Guisantes Triticale x Guisantes Triticale x Habines Veza x Avena		Habines Guisantes Triticale x Guisantes Triticale x Habines Veza x Avena				
Enterrado purín		16-17-06		24-9-07				
Siembra		18-10-06 Habines: 200 kg ha ⁻¹ Guisantes: 200 kg ha ⁻¹ Triticale x Guisantes: 150 y 65 kg ha ⁻¹ Triticale x Habines: 150 y 50 kg ha ⁻¹ Veza x Avena: 90 y 160 kg ha ⁻¹		15-10-07 Habines: 200 kg ha ⁻¹ Guisantes: 200 kg ha ⁻¹ Triticale x Guisantes: 150 y 65 kg ha ⁻¹ Triticale x Habines: 150 y 50 kg ha ⁻¹ Veza x Avena: 90 y 160 kg ha ⁻¹				
Rodillo		18-10-06		-				
Muestreos forraje		5-2-07 6-3-07 17-4-07 Habines: 17-3-07		29-1-08 27-2-08 7-4-08 23-4-08				
Muestreos tierra		20-12-06 7-2-07 6-3-07 18-4-07		14-9-07 19-12-07 19-2-08 30-4-08				
Recolección y estados de madurez de los forrajes		17-4-07 Ensilado rotopacas Habines: <i>Floración</i> Guisantes: <i>Grano pastoso</i> Triticale x Guisantes: <i>Final espigado y grano pastoso</i> Triticale x Habines: <i>Final espigado y grano pastoso</i> Veza x Avena: <i>Inicio espigado y floración</i>		23-4-08 <i>Ensilado rotopacas</i> <i>Habines: Floración</i> <i>Guisantes: Grano pastoso</i> <i>Triticale x Guisantes: Floración y grano pastoso</i> <i>Triticale x Habines: Floración y grano pastoso</i> <i>Veza x Avena: Inicio espigado y floración</i>				
Labor 30 cm		MAIZ 07 23-4-07		MAIZ 08 -				
Aplicación purín		24-4-07 0, 40, 40 y 60 t ha ⁻¹		12-5-08 0, 40, 40 y 60 t ha ⁻¹				
Enterrado purín (igual dosis)		24-4-07		21-5-08				
Siembra		8-5-07		21-5-08				
Variedad		Fisco, 350 FAO		Fisco, 350 FAO				
Plantas ha ⁻¹		100000		100000				
Herbicida 5 l en 400 agua: 45% Acetacoloro y 21,4 Terbutilazina		18-5-07		21-5-08				
Muestreos tierra		17-4-07 26-7-07 14-9-07		23-4-08 30-9-08				
Recolección		14-9-07 Maíz: 1/3 en leche		29-9-08 Maíz: 1/3 en leche				
		5-2-07	6-3-07	19-4-07	29-1-08	27-2-08	7-4-08	23-4-08
G	Vegetativo	I.F.V.	G. lechoso	Vegetativo	Floración	I.F.V.	G. lechoso	
T x G	Final encañado	Inicio espigado	Inicio floración	Final encañado	Inicio espigado	Final espigado	Floración	
	Vegetativo	Floración	I.F.V.	Vegetativo	Floración	I.F.V.	G. lechoso	
T x H	Final encañado	Inicio espigado	Inicio floración	Final encañado	Inicio espigado	Final espigado	Floración	
	Vegetativo	Floración	I.F.V.	Vegetativo	Floración	I.F.V.	G. lechoso	
V x A	Final encañado	Entallado	Inicio espigado	Final encañado	Entallado	Entallado	Inicio espigado	
	Vegetativo	Hojoso	Inicio floración	Vegetativo	Vegetativo	Vegetativo	Inicio floración	
H	-	-	Floración	Vegetativo	Vegetativo	I.F.V.	G. lechoso	

Tabla 3.- Composición físico-química de los purines empleados en cada rotación de cultivo

	I		S		I		S	
	Forrajeras	Maíz	Forrajeras	Maíz	Forrajeras	Maíz	Forrajeras	Maíz
	1º año	1º año	1º año	1º año	2º año	2º año	2º año	2º año
MS, %	6.57	10.5	7.75	8.38	10.5	12.2	6.68	0.85
pH	7.4	7.52	7.96	7.07	7.22	7.26	6.65	6.8
N _t , %	0.42	0.28	0.65	0.28	0.39	0.37	0.19	0.064
N-NH ₄ , % N _t	46.6	43.5	72.3	62.3	38.8	37.4	9.5	34.5
N orgánico, %	0.22	0.13	0.18	0.17	0.24	0.23	0.17	0.045
C/N	7.33	12.2	4.86	11.3	11.3	13.9	16.4	7.89
P, %	0.46	0.65	0.51	0.67	1.05	1.09	0.79	2.03
MO, %	72.4	56.4	78.0	64.6	73.8	72.9	84.1	59.4
CE, mS	-	1.58	-	2.78	18.8	14.9	4.64	16.2

I: purín intensivo; S: purín semiintensivo; MS: materia seca; N_t: nitrógeno total; C/N: relación Carbono / Nitrógeno; P: fósforo; MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica

Tabla 4.- Aportes de N, NH₄, N orgánico y Fósforo (2006-2007 y 2007-2008)

	I		Rotación		S		Rotación	
	Forrajeras	Maíz	06-07		Forrajeras	Maíz	06-07	
20 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	84	57	141	130	55	185		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	39	25	64	94	35	128		
N orgánico, kg ha ⁻¹	45	32	77	36	21	57		
Fósforo, kg ha ⁻¹	6	14	20	8	11	19		
40 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	168	113	281	260	111	372		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	78	49	127	188	68	257		
N orgánico, kg ha ⁻¹	89	64	154	72	42	114		
Fósforo, kg ha ⁻¹	12	27	39	16	22	38		
60 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	252	169	422	390	167	557		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	117	74	191	282	104	386		
N orgánico, kg ha ⁻¹	134	96	232	108	63	171		
Fósforo, kg ha ⁻¹	18	41	59	24	34	57		
	I	I	Rotación		S		Rotación	
	Forrajeras	Maíz	07-08		Forrajeras	Maíz	07-08	
20 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	79	74	153	39	13	51		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	31	28	59	3.8	4.42	8.2		
N orgánico, kg ha ⁻¹	49	46	95	35	9	44		
Fósforo, kg ha ⁻¹	22	27	48	10.5	3.5	14		
40 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	158	148	306	77	26	103		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	62	55	118	7.6	8.8	16		
N orgánico, kg ha ⁻¹	97	42	196	69	18	88		
Fósforo, kg ha ⁻¹	44	53	97	21	7	28		
60 t ha⁻¹								
N _t , kg ha ⁻¹	237	222	459	116	38	154		
N-NH ₄ , kg ha ⁻¹	94	83	177	11	13	25		
N orgánico, kg ha ⁻¹	56	138	195	104	27	131		
Fósforo, kg ha ⁻¹	66	80	146	32	11	42		

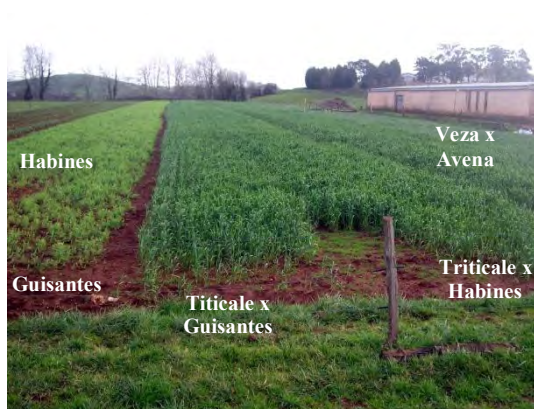
I: purín intensivo; S: purín semiintensivo

2.3. Forrajes

La superficie de la parcela experimental es de 0.85 hect3reas, distribuida en subparcelas de 0.17 hect3reas por cultivo y cinco forrajes: Guisantes [*Pisum sativum* L. cv “Gracia”]; Habines [*Vicia faba* L. cv “Lucy”]; Triticale x Habines [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Lucy”]; Triticale x Guisantes [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Gracia”] y Veza x Avena [*Vicia Sativa* L. cv “Aneto” y Avena Sativa L. cv “Orlanche”], sembrados a chorrillo. Todos los cultivos formaron parte de la rotaci3n con ma3z (Cv. Fisco) para ensilado, sembrado con sembradora neum3tica a golpes.



Siembra a chorrillo de forrajeras de invierno



Campo experimental

2.4. Mediciones experimentales (suelo y forrajes)

2.4.1. *Suelo*: en todos los casos (forrajeras y ma3z) el muestreo se realiza con tubo toma-muestras dise1ado para tal efecto. Las fechas del mismo aparecen indicadas

en la Tabla 2, tomadas a tres profundidades (10, 20 y 30 cm) de los cultivos de guisante y triticale x habines, clasificándose para su posterior análisis en función del tipo de purín, dosis y profundidad.

2.4.2. *Forrajes*: la producción de forraje por hectárea es estimada mediante la siega con segadora manual de pilas a 2 cm del suelo, de tres transectos con un marco de 0.5 x 0.5 m, lanzado al azar dentro de cada cultivo forrajero, tipo de purín y dosis. Las fechas de muestreo dentro de cada año Figuran en la Tabla 2. Una alícuota de cada transecto es secada en estufa a 60°C durante 48 h, para estimar la producción de materia seca. Otra muestra de mayor cantidad de forraje de igual forma secada y molida, para su posterior análisis químico-bromatológico.

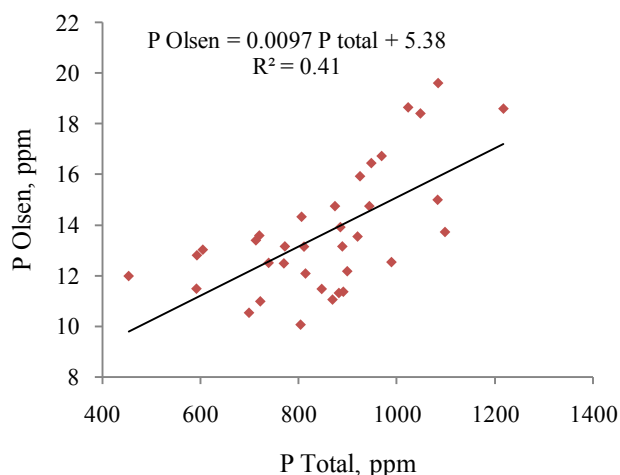


Muestreo de forraje

2.5. Determinaciones analíticas

2.5.1. *Suelo*: las muestras de suelo son secadas al aire, tamizadas y molidas a 2 mm, determinándose en el Laboratorio Agrario del CIFA (Muriedas) las fracciones de arenas y limos por el método de Bouyoucos (MAPA, 1982). La materia orgánica total y oxidable (Walkely y Black, 1934); pH con potenciómetro Crison BasiC20 y conductividad eléctrica con conductímetro Crison GLP31 en el extracto de saturación (Richards, 1954); N total con el KjeltecTM 2300; fósforo total sobre cenizas por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con el analizador FIAstar 5000 en el laboratorio de nutrición animal del I.E.S. “La Granja”. Para determinar el contenido de P asimilable (Olsen), se analizaron muestras de tierra en el CIFA (Muriedas) y correlacionado con el contenido en P total (Figura 3).

Figura 3.- Relación P total vs. P asimilable



2.5.2. *Forrajes*: la materia seca, en estufa a 80°C durante 24 horas; las cenizas, por incineración de la muestra a 550°C; N total como N-Kjeldahl con el Kjeltect™ 2300; las fibras ácido y neutro detergente (FAD y FND), según Goering y Van Soest (1970); digestibilidad enzimática de la materia orgánica determinada por el método FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987); la energía metabolizable EM (MJ kg⁻¹ MS) = k x MOD, donde MOD = MO x D_o/100 y k = 0,16 (MAFF, 1984) y el fósforo sobre cenizas por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con el analizador FIAstar 5000.

2.6. Cálculos

Los coeficientes de utilización del N (CUN_{MS}: kg de materia seca por kilogramo de N aplicado y CUN_N: kg de N extraído por kg de N aplicado) de cada cultivo forrajero, tipo de purín y dosis se estiman como:

$$CUN_{\text{Materia Seca}} \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg MS ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MS ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CUN_{\text{Nitrógeno}} \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg N ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CU_{\text{Fósforo}} \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg P ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg P ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg P ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

Además, para la rotación (forrajas + maíz) se valora la eficiencia de la materia orgánica digestible (MOD) y energía metabolizable (EM) por kilogramo de N aplicado con purín como:

$$CUN_{\text{Materia Orgánica Digestible}} \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CUN_{\text{Energía Metabolizable}} \text{ MJ EM kg}^{-1} = (\text{MJ EM ha}^{-1}_{\text{f purín}} - \text{MJ EM ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

2.7. Análisis estadístico

El diseño experimental de campo fue de parcelas divididas, donde la parcela mayor corresponde al cultivo forrajero (triticale x guisantes; triticale x habines; veza x avena; guisantes y habines) y la menor, el tipo de purín (*intensivo* vs. *semiintensivo*) a

cuatro dosis (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹). El tratamiento estad3stico es dispuesto como un arreglo factorial con tres v3as de clasificaci3n y tres repeticiones. Los factores fijos fueron: asociaci3n forrajera, dos tipos de pur3n (*intensivo* vs. *semiintensivo*) y cuatro dosis (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹) para la producci3n, composici3n qu3mico-bromatol3gica y eficiencias. Para la composici3n qu3mica del suelo se incluy3 la variable fija profundidad (10, 20 y 30 cm). Todos los an3lisis fueron realizados en el paquete estad3stico SSPS 11 (2002).

3. Resultados y discusi3n

3.1. Variaci3n del pH, materia org3nica, N total, relaci3n C/N, CE y P

3.1.1. Cultivos forrajeros

La composici3n f3sico-qu3mica del suelo seg3n el tipo de pur3n, forraje, profundidad y dosis se encuentra recogida en la Tabla 5.

Tabla 5.- Composici3n f3sico-qu3mica del suelo

	Pur3n		Forraje			Profundidad, cm			Dosis, t ha ⁻¹			
	Testigo	I	S	G	T*G	10	20	30	0	20	40	60
pH	5.86b	5.91b	5.73a	5.83	5.82	5.82	5.81	5.84	5.86	5.78	5.85	5.83
MO _t , %	2.09a	2.91c	2.62b	2.62	2.75	2.91b	2.72b	2.41a	2.09a	2.84b	2.73b	2.7b
MO _{ox} , %	1.65a	2.22c	2.02b	2.02	2.11	2.25b	2.1b	1.84a	1.65a	2.18b	2.1b	2.0b
C/N	7.73b	6.09a	6.68a	6.55	6.56	6.71	6.62	6.32	7.73b	6.27a	6.29a	6.58a
C	1.13a	1.29b	1.17a	1.19	1.24	1.31b	1.23b	1.11a	1.13a	1.26b	1.22ab	1.2ab
N _t , %	0.11a	0.22c	0.19b	0.18b	0.20a	0.20b	0.19ab	0.18a	0.11a	0.21c	0.20b	0.19b
CE, μ S/cm	157b	148b	116a	141	128	131	138	137	160b	137a	138a	121a
P _t , ppm	441a	534b	526b	494b	548a	529	521	506	9.65a	10.7b	10.3ab	10.5b
P _{Olsen} , ppm	9.65a	10.6b	10.4b	10.1b	10.7a	10.5	10.4	10.3	441a	551b	508ab	531b

I: pur3n intensivo; **S:** pur3n semiintensivo; **MO_t:** materia org3nica total; **MO_{ox}:** materia org3nica oxidable; **C/N:** relaci3n Carbono / Nitr3geno; **C:** carbono; **N_t:** nitr3geno total; **CE:** conductividad el3ctrica; **P_t:** f3sforo total; **P_{Olsen}:** f3sforo Olsen o asimilable; a, b, c: dentro de cada fila para el pur3n, forraje, profundidad y dosis difieren P<0.05.

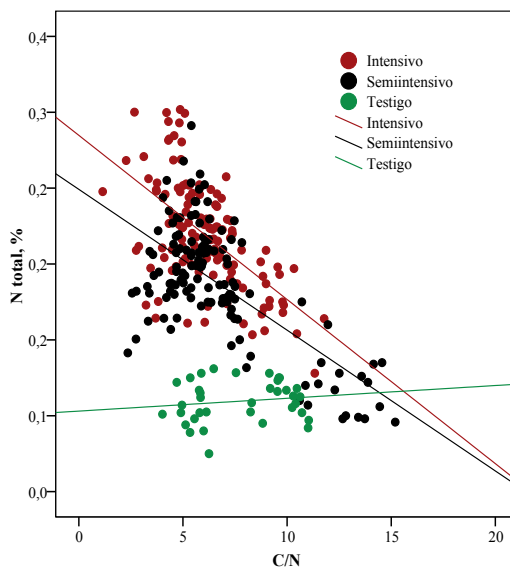
El pH, materia org3nica total (MO_t), oxidable (MO_{ox}), nitr3geno total (N_t) es mayor con el pur3n intensivo (P<0.05), sin diferencias el f3sforo total (P_t) y el asimilable (P Olsen) y s3, (P<0.05) respecto al testigo (Tabla 5).

Entre cultivos forrajeros, la concentraci3n de N_t y P es superior en la asociaci3n triticale x guisantes (Tabla 5), atribuido a una proporci3n mayor de rastrojo y ra3ces que contribuya a incrementarlos, como lo corrobora el mayor porcentaje num3rico de materia org3nica.

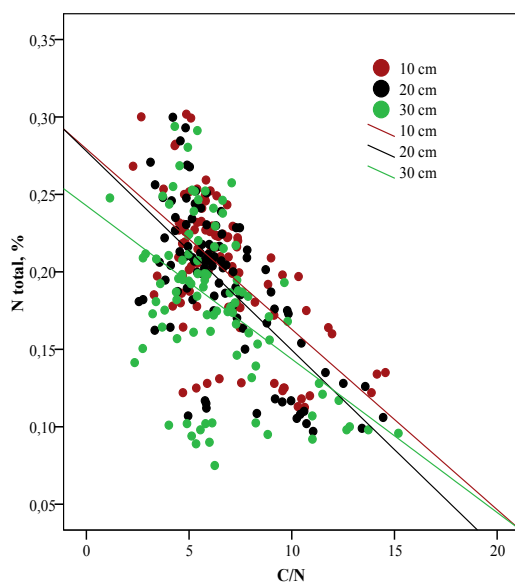
Como consecuencia del aporte de pur3n, el N_t incrementa y desciende significativamente la relaci3n C/N ($r^2=0.34$ P<0.001 el intensivo; $r^2=0.45$ P<0.001 el semiintensivo), sin relaciones el testigo (Figura 4), al igual que con la profundidad ($r^2=0.38$ P<0.001, 10 cm; $r^2=0.43$, P<0.001, 20 cm y $r^2=0.23$ 30 cm) (Figura 5). En

cualquier caso, la relación al inicio del experimento la relación C/N está situada dentro de los niveles de 9 a 11 considerados como óptimos.

■ ■ ■ **Figura 4.-** Relación C/N y N_t según el tipo de purín aplicado



■ ■ ■ **Figura 5.-** Relación C/N y N_t en función de la profundidad



La materia orgánica total (MO_t), la materia orgánica oxidable (MO_{ox}) y el nitrógeno total (N_t) disminuyen con la profundidad ($P < 0.05$), sin diferencias significativas entre 10 y 20 cm (Tabla 5). Para el N_t y P asimilable, la concentración es similar en los primeros 20 cm de suelo, con valores medios de 0.201% - 10.5 ppm; 0.192% - 10.4 ppm y 0.18% - 10.3 ppm para 10, 20 y 30 cm respectivamente (Tabla 5).

Según la dosis de purín aplicado, no se apreciaron diferencias significativas para MO_t , MO_{ox} y conductividad eléctrica (CE) entre las dosis 20, 40 y 60 t ha⁻¹ y sí, ($P < 0.05$) respecto al testigo sin purín. Contrario a lo que cabía esperar, la mayor

concentración de N_t se registra en la dosis de 20 t ha^{-1} ($P < 0.05$), sin diferencias entre 40 y 60 t ha^{-1} , (Tabla 5). El análisis de contrastes ortogonales manifiesta tendencias lineales para el N desde el testigo a la dosis de 20 t ha^{-1} ; sin diferencias entre 20 - 40 y 60 t ha^{-1} (Tabla 8). La conductividad eléctrica en todos los casos es similar a la señalada por Calvo de Anta *et al.* (1987) en suelos naturales de Galicia.

■ ■ ■ **Tabla 6.-** Análisis de varianza entre variables

	pH	MO _t	MO _{ox}	C/N	C	N _t	CE	P _t	P _{Olsen}
Tipo purín	***	**	*	NS	*	***	***	***	***
Forraje	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Dosis	NS	NS	NS	NS	NS	***	**	NS	NS
Profundidad	NS	*	**	NS	NS	*	NS	NS	NS
Purín * Forraje	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Purín * Dosis	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Purín * Profundidad	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Purín * Forraje * Dosis	**	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Purín * Forraje * Dosis * profundidad	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

■ ■ ■ **Tabla 7.-** Análisis del suelo según tipo de purín y cultivo forrajero

	Guisantes				Triticale * Guisantes			
	Testigo	I	S	et	Testigo	I	S	et
pH	5.78	5.94	5.90	0.037	6.10	6.09	5.80	0.076
MO _t , %	2.15a	2.69b	2.55b	0.073	1.97	2.80	2.33	0.173
MO _{ox} , %	1.69a	2.07b	1.96ab	0.056	1.74	2.13	1.79	0.133
C/N	6.79b	5.35a	5.93a	0.17	6.1	5.74	5.34	0.379
C	1.21	1.20	1.14	0.03	1.65b	1.24a	1.04a	0.077
N _t , %	0.111a	0.227c	0.193b	0.003	0.111a	0.219b	0.194b	0.04
CE	163b	150b	123a	3.16	146a	145a	110a	7.7
P _t , ppm	449a	626b	557b	20	400a	669b	524ab	41
P _{Olsen} , ppm	9.73a	11.3b	10.7b	0.19	9.26a	11.8b	10.4ab	0.4

I: purín intensivo; S: purín semiintensivo; et: error típico de la diferencia de medias; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

Tabla 8.- Composición físico-química del suelo según la dosis de purín aplicada y cultivo forrajero (valor medio de 10, 20 y 30 cm de profundidad)

Triticale * Guisantes

	0 t ha ⁻¹	20 t ha ⁻¹	40 t ha ⁻¹	60 t ha ⁻¹	et	L	C
pH	5.79a	5.80a	5.77a	5.9a	0.03	NS	NS
MO _t , %	2.77a	2.81a	2.78a	2.8a	0.06	NS	NS
MO _{ox} , %	2.13a	2.15a	2.14a	2.15a	0.05	NS	NS
C/N	8.24b	8.41a	6.39a	6.59a	0.23	NS	NS
C	1.23a	1.24a	1.24a	1.25a	0.031	NS	NS
N _t , %	0.11a	0.21b	0.20b	0.20b	0.004	***	***
CE	146a	139a	119a	124a	4.6	NS	NS
P _t , ppm	670a	556a	527a	579a	25	NS	NS
P _{Olsen} , ppm	11.88a	10.77a	10.49a	10.99a	0.24	NS	NS

Guisantes

	0 t ha ⁻¹	20 t ha ⁻¹	40 t ha ⁻¹	60 t ha ⁻¹	et	L	C
pH	5.88ab	5.76a	5.93c	5.77a	0.024	NS	NS
MO _t , %	2.46a	2.87b	2.69ab	2.62ab	0.052	NS	*
MO _{ox} , %	1.89a	2.21b	2.07ab	2.02ab	0.040	NS	*
C/N	7.55b	6.14a	6.26a	6.58ab	0.184	NS	*
C	1.09a	1.28b	1.20ab	1.17ab	0.023	NS	**
N _t , %	0.11a	0.22c	0.20b	0.19b	0.004	***	***
CE	163c	136b	156c	118a	3.3	***	NS
P _t , ppm	555a	549a	491a	482a	15	*	NS
P _{Olsen} , ppm	10.7a	10.7a	10.1a	10.0a	0.14	*	NS

et: error típico de la diferencia de medias; a, b, c dentro de cada fila difieren P<0.05; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

Tabla 9.- Diferencias en la composici3n qu3mica del suelo, entre dosis (t ha⁻¹), profundidad (cm) y cultivo (G y TxG) para el pur3n semiintensivo

Pur3n t ha ⁻¹	0				20				40				60			
	10	20	30	Std	10	20	30	Std	10	20	30	Std	10	20	30	Std
G, pH	5.85a	5.92ab	5.95ab	0.29	5.68ab	5.59a	5.67ab	0.26	5.92ab	5.91ab	5.94ab	0.36	5.85ab	5.76ab	5.73ab	0.33
TxG, pH	5.74ab	5.8ab	5.83ab	0.30	5.77ab	5.65ab	5.58a	0.42	5.63ab	5.64ab	5.76ab	0.35	5.61ab	5.69ab	5.84ab	0.36
<i>Std</i>	0.35	0.31	0.34		0.29	0.29	0.32		0.47	0.36	0.34		0.4	0.28	0.34	
G, MO _t	2.60bc	2.44bc	1.38a	0.63	2.86b	2.68bc	2.47bc	0.72	2.77b	2.67bc	2.42bc	0.45	2.75bc	2.69bc	2.56bc	0.56
TxG, MO _t	2.62b	2.36b	1.05a	0.73	2.85b	2.50b	2.37b	0.72	2.84b	2.54b	2.20b	0.88	3.07b	2.41b	2.59b	0.82
<i>Std</i>	0.15	0.20	0.43		0.59	0.91	0.9		0.71	0.88	0.81		0.54	0.65	0.54	
G, MO _{ox}	2.05bc	1.89bc	1.09a	0.46	2.2c	2.06bc	1.9bc	0.56	2.13bc	2.05bc	1.86bc	0.34	2.12bc	2.07bc	1.97bc	0.43
TxG, MO _{ox}	2.13b	1.90b	0.86a	0.59	2.19b	1.93b	1.82b	0.55	2.18b	1.95b	1.69b	0.67	2.36b	1.85b	2b	0.63
<i>Std</i>	0.14	0.14	0.32		0.45	0.70	0.69		0.55	0.68	0.62		0.42	0.50	0.41	
G, C/N	8	8.36	5.87	2.4	6.18	6.69	6.55	2.9	6.78	6.73	6.71	2.05	6.99	7.14	7.04	2.64
TxG, C/N	8.6	8.65	7.21	2.01	6.97	6.44	6.17	3.2	6.46	6.27	6.19	2.7	7.26	6.03	7.59	3.7
<i>Std</i>	2.15	2.25	1.76		0.83	1.67	1.48		1.68	1.87	1.81		1.25	1.84	1.71	
G, C	1.26abc	1.24abc	0.94ab	0.34	1.27abc	1.19abc	1.1abc	0.32	1.23abc	1.19abc	1.08abc	0.20	1.23abc	1.2abc	1.14abc	0.25
TxG, C	1.26ab	1.16ab	0.88a	0.36	1.27ab	1.12ab	1.06ab	0.32	1.26ab	1.13ab	0.98ab	0.39	1.37ab	1.07ab	1.15ab	0.36
<i>Std</i>	0.20	0.22	0.40		0.26	0.40	0.40		0.31	0.39	0.36		0.24	0.29	0.24	
G, N _t	0.12a	0.108a	0.096a	0.01	0.214cdef	0.193bcd	0.181bc	0.02	0.191bcd	0.185bc	0.169b	0.03	0.185bc	0.175b	0.171b	0.02
TxG N _t	0.112a	0.112a	0.093a	0.01	0.194bcd	0.19bcd	0.187bcd	0.04	0.199bcd	0.188bcd	0.17b	0.02	0.199bc	0.191bcd	0.179bc	0.02
<i>Std</i>	0.005	0.06	0.008		0.035	0.032	0.042		0.022	0.029	0.037		0.017	0.021	0.031	
G, CE	160def	174f	174f	39	109ab	125abcde	122abcd	13	138abcdef	142bcdef	145bcdef	15	117abc	100a	107ab	21
TxG, CE	133abc	146abc	144abc	9	104a	106a	110a	27	115ab	108a	107a	28	106a	115ab	120ab	19
<i>Std</i>	43	34	31		22	23	22		25	29	32		23	20	19	
G, P _t	477	430	402	70	526	507	510	204	490	502	433	163	504	456	461	135
TxG, P _t	553	413	400	155	546	574	574	286	545	534	470	239	570	649	624	423
<i>Std</i>	102	79	82		169	193	190		148	153	133		117	169	183	
G, P _{ois}	10	9.55	9.28	0.78	10.48	10.3	10.33	1.98	10.13	10.24	9.58	1.58	10.27	9.8	9.85	1.3
TxG, P _{ois}	10.74	9.39	9.26	1.50	10.68	10.95	10.95	2.77	10.66	10.56	9.94	2.32	10.9	11.68	11.43	4.1
<i>Std</i>	0.99	0.77	0.79		1.64	1.87	1.84		1.43	1.48	1.29		1.13	1.73	2.13	

G: guisantes; **T*G:** triticale x guisantes; **MO_t:** materia org3nica total; **MO_{ox}:** materia org3nica oxidable; **C:** carbono; **N_t:** nitr3geno total; **CE:** conductividad el3ctrica; **P:** f3sforo Olsen; **a, b, c, d, e, f:** dentro de cada dosis de pur3n y profundidad difieren P<0.05; **Std:** desviaci3n est3ndar de la media

Tabla 10.- Diferencias en la composici3n qu3mica del suelo, entre dosis (t ha⁻¹), profundidad (cm) y cultivo (G y TxG) para el pur3n intensivo

Profundidad	Pur3n t ha ⁻¹ 20				40				60			
	10	20	30	sd	10	20	30	sd	10	20	30	sd
G, pH	5.83ab	5.90ab	5.85ab	0.31	5.92ab	5.99b	5.92ab	0.24	5.80ab	5.71ab	5.76ab	0.19
TxG, pH	5.86ab	5.93ab	5.99ab	0.34	5.89ab	5.83ab	5.90ab	0.28	6.11b	6.07ab	6.08ab	0.48
Std	0.29	0.33	0.30		0.24	0.27	0.25		0.48	0.46	0.44	
G, MO	3.04c	3.15c	3.01c	0.44	2.98b	2.74bc	2.43bc	0.54	2.92c	2.69bc	2.11b	0.78
TxG, MO	3.14b	3.12b	2.91b	0.93	2.98b	3.1b	3.03b	0.70	3.2b	2.92b	2.76b	0.67
Std	0.91	0.74	0.96		0.60	0.52	0.87		0.60	0.42	0.84	
G, MO _{ox}	2.34c	2.42c	2.31c	0.34	2.38c	2.11abc	1.87abc	0.41	2.24bc	2.07abc	1.62a	0.60
TxG, MO _{ox}	2.42b	2.4b	2.13ab	0.74	2.29ab	2.39b	2.33ab	0.54	2.46b	2.25ab	2ab	0.51
Std	0.70	0.57	0.74		0.46	0.40	0.67		0.38	0.32	0.65	
G, C/N	568	5.89	5.86	1.6	6.06	5.72	5.58	1.05	6.56	6.24	5.54	2.5
TxG, C/N	6.26	6.58	6.01	2.5	6.24	6.39	6.01	1.9	6.47	6.17	6	1.65
Std	2.23	1.86	2.1		1.33	1.31	1.64		1.04	1.16	2.24	
G, C	1.35c	1.4c	1.34c	0.19	1.38c	1.22abc	1.08abc	0.24	1.3bc	1.2abc	0.94a	0.34
TxG, C	1.4b	1.39b	1.23ab	0.43	1.33ab	1.38b	1.35ab	0.31	1.43b	1.30ab	1.16ab	0.29
Std	0.40	0.33	0.42		0.27	0.23	0.46		0.27	0.18	0.37	
G, N _t	0.252g	0.247fg	0.236efg	0.04	0.229defg	0.215cdef	0.194bcd	0.02	0.204bcde	0.197bcd	0.188bc	0.01
TxG N _t	0.237d	0.228cd	0.211bcd	0.04	0.217bcd	0.224cd	0.218bcd	0.02	0.22bcd	0.216bcd	0.198bcd	0.02
Std	0.031	0.025	0.027		0.025	0.014	0.03		0.01	0.02	0.033	
G, CE	154cdef	157cdef	146bcdef	25	165ef	174f	172f	19	135abcdef	123abcd	125abede	8
TxG, Ce	138abc	197c	181bc	65	124ab	130ab	130ab	16	135abc	133abc	133abc	32
Std	29	69	42		28	31	29		25	26	22	
G, P _t	564	589	576	179	521	515	488	171	511	488	474	164
TxG, P _t	563	541	538	255	535	549	532	207	531	520	581	257
Std	262	279	296		195	196	207		225	209	185	
G, P _{Ols}	10.75	11.09	10.97	1.72	10.43	10.37	10.12	1.66	10.34	10.12	9.98	1.59
TxG, P _{Ols}	10.84	10.63	10.6	2.47	10.57	10.7	10.5	2.01	10.53	10.42	11.01	2.5
Std	2.5	2.7	2.8		1.5	1.9	2.01		2.1	2.03	1.79	

G: guisantes; **T*G:** triticale x guisantes; **MO_t:** materia org3nica total; **MO_{ox}:** materia org3nica oxidable; **C:** carbono; **N_t:** nitr3geno total; **CE:** conductividad el3ctrica; **P:** f3sforo Olsen; **a, b, c, d, e, f:** dentro de cada dosis de pur3n y profundidad difieren P<0.05; **Std:** desviaci3n est3ndar de la media

4. Conclusiones parciales

Durante los dos años de estudio y después de cuatro enmiendas húmicas (dos por cultivo: forrajeras de invierno y maíz) a las dosis ensayadas de 20, 40 y 60 t ha⁻¹ de dos tipos de purín intensivo *vs.* semiintensivo, no se observan cambios relevantes en la composición físico-química del suelo, excepto para el contenido de N total, que incrementó el 100% con el intensivo y 73% el semiintensivo. Aportaciones de 40 t ha⁻¹ de purín intensivo o semiintensivo son suficientes para cubrir las necesidades nutritivas de 7000 a 8000 kilogramos de materia seca por hectárea en forrajeras de invierno.

Utilización y producción de forrajeras abonadas con purín

Eficiencia de utilización del N y P en la rotación de forrajes de invierno y verano abonados con purín

G. Salcedo



EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA ROTACIÓN DE FORRAJES DE INVERNO Y VERANO ABONADOS CON PURÍN

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

- 2.1. Situación geográfica
- 2.2. Diseño experimental
- 2.3. Procedimiento experimental
- 2.4. Concentración de N crítico
- 2.5. Análisis estadístico

3. Resultados y discusión

- 3.1. Caracterización del purín
- 3.2. Influencia de las horas de calor sobre la producción de materia seca y concentración de N y P en el forraje
- 3.3. Producción y eficiencias en las forrajeras
- 3.4. N crítico
- 3.5. Producción y eficiencia del maíz
- 3.6. Producción y eficiencia de la rotación
- 3.7. Valoración económica del purín
- 3.8. Márgenes económicos por kilogramo de materia seca producida
- 3.9. Costes de cultivo
- 3.10. Costes de producción
- 3.11. Producción de leche esperada (kg ha^{-1})

4. Conclusiones parciales

Resumen

Este trabajo evalúa agrónomicamente la producción de materia seca, composición química y eficiencia de utilización del N ($\text{kg de MS kg}^{-1} \text{ N}$: CUN_{MS}); (kg de N kg^{-1} purín, CUN_N) y (kg de P kg^{-1} P purín, CU_P) de dos forrajeras en siembra pura: Guisantes [*Pisum sativum* L. cv “Gracia”] y Habines [*Vicia faba* L. cv “Lucy”] y tres asociaciones de cereal x leguminosa: Triticale x Habines [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Lucy”]; Triticale x Guisantes [*x triticosecale* Wittm. cv “Trujillo” y “Gracia”] y Veza x Avena [*Vicia Sativa* L. cv “Aneto” y Avena Sativa L. cv “Orlanche”] en rotación con maíz cv. “Fisco” (FAO 300) para ensilado, de dos purines (intensivo vs. semiintensivo) y cuatro dosis 0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹ cultivo (forrajeras de invierno y maíz), según un diseño experimental de parcelas divididas, donde la parcela mayor corresponde al forraje y la menor, el tipo de purín. Los resultados mostraron mayor producción de forraje ($P < 0.05$) en la rotación de triticale x guisantes + maíz (20437 kg ha⁻¹ año); similar producción de N a la asociación triticale x habines + maíz (320 kg ha⁻¹); superior producción de P (44.7 kg ha⁻¹); CUN_{MS} (13.7 kg MS kg N⁻¹). Por el contrario, CUN_N es mayor en la asociación guisantes + maíz (0.177 kg kg⁻¹) y CUN_P de (0.23 kg kg⁻¹). La dosis de purín no modifica significativamente la producción de materia seca; ($P < 0.001$) para CUN_{MS} y CU_P y kg P ha⁻¹; ($P < 0.01$) la producción materia orgánica digestible. El tipo de purín afectó positivamente a la producción de N (kg ha⁻¹), mayor en el intensivo ($P < 0.01$); CUN_{MS} ($P < 0.001$) y CU_P ($P < 0.001$); sin diferencias la interacción rotación x dosis; rotación x tipo de purín y rotación x dosis x tipo de purín. Se concluye que aportaciones de 40 t⁻¹ ha⁻¹ para las forrajeras de invierno y 40 t⁻¹ en maíz, son suficientes para satisfacer las necesidades de 18 a 20 t ha⁻¹ de materia seca por hectárea.

Palabras clave: eficiencia, forrajeras de invierno, maíz, purín, rotación de cultivos.

Abstract

This paper evaluates agronomic dry matter production, chemical composition and N utilization efficiency ($\text{kg DM kg}^{-1} \text{ N}$: CUN_{DM}) (kg N kg^{-1} slurry, CUN_N) and (kg P kg^{-1} P slurry, CUP) of pure seed fodder: peas [*Pisum sativum* L. cv "Gracia"] and Beans [*Vicia faba* L. cv "Lucy"] and three associations of cereal x legume: Triticale x Beans [xTriticosecale Wittm. cv "Trujillo" and "Lucy"]; Triticale x Peas [xTriticosecale Wittm. cv "Trujillo" and "Gracia"] and Oats x Vetch [*Vicia sativa* L. cv "Aneto and *Avena sativa* L. cv "Orlanche"] in rotation with corn Cv. Fisco (FAO 300) for silage, two slurry intensive vs. semiintensive) and four doses 0, 20, 40 and 60 t ha⁻¹ crop (winter forage and corn), according to a split-plot experimental design, where the plot greater for the forage and lowest for the type of manure. The results showed increased production of forage ($P < 0.05$) in the rotation of triticale x pea + maize (20,437 kg ha⁻¹ a^o) N production similar to the association Beans + triticale x maize (320 kg ha⁻¹); higher production of P (44.7 kg ha⁻¹); CUN_{DM} (13.7 kg DM kg N⁻¹). On the contrary CUN_N association was higher in pea + maize (0.177 kg kg⁻¹) and CUN_P of (0.23 kg kg⁻¹). The dose of manure did not significantly alter the production of dry matter ($P < 0.001$) for CUN_P and CUN_{DM} and kg ha⁻¹ ($P < 0.01$) digestible organic matter production. The type of liquid manure positively affected the production of N (kg ha⁻¹), higher in the intensive ($P < 0.01$) CUN_{DM} ($P < 0.001$) and CUP ($P < 0.001$) without differences rotation x dose of slurry and rotation x rate x type of manure. We conclude that contributions of 40 t⁻¹ ha⁻¹ for winter forage and 40 t⁻¹ in maize are sufficient to meet the needs of 18 to 20 t ha⁻¹ of dry matter per hectare.

Key words: efficiency, winter forage, corn, manure, crop rotation.

1. Introducción

Durante la última década en Cantabria, al igual que en el resto de la Cornisa Cantábrica, el sector vacuno lechero se ha caracterizado por la concentración de la producción en un menor número de explotaciones y más especializadas. Así, por ejemplo, desde el año 1994 al 2003, el descenso de vacas lecheras mayores de 24 meses ha sido del 12.8% y del 11.7% en el período 2000 a 2003 Fernández *et al.* (2007). De éstas, el 70.2% y 69.3% están localizadas en la zona Costera y el 23% y 26% en la zona del Pas-Iguña. La producción de leche por vaca ha incrementado, debido al aumento en el consumo de concentrado y a la utilización de rotaciones forrajeras de dos cultivos por año (Lloveras, 1987; Piñeiro *et al.*, 2004).

La rotación de cultivos forrajeros más importante en la actualidad es la formada por maíz (*Zea mays L.*), como cultivo de verano, y en invierno el raigrás italiano (*Lolium multiflorum L.*), aprovechado este último dos o tres veces como alimento en verde y uno para ensilado en primavera en las semiintensivas y exclusivamente para ensilado, las intensivas. Dada sus exigencias en nitrógeno, se busca introducir leguminosas de invierno asociadas a cereal (Castro y Piñeiro, 1998; Mangado y Amestoy, 2000) que contribuyan a satisfacer las necesidades de la gramínea y minimizar los aportes de nitrógeno. Sin embargo, en los últimos años se advierte entre los agricultores un aumento del interés por otros cultivos de invierno alternativos al raigrás italiano, como son las asociaciones triticale x guisantes, triticale x habines y veza x avena, debido, entre otras razones, a la dificultad de realizar el primer corte a la salida del invierno, atribuido a las lluvias frecuentes, lo que supone retrasar el segundo aprovechamiento y la posterior siembra de maíz, que es el cultivo más productivo de la rotación.

El coste que representa realizar dos aprovechamientos para ensilar, la pérdida de proteína y el riesgo de encamado con un solo corte a finales de abril (Flores *et al.*, 2003), constituye un cierto riesgo al sistema forrajero de la explotación. Los requerimientos de un cultivo de invierno alternativo son los de permitir un solo aprovechamiento, con tiempo suficiente para sembrar el maíz, valor nutritivo apropiado, que compense el bajo valor proteico del maíz y los rendimientos sean comparables o superiores a los del raigrás italiano.

En la revisión sobre las posibilidades que ofrecen las asociaciones de cereales y leguminosas para forraje (Anil *et al.*, 1998), destacan entre sus ventajas, siempre comparado con el cultivo por separado, la mayor estabilidad de los rendimientos entre

años, menor incidencia de plagas y enfermedades, malas hierbas, incrementos de proteína, mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua y fertilizantes, ahorro de fertilizantes nitrogenados y el aumento de rendimiento en los cultivos posteriores.

Para las condiciones gallegas Suarez *et al.* (2002), proponen la asociación de guisante (*Pisum sativum L.*) y triticale (*xTriticosecale Witt.*). Otros autores (Suárez *et al.*, 2002 y Flores *et al.*, 2003) estudiaron la productividad del cultivo y las diferencias varietales en condiciones de parcela experimental. Sin embargo, existe poca información referente a la asociación de triticale x guisante, comparado con el raigrás italiano y en el conjunto de la rotación con maíz, bajo condiciones de gran parcela.

Una de las dificultades del cultivo asociado (triticale x guisantes), (triticale x habines) o (veza x avena), es conseguir la proporción suficiente de leguminosa que mejore el valor nutritivo del forraje (especialmente su contenido en proteína bruta), sin poner en riesgo la producción por encamado (Fernández-Lorenzo *et al.*, 2007).

Los objetivos del presente experimento son determinar la producción y eficiencias de utilización del N y P del purín del vacuno lechero, en cultivos forrajeros de invierno para las condiciones edafoclimáticas de Cantabria en rotación con maíz para ensilado.

2. Material y métodos

1.1. Situación geográfica y fertilidad del suelo

El estudio se realizó en la Finca del I.E.S. “La Granja”, Heras (Cantabria, España) (latitud N 43°24', longitud W 3°45', altitud 44 m), con tipo climático Cfb según la clasificación de Köppen (1948), sobre un suelo de textura francoarcillolimosa, pH 5.62; 2.04% de materia orgánica total y 1.57% la oxidable; 0.093% de N total; relación C/N de 9.82 y 1500 ppm de fósforo total.

1.2. Diseño experimental

El diseño experimental de campo fue de parcelas divididas, donde la parcela mayor (PM) corresponde al cultivo forrajero (triticale x guisantes; triticale x habines; veza x avena; guisantes y habines) y la menor (Pm), el tipo de purín (intensivo vs. semiintensivo) y cuatro dosis de purín por hectárea (0, 20, 40 y 60 toneladas).

1.3. Procedimiento experimental

La experiencia se inició a principios de octubre del 2006 sobre un terreno previamente sembrado de maíz para ensilado, finalizando a mediados de septiembre del 2008 (ver Tabla 2, Capítulo 10: “*Movimiento de N y P en el suelo según tipo de purín aplicado*”).

El contenido en elementos fertilizantes del purín empleado (N y P) y parámetros físicos (materia seca, pH y conductividad eléctrica) vienen representados en la Tabla 1. El purín *intensivo* procede de una explotación de vacas alimentadas al 50% de forraje y concentrado y el *semiintensivo* al 65% con ensilados de hierba y maíz y 35% de concentrado. En ambos casos, la distribución del purín se realiza con cisterna y plato de distribución de 16.5 m de anchura de trabajo. Antes de la aportación de purín se hizo un trabajo de correlación entre la velocidad de avance del equipo y la dosis. Después de su distribución es enterrado con fresadora para minimizar las pérdidas de N-amoniaco.

Tabla 1.- Composición físico-química del purín

Año/Tipo purín	MS, %	pH	N-total, g kg ⁻¹	N-NH ₄ , g kg ⁻¹	N-orgánico, g kg ⁻¹	C/N	P ₂ O ₅ , g kg ⁻¹
2006 _i	6.55	7.39	4.19	1.95	2.23	7.33	0.68
2006 _s	7.74	7.96	6.49	4.7	1.78	4.86	0.89
2007 _i	10.4	7.26	3.9	1.46	2.14	11.3	2.5
2007 _s	6.61	6.64	1.91	1.81	0.10	16.4	1.17
<i>et</i>	0.017	0.004	0.005	0.005	0.007	0.01	0.004
Purín	***	*	***	***	***	***	***
Año	***	***	***	***	***	***	***
Purín*Año	***	***	***	***	***	***	***

i: purín intensivo; s: purín semiintensivo; et: error típico de la diferencia de medias; * P<0.05; *** P<0.001; NS: no significativo

Para la estimar la biomasa de cada forrajera se tomaron tres muestras al azar sobre un cuadrado de 0.5 x 0.5 m segando todo el material existente con una segadora manual a pilas y altura sobre el suelo de 2.5 cm. Posteriormente, el forraje es secado en estufa a 80°C durante 24 horas para estimar la producción de materia seca por hectárea. Más tarde, las muestras son molidas a 2 mm con un molino de cuchillas y almacenadas en contenedores herméticos de PVC, a temperatura ambiente del laboratorio. El tiempo transcurrido entre la molienda y el análisis no supera los 15 días. Después, las mismas son analizadas por su contenido en N con el equipo KjeltacTM 2300 de Tecator y el fósforo, sobre cenizas por el método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato con el analizador FIAstar 5000, en el Laboratorio de Nutrición Animal del I.E.S. “La Granja”. La materia orgánica digestible (MOD) se estima a partir de la digestibilidad enzimática (D_e) por el método FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987), con predicción de la digestibilidad *in vivo* (D_v) como: $(-0.29 \times \text{FND}) + (0.37 \times D_e) + 60.6$; la materia orgánica digestible (MOD) como: $\text{MO}_{(\text{Materia orgánica})} \times D_v / 100$, con predicción de la energía metabolizable (EM, MJ kg⁻¹ MS) = MOD x 0.16 (MAFF, 1984).

Los coeficientes de utilización (CU) del N para la materia seca (CUN_{Materia Seca}), nitrógeno (CUN_{Nitrógeno}), energía metabolizable (CUN_{Energía metabolizable}), materia orgánica

digestible ($CUN_{Materia\ orgánica\ digestible}$) y del fósforo ($CU_{Fósforo}$), fueron definidos en el Capítulo 9: “*Movimiento de N y P en el suelo según tipo de purín aplicado*” como:

$$CUN_{Materia\ Seca}, \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg MS ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MS ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CUN_{Nitrógeno}, \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg N ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CU_{Fósforo}, \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg P ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg P ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg P ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CUN_{Energía\ Metabolizable}, \text{ MJ kg}^{-1} = (\text{MJ P ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{MJ P ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$CU_{Materia\ Orgánica\ Digestible}, \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

Las temperaturas medias, máximas y mínimas y la pluviometría fueron obtenidas del aeropuerto de Parayas, situado a 4 km del experimento. A partir de aquella se calcula la evapotranspiración potencial (Thorntwaite, 1948).

En cada caso, se determina las horas de calor acumuladas como:

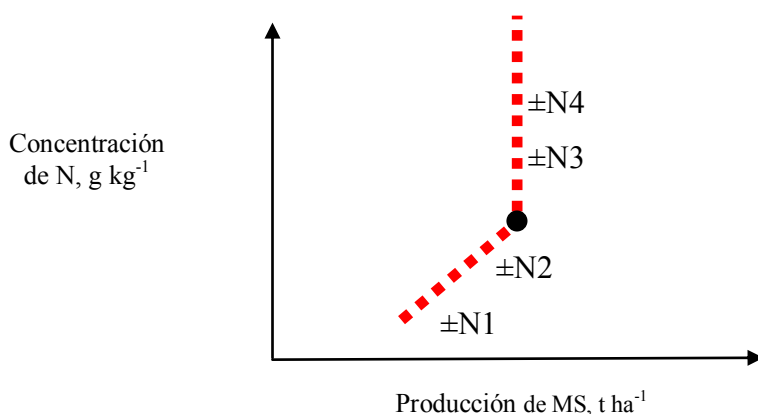
$$\text{Horas calor} = [(\text{temperatura máxima diaria} + \text{temperatura mínima diaria}) \div 2] - \text{temperatura base}$$

tomada a 4°C para el trigo (Guerrero, 1981). Posteriormente y mediante análisis de regresión simple, se estimó la producción de materia seca por hectárea por hora de calor acumulada; la atribuida a la evapotranspiración potencial, temperatura media y kilogramos de N ha⁻¹ aportados con el purín.

1.4. Concentración de N crítico

La metodología adoptada para estimar la curva de dilución del N en cada cultivo forrajero es la propuesta por Justes *et al.* (1994). La producción de materia seca a diferentes niveles de fertilización son analizados por un ANOVA, y las medias separadas mediante el test de Duncan. Las mismas son utilizadas para estimar la curva de dilución del N por regresión no lineal. La Figura 1 señala una variación hipotética de la concentración de N y la producción de materia seca para los cuatro tratamientos (0, 81, 162 y 243 kg N ha⁻¹) y cinco cultivos (G, H, TxG, TxH y VxA). La línea oblicua incrementa significativamente la producción de materia seca y la concentración de nitrógeno; la vertical corresponde a incrementos en la concentración sin cambios significativos en la producción de materia seca. La accisa de este último es igual a la media de puntos de accisa N3 a N4. El N crítico corresponde a la intersección de la línea oblicua y vertical. Para computar la concentración crítica de N se toma la media de MS y N de cada dosis de N, forraje y muestreo. Después y para el conjunto de datos, se le aplica la ecuación potencial obtenida ($N_{\text{crítico}} = aMS^{-b}$), relacionándose por regresión lineal el $N_{\text{crítico}}$ y el N_{actual} . El índice de consumo nitrogenado como: $N_{\text{actual}} \div N_{\text{crítico}}$.

Figura 1.- Planteamiento hipotético del N crítico



El diagrama representa la concentración de N y la producción de materia seca del forraje (\pm). N1 a N4 = son valores medidos en los diferentes tratamientos a una fecha determinada.

- Punto crítico para esta fecha determinada (adaptado de Justes et al., 1994)

1.5. Análisis estadístico

El análisis de varianza y diferencia de medias con el PROC GLM y las relaciones con el PROC REG del programa estadístico SPSS (11). Las diferentes dosis de purín fueron testadas mediante contrastes ortogonales con el PROC ANOVA.

2. Resultados y discusión

3.1. Caracterización del purín

Todos los parámetros analizados difieren ($P < 0.001$) entre tipo de purín y años (Tabla 1), excepto el pH ($P < 0.01$). El contenido de N total es superior en el semiintensivo ($P < 0.01$) con un valor de 4.20 kg t^{-1} e inferior, ($P < 0.001$) el P_2O_5 (Tabla 1). Los gramos de N por kilogramo del purín utilizado son similares a los señalados por Salcedo *et al.* (2008) en explotaciones lecheras de Cantabria de 3.8 y 0.74 g kg^{-1} respectivamente, y superior el N e inferior el P a los señalados por Mangado *et al.* (2007) en Navarra de 2.45 y 0.95 g kg^{-1} y superior para el N (3.2 g kg^{-1}) e inferior el P (0.84 g kg^{-1}) en Asturias (Fernández *et al.*, 2008). El N orgánico es superior en el purín intensivo ($P < 0.001$), atribuido a un mayor porcentaje de materia seca (8.5 vs. 7.1%).

2.1. Influencia de las horas de calor sobre la producción de materia seca y concentración de N y P en el forraje.

La tasa de mineralización del N varía a lo largo del año, principalmente en respuesta a la temperatura del suelo y contenido de agua, que, unido a la disponibilidad

de N, limitan el crecimiento de los forrajes durante el invierno y principios de primavera en regiones templadas h3medas (Whitehead, 1995).

La Tabla 2 se1ala la temperatura media, precipitaci3n, evapotranspiraci3n potencial y las horas de calor acumuladas (HdC) de cada muestreo y a1o, con diferencias significativas entre los dos a1os de estudio.

Tabla 2.- Temperatura media, evapotranspiraci3n, pluviometr3a y horas de calor entre muestreos y a1os

Fecha	T ^a media	ETP	Pluviometr3a	Horas calor
5-2-07	12.3	37.7	323	856
6-3-07	10.9	35.9	48	1130
17-4-07	13.0	51.4	111	1422
29-1-08	11.9	35.6	128	707
27-2-08	11.3	40.9	24	928
23-4-08	12.3	53.9	255	1353
P	***	**	**	***
Std	0.68	7.48	107.5	260

ETP: evapotranspiraci3n potencial; **Std:** desviaci3n est1andar; **P:** nivel de significaci3n ** P<0.01; *** P<0.001

La concentraci3n de N disminuye en todos los forrajes (P<0.001) en relaci3n a las horas de calor (HdC), Figura 2a, sin diferencias el f3sforo. Por el contrario, los kilogramos de N y P ha⁻¹ incrementan significativamente (P<0.001) al aumentar las HdC (Figura 2b y 2c), imputable al ac3mulo de materia seca. Para esta 3ltima y dentro de cada forrajera, la biomasa en kg ha⁻¹ incrementa (P<0.001) respecto a HdC acumuladas, coincidente (Lemaire y Salette, 1984; Greenwood *et al.*, 1990). As3, cada hora de calor desde la siembra a la recolecci3n, la concentraci3n de N disminuye 0.087; 0.009; 0.028; 0.022 y 0.035 g de N kg⁻¹MS para G (guisantes), H (habines), TxG (triticale x guisantes), TxH (triticale x habines) y VxA (veza x avena) respectivamente e incrementa 0.087; 0.071; 0.108; 0.111 y 0.061 kg de N ha⁻¹, sin relaciones significativas para el f3sforo, pero s3 la producci3n del mismo (Tabla 3).

Figura 2.- Descenso del N al aumento de las horas de calor (A, B, C)

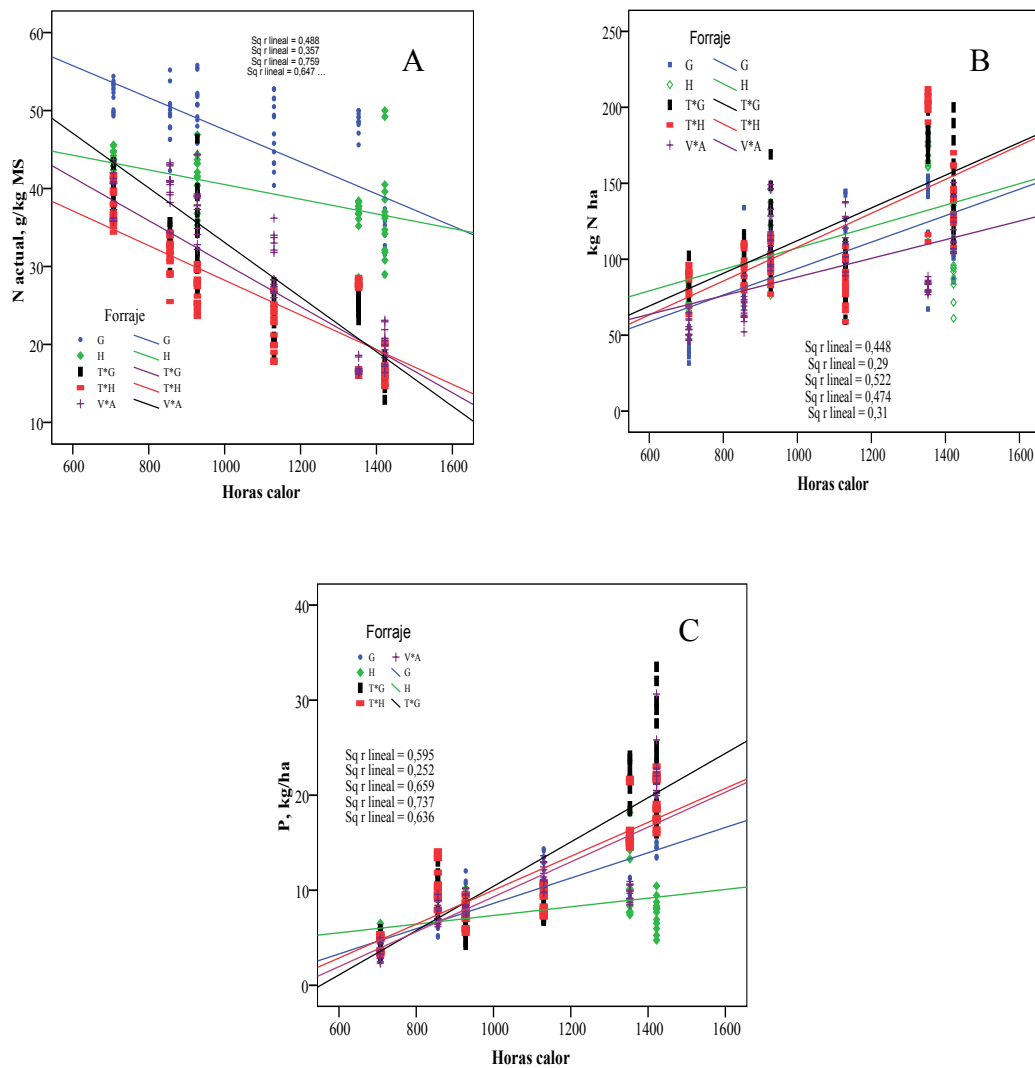


Tabla 3.- Estimaci3n de la producci3n de materia seca (MS), nitr3geno (N) y f3sforo (P) kg ha⁻¹ respecto a las horas de calor (HdC)

Forraje		Y = a + bx	R ²	e.e.
G	MS, t ha ⁻¹	-0.9 + 0.003 HdC	0.85	0.32
	N, g kg ⁻¹	68.0 - 0.021 HdC	0.48	5.54
	N, kg ha ⁻¹	6.73 + 0.087 HdC	0.44	25.4
	P, kg ha ⁻¹	-4.68 + 0.013 HdC	0.59	2.88
H	MS, t ha ⁻¹	0.28 + 0.002 HdC	0.41	0.86
	N, g kg ⁻¹	49.9 - 0.009 HdC	0.36	3.8
	N, kg ha ⁻¹	36.8 + 0.071 HdC	0.29	33.3
	P, kg ha ⁻¹	2.78 + 0.005 HdC	0.24	2.36
TxG	MS, t ha ⁻¹	-5.0 + 0.009 HdC	0.83	1.06
	N, g kg ⁻¹	57.9 - 0.028 HdC	0.75	4.09
	N, kg ha ⁻¹	4.57 + 0.108 HdC	0.52	27.1
	P, kg ha ⁻¹	-12.8 + 0.023 HdC	0.66	4.4
TxH	MS, t ha ⁻¹	-4.7 + 0.008 HdC	0.88	0.76
	N, g kg ⁻¹	50.4 - 0.022 HdC	0.64	4.31
	N, kg ha ⁻¹	-3.5 + 0.111 HdC	0.47	30.8
	P, kg ha ⁻¹	-7.38 + 0.018 HdC	0.73	2.8
VxA	MS, t ha ⁻¹	-3.31 + 0.006 HdC	0.92	0.48
	N, g kg ⁻¹	68.0 - 0.035 HdC	0.85	3.77
	N, kg ha ⁻¹	26.8 + 0.061 HdC	0.30	24.08
	P, kg ha ⁻¹	-9.04 + 0.018 HdC	0.63	3.6

G: guisantes; **H:** habines; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **e.e.:** error estandar de la regresi3n

La mayor producci3n de N por hora de calor acumulada se registra en la asociaci3n triticale x guisantes (TxG: 0.108) y triticale x habines (TxH: 0.111), atribuido a su mayor crecimiento, pudiendo capturar m1s N y reducir el potencial NO₃ lixiviado (Aaron *et al.*, 2005).

Por su parte Salcedo (2008) en un estudio de fertilizaci3n con dosis crecientes de N (0 a 175 kg N ha⁻¹) en praderas a pastoreo durante trece a1os, obtuvo una ecuaci3n m1ltiple que estima la producci3n de materia seca a partir de variables clim1ticas (ETP y temperatura media) y aportaciones de N (kg ha⁻¹) del tipo: [kg MS ha⁻¹=1291.9 - 164.1 T^a media + 28.9 ETP + 2.27 kg N ha⁻¹, ±405 r²=0.35], aplic1ndose la misma en el presente trabajo. Los resultados mostraron que la variaci3n en la producci3n de materia seca es explicada satisfactoriamente por aquellas tres variables, con coeficientes de determinaci3n aceptables (0.70, 0.82, 0.81, 0.87 y 0.72) para G, H, TxG, TxH y VxA respectivamente (Tabla 4). Posteriormente, la materia seca observada se relacion3 con la estimada, obteni3ndose en todos los casos una relaci3n de 1 a 1 (kg de MS observada vs. estimada) (Tabla 5) para cada cultivo forrajero (Figura 3).

Tabla 4.- Estimaci3n de la producci3n de materia seca a partir de variables climáticas (T^a media y ETP) y aporte de $N\ ha^{-1}$ en forma de purin

Forraje	$Y=a+bx+cy+dz$	R^2	e.e.
G	$1611.3 - 361 T^a + 110.8 ETP + 1.53\ kg\ N\ ha^{-1}$	0.70	467
H	$8560 - 1148 T^a + 177.8 ETP + 1.66\ kg\ N\ ha^{-1}$	0.82	490
TxG	$-13567 + 485.6 T^a + 283.8 ETP + 3.1\ kg\ N\ ha^{-1}$	0.81	1160
TxH	$-8084 - 31 T^a + 285 ETP + 2.12\ kg\ N\ ha^{-1}$	0.87	833
VxA	$791 - 619.1 T^a + 229 ETP + 2.25\ kg\ N\ ha^{-1}$	0.72	940

ETP: Evapotranspiraci3n potencial, mm; e.e.: error estandar de la regresi3n

Figura 3.- Relaci3n materia seca observada vs. estimada, $kg\ ha^{-1}$

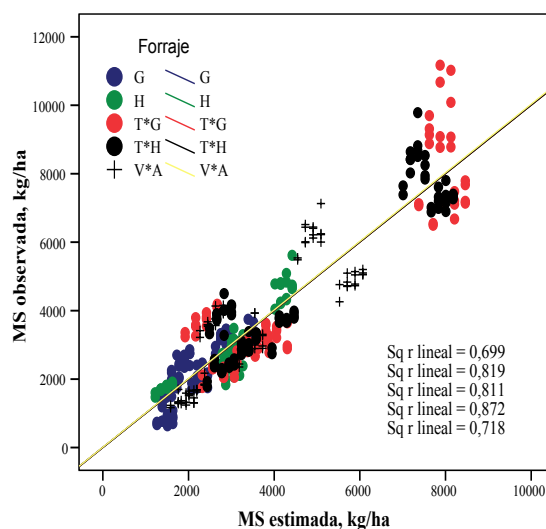


Tabla 5.- Estimaci3n de la materia seca observada vs. estimada ($kg\ ha^{-1}$)

Forraje	$Y=a+bx$	R^2	e.e.
G	$1.59 + 1.0\ MS_{estimada}$	0.70	461
H	$1.64 + 1.0\ MS_{estimada}$	0.82	481
TxG	$2.04 + 1.0\ MS_{estimada}$	0.81	1145
TxH	$1.55 + 1.0\ MS_{estimada}$	0.87	823
VxA	$11.08 + 1.0\ MS_{estimada}$	0.72	928

e.e.: error estandar de la regresi3n

2.2. Producci3n y eficiencias en las forrajeras

La producci3n de materia seca, f3sforo, materia orgánica digestible y energa metabolizable es superior en las asociaciones de gramíneas y leguminosas ($P<0.001$) que en las siembras de leguminosas puras, con rendimientos de N por hectárea similares (Tabla 6). De igual forma, la eficiencia de utilizaci3n del N y P (CU_N , CUN_{MS} y CU_P) es mayor en la asociaci3n gramínea y leguminosa, con porcentajes medios de 12.7% y 5.2% para CU_N ; 6.16 y 1.44% $kg\ MS\ kg^{-1}\ N$ aplicado y 1.5% y 0.6% el P. La interacci3n forraje x ańo solo es significativa para las producciones de materia seca, kg de N por hectárea, concentraci3n de f3sforo, kg de P por hectárea, materia orgánica digestible y energa metabolizable ($P<0.001$), sin diferencias, CUN_{MS} , CU_N y CU_P entre ańos (Tabla 7).

Tabla 6- Producción de materia seca, nitrógeno, fósforo, energía metabolizable, materia orgánica digestible y eficiencia de utilización entre las siembras de leguminosas puras o asociadas con gramíneas

	L	L x G	et	Forraje	Año	F * A
MS _F ha ⁻¹ , kg	3846	6768	152	***	NS	***
N _F , %	3.72	2.23	0.069	***	***	NS
Kg N _F ha ⁻¹	131	143	3.7	NS	***	***
Kg MS _F /kg N purín (CUN _{MS})	1.44	6.16	0.57	***	NS	NS
Kg N _F /kg N purín (CUN _N)	0.052	0.127	0.012	***	NS	NS
P _F , %	0.329	0.263	0.009	***	***	***
Kg P _F ha ⁻¹	11	17.6	0.51	***	***	***
Kg P _F /kg P purín (CU _P)	0.006	0.015	0.002	***	NS	NS
MOD, kg ha ⁻¹	2036	4202	97	***	NS	***
EM, MJ ha ⁻¹	32583	67236	1557	***	NS	***

L: leguminosas; **LxG:** leguminosa x gramínea; **et:** error típico de la diferencia de medias; **F*A:** interacción forraje x año; **MS_F:** materia seca de forraje por hectárea; **N_F:** concentración de N del forraje; **P_F:** fósforo del forraje; **MOD:** materia orgánica digestible; **EM:** energía metabolizable; *** P<0.001; **NS:** no significativo

Entre asociaciones de gramíneas y leguminosas e independientemente del tipo de purín y dosis, la mayor producción se registró en TxG y TxH (P<0,05), con valores medios de 8196 y 7764 kg de MS ha⁻¹ respectivamente, y la menor (P<0.05) en veza x avena (Tabla 7), sin diferencias significativas entre años. Posiblemente, la menor producción de la VxA tenga su origen al ciclo vegetativo más largo que la del triticale.

Tabla 7.- Producción de materia seca, nitrógeno, fósforo, energía metabolizable, materia orgánica digestible y eficiencia de utilización según el cultivo forrajero

	G	T x G	T x H	V x A	H	Et	F	A	F*A
MS _F ha ⁻¹ , kg	3117a	8196d	7764d	5708c	3663b	83	***	***	***
N _F , % ¹	3.88b	2.08a	2.14a	1.83a	3.69b	0.04	***	***	***
Kg N _F ha ⁻¹	121ab	165c	164c	106a	137b	2.96	***	***	***
Kg MS _F /kg N purín (CUN _{MS})	2.68ab	11.5c	4.26b	3.29ab	0.82a	0.48	***	NS	***
Kg N _F /kg N purín (CUN _N)	0.11b	0.22c	0.09ab	0.058ab	0.03a	0.01	***	NS	NS
% Fósforo _F ¹	0.48a	0.258ab	0.227a	0.279b	0.254ab	0.07	***	***	***
Kg P _F ha ⁻¹	12.7b	21.1d	17.6c	18.7c	8.9a	0.41	***	***	***
Kg P _F /kg P purín (CU _P)	0.011a	0.03b	0.009a	0.009a	0.002a	0.00	***	NS	NS
MOD, kg ha ⁻¹	1788a	5098d	4913d	3740c	2181b	50	***	NS	***
EM, MJ ha ⁻¹	28622a	81590d	79613d	55521c	34903b	808	***	NS	***

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **F:** forraje; **A:** año; **F x A:** forraje x año; **a, b, c, d:** dentro de cada fila difieren P<0.05; **et:** error típico de la media; *** P<0.001; **NS:** no significativo

En Galicia Fernández-Lorenzo *et al.* (2007) obtienen para la asociación TxG fertilizada con 32-64 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅ en forma e abono mineral producciones de 5521 kg de MS ha⁻¹ y 107 kg de N ha⁻¹, equivalente a concentraciones de 2.04% de N sobre materia seca. Estas aportaciones son inferiores a las del presente trabajo con purín de ganado vacuno lechero, donde la cantidad total de N y P es de 185-18 y 150-40 kg de N y P ha⁻¹ para el purín intensivo y convencional respectivamente el primer año y, 158-39 kg y 77.2-21.1 kg el segundo. Los trabajos desarrollados por Suárez *et al.* (2004)

también en Galicia con mínimo aporte de N y P (31 y 18 kg ha⁻¹) en forma de abono mineral, obtienen rendimientos de 5500 kg de MS ha⁻¹ para la asociación TxG y 6500 kg VxA (Tabla 7). Otros autores como (Piñeiro *et al.*, 2004) en Galicia, obtienen producciones de materia seca por hectárea en la asociación triticales con guisantes de 8400 y 220 kg respectivamente, fertilizada con 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, similares a las obtenidas en el presente trabajo con purín (Tabla 7), pero diferentes rendimientos de N por hectárea.

El análisis de medidas repetidas en el tiempo manifestó diferencias significativas para las producciones de materia seca, N y P por hectárea (Tablas 8a y 9), independientemente del tipo de purín y dosis. Entre cultivos, el tipo de purín y dosis no se observan diferencias significativas (Tabla 8). Para el último aprovechamiento, dentro de cada tipo de purín y dosis se aprecian incrementos lineales para la materia seca (P<0.01) y N (kg ha⁻¹) (P<0.05) solo en guisantes y habines, mayores con el purín intensivo.

Tabla 8a.- Producción de materia seca (kg ha⁻¹) y eficiencia de utilización del N según el tipo de purín, dosis a intervalos de tiempo (1), (2) y (3)

Forraje	Tipo purín	Dosis, t ha ⁻¹	MS ¹	MS ²	MS ³	CUN _{MS} ¹	CUN _{MS} ²	CUN _{MS} ³	
G	I	20	1418	2195ab	3071ab	3.65	4.88	2.44	
	I	40	1332	2263ab	3388b	1.24	2.77	3.18	
	I	60	1366	2436b	3219b	0.95	2.54	1.47	
	L		NS	**	**	NS	NS	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	1184	2078ab	3181ab	1.1	4.08	4.23	
	S	40	1511	2366b	3194b	2.57	4.82	3.25	
	S	60	1584	2295ab	3109ab	2.2	2.34	1.25	
	L		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	C		NS	*	NS	NS	NS	NS	
	T	0	1128	1793a	2851a	-	-	-	
	et		115	61	39	0.43	0.58	0.45	
	TxG	I	20	2757	3580ab	8299	5.57	6.84	17.6
		I	40	2739	3537ab	9040	2.64	3.12	13.1
I		60	2660	3920b	8859	1.46	3.61	8.06	
L			NS	***	NS	**	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
S		20	2569	3396ab	8037	5.7	7.82	14.9	
S		40	2478	3624b	8002	1.46	5.66	7.4	
S		60	2624	3509ab	8331	1.97	2.26	7.7	
L			NS	NS	NS	NS	NS	**	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
T		0	2298	3029a	6807	-	-	-	
et			88	65	265	0.60	0.85	1.57	
TxH		I	20	2777	3852b	7965	9.56b	9.06ab	5.65
		I	40	2729	3880b	8363	4.44ab	4.67ab	6.74
	I	60	2877	3977b	7887	3.56ab	3.5a	2.62	
	L		NS	***	NS	NS	**	NS	
	C		NS	**	NS	NS	NS	NS	
	S	20	2583	3729b	7687	8.37ab	13.3b	5.57	
	S	40	2519	3787b	7886	3.25a	6.98ab	2.97	
	S	60	2807	3935b	7598	3.81ab	5.85ab	2.05	
	L		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	C		***	NS	NS	NS	NS	NS	
	T	0	2178	3116a	7231	-	-	-	
	et		81	48	135	0.77	1.16	1.6	
	VxA	I	20	1449ab	3239ab	5540	2.2ab	4.68	5.77
		I	40	1482ab	3397ab	5630	1.29a	3.28	4.64
I		60	1658b	3518ab	5655	1.54a	2.65	2.28	
L			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	*	NS	NS	
S		20	1529ab	3282ab	5628	5.29b	9.17	1.89	
S		40	1556ab	3845b	5587	2.62ab	11.24	2.03	
S		60	1697b	3608ab	5847	2.54ab	5.03	3.17	
L			***	***	NS	NS	NS	NS	
C			NS	*	NS	NS	NS	NS	
T		0	1264a	2856a	5011	-	-	-	
et			42	88	150	0.43	1.08	0.93	
H		I	20	1688b	3064b	4792ab	1.92	13.6d	4.24c
		I	40	1817cd	2999b	4961ab	1.78	6.43ab	3.58c
	I	60	1893d	2841b	5182b	1.5	3.62a	3.32c	
	L		***	NS	NS	NS	**	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	1705b	2806b	4227a	4.33	21.1e	-4.3a	
	S	40	1765bc	2742b	4336a	2.98	9.85c	-0.77b	
	S	60	1856cd	2825b	4669ab	2.75	7.26bc	2.37c	
	L		***	***	NS	NS	NS	***	
	C		***	***	NS	NS	NS	NS	
	T	0	1536a	1910a	4410ab	-	-	-	
	et		11	68	83	0.44	0.38	0.36	

Continuación Tabla 8a

	MS ha ⁻¹	CUN _{MS}
Tiempo	***	***
Cultivo forrajero (F)	***	***
Tipo purín (P)	NS	NS
Dosis (D)	NS	***
F * P	NS	NS
F * D	NS	NS
P * D	NS	NS
F * P * D	NS	NS

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **I:** intensivo; **S:** semiintensivo; **T:** testigo; $CUN_{Materia\ Seca}$ kg kg⁻¹ = (kg MS ha⁻¹ fertilizante - kg MS ha⁻¹ sin fertilizante) ÷ kg N ha⁻¹ purín; **et:** error típico de la diferencia de medias; a, b, c, d dentro de cada columna y forraje difieren P<0.05; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático; **(1)** 5-2-07 y 29-1-08; **(2)** 6-3-07 y 27-2-08; **(3)** 17-4-07 y 23-4-08

Tabla 8b.- Concentración de N y P en los forrajes según tipo de purín, dosis a intervalos de tiempo (1), (2) y (3)

Forraje	Tipo purín	Dosis, t ha ⁻¹	N ¹	N ²	N ³	P ¹	P ²	P ³	
G	I	20	5.15ab	4.54a	4.22b	0.31a	0.50b	0.46a	
	I	40	4.95ab	5.2b	3.96ab	0.40ab	0.44ab	0.43a	
	I	60	5.17ab	4.73ab	3.99ab	0.31a	0.47ab	0.43a	
	L		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	4.73a	5.14ab	4.14b	0.37ab	0.40a	0.38a	
	S	40	5.22b	4.93ab	4.04ab	0.38ab	0.50b	0.38a	
	S	60	5.03ab	4.75ab	4.05ab	0.47b	0.46ab	0.37a	
	L		NS	NS	NS	*	NS	NS	
	C		NS	NS	NS	**	*	NS	
	T	0	5.1ab	5.07ab	2.78a	0.42b	0.485ab	0.385a	
	et		0.05	0.07	0.16	0.01	0.10	0.02	
	TxG	I	20	3.61a	2.38a	2.07a	0.25a	0.21ab	0.23ab
		I	40	3.63a	2.92a	2.04a	0.26a	0.20ab	0.24a
I		60	3.49a	3.0a	2.11a	0.29a	0.18a	0.25ab	
L			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
S		20	3.42a	3.09a	2.13a	0.29a	0.20ab	0.26ab	
S		40	3.68a	3.25a	2a	0.31a	0.21ab	0.23a	
S		60	3.58a	2.99a	2.02a	0.30a	0.24b	0.32b	
L			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
T		0	3.81a	2.46a	2.18a	0.23a	0.185ab	0.267ab	
et			0.06	0.13	0.09	0.01	0.005	0.009	
TxH		I	20	3.28a	2.20a	2.20a	0.22a	0.19a	0.20a
		I	40	3.44a	2.48a	2.33a	0.28a	0.23ab	0.21ab
	I	60	3.35a	2.34a	2.29a	0.25a	0.21a	0.21ab	
	L		NS	NS	NS	NS	*	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	3.65a	2.53a	2.19a	0.25a	0.20a	0.23ab	
	S	40	3.46a	2.5a	2.12a	0.27a	0.25b	0.23b	
	S	60	3.55a	2.63a	2.21a	0.33a	0.21a	0.21ab	
	L		NS	NS	NS	NS	NS	***	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	T	0	3.44a	2.33a	1.61a	0.34a	0.21a	0.28c	
	et		0.07	0.07	0.10	0.01	0.005	0.005	
	VxA	I	20	4.03a	3.09a	1.78a	0.38a	0.30c	0.28a
		I	40	3.87a	3.64a	1.94a	0.32a	0.29c	0.26a
I		60	4.04a	3.56 ^a	1.8a	0.45a	0.30c	0.26a	
L			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
S		20	4.09a	3.52a	1.67a	0.33a	0.26a	0.27a	
S		40	3.89a	3.59a	1.91a	0.33a	0.28ab	0.26a	
S		60	3.93a	2.98a	1.81a	0.32a	0.31c	0.32a	
L			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	
T		0	4.26a	3.32a	1.88a	0.35a	0.31c	0.29a	
et			0.04	0.10	0.04	0.02	0.004	0.016	
H		I	20	4.19a	4.34d	3.53b	0.29b	0.24c	0.24c
		I	40	4.16a	3.68a	3.75c	0.28b	0.27b	0.20c
	I	60	4.33ab	4.26cd	3.8c	0.33c	0.29b	0.28b	
	L		**	*	NS	NS	NS	***	
	C		**	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	4.45b	3.56a	3.54b	0.28b	0.37b	0.20d	
	S	40	4.4b	4.56e	3.73c	0.25a	0.26b	0.26b	
	S	60	4.46b	4.04b	3.38d	0.35c	0.28b	0.24c	
	L		NS	***	NS	NS	NS	***	
	C		NS	***	NS	NS	NS	***	
	T	0	4.47b	4.14bc	4.07a	0.34b	0.30c	0.33b	
	et		0.037	0.093	0.088	0.009	0.01	0.01	

Continuaci3n Tabla 8b

	N	P
Tiempo	***	***
Cultivo forrajero (F)	***	***
Tipo pur3n (P)	NS	NS
Dosis (D)	NS	***
F * P	NS	NS
F * D	NS	NS
P * D	NS	NS
F * P * D	NS	NS

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **I:** intensivo; **S:** semiintensivo; **T:** testigo; $CUN_{Materia\ Seca}$ $kg\ kg^{-1} = (kg\ MS\ ha^{-1}\ fertilizante - kg\ MS\ ha^{-1}\ sin\ fertilizante) \div kg\ N\ ha^{-1}\ pur3n$; **et:** error t3pico de la diferencia de medias; a, b, c, d dentro de cada columna y forraje difieren $P < 0.05$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadr3tico; **(1)** 5-2-07 y 29-1-08; **(2)** 6-3-07 y 27-2-08; **(3)** 17-4-07 y 23-4-08

Tabla 9.- Producción (kg ha⁻¹) y eficiencia de N y P (%) según tipo de purín, dosis a intervalos de tiempo (1), (2) y (3)

Forraje	Tipo purín	Dosis, t ha ⁻¹	N ¹	N ²	N ³	P ¹	P ²	P ³	CU _N ¹	CU _N ²	CU _N ³	CU _P ¹	CU _P ²	CU _P ³	
G	I	20	72.8	99ab	128b	4.5	11	14.4	20	10.4	9.1	6.3	23.7	1.4	
	I	40	68.5	105ab	135b	4.3	10.9	14.8	7	8.5	12.8	1.1	20.2	1.4	
	I	60	72.5	120b	131b	5.5	12.1	12.3	6.1	11.4	6.4	7.2	14	4.8	
	L		NS	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	S	20	57.9	108ab	118ab	4.7	9.1	12.7	2.6	21.4	16.9	24.9	7.9	1.5	
	S	40	69.8	122b	132b	5.4	9.7	12.1	8.4	22.4	14.2	35.8	47.9	1.1	
	S	60	78.3	110ab	125b	7.7	10.5	11.7	10.5	4.7	6.1	67.1	31.5	0.6	
	L		NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
	T	0	56.9	91a	79a	4.4	8.7	10.9	-	-	-	-	-	-	
	et		5.5	3.11	5.13	0.5	0.4	0.8	2.3	3.6	1.9	9.2	8.1	2	
	TxG	I	20	91.1	85.4ab	166	7.2	7.5bc	19.2	15.9ab	149	31.8	23.4	9.5bc	4.2
		I	40	94.5	105abc	184	8.4	6.4ab	23.8	5ab	19.9	24.3	19.2	2.7a	3.7
I		60	97	125c	169	8.6	8.1c	20.6	4.5ab	21.5	13.6	15.5	4a	1.9	
L			NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
S		20	92.5	99abc	159	7	6.9abc	19	13.7ab	44.4	30.1	75.1	25.6b	3.6	
S		40	83.5	111bc	167	7.3	7.3bc	20.3	-3.8a	34.1	15.6	25.2	14.4bc	1.9	
S		60	93.4	101abc	165	8	8.4c	26.7	2.8ab	16.3	16.9	42.8	28.3b	2.4	
L			NS	***	NS	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
T		0	85.8	73a	146	5.4	5.6a	18.2	-	-	-	-	-	-	
et			2.03	4.09	4.5	0.59	0.17	1.02	2.3	2.7a	2.5	8.4	2.7	0.4	
TxH		I	20	89.8b	85ab	167ab	6.3	7.5a	15.3	19.3	16.7a	12	-10a	6a	1.1
		I	40	90.8b	90ab	187b	7.4	8.2ab	18.1	9.8	11.7a	13.8	3.3ab	12.5a	1.5
	I	60	98.5b	98b	164ab	8.3	10.1c	18.9	9.7	11.2a	5.1	7.9ab	12a	0.7	
	L		*	**	*	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	
	S	20	88.1ab	93b	177b	7.3	8.6ab	16.4	32.7	31.3c	12.6	-8.6a	70b	1.2	
	S	40	90.5b	96b	167ab	6.4	7.8a	18.2	18.5	21.4ab	5.2	-35a	21a	0.7	
	S	60	98.3b	104b	166ab	9.6	8.4ab	16.2	16.4	20.6ab	5.1	44c	13a	0.4	
	L		***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	***	NS	NS	
	T	0	74.4a	71a	116a	7.6	6.6a	20.1	-	-	-	-	-	-	
	et		1.18	2.38	6.8	0.71	0.24	0.55	3.6	1.7	2.7	5.6	6.3	3	
	VxA	I	20	58.7	99a	105	5.7	9.7	17.2	5.5	8.8a	11.1	13.1b	8ab	1.7
		I	40	59.9	117bc	111	6.9	10.4	17.3	3.5	15.4a	8.5	11.7b	9.9ab	1.3
I		60	51.6	125cd	115	5.8	9.9	16.1	-0.95	13.1a	4.4	6.1ab	5.1ab	0.6	
L			NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
S		20	59.1	119bc	112	4.9	9.7	15.2	8.2	47.4b	19.8	4.1ab	20.9ab	0.2	
S		40	63.7	136d	93	5.2	10	15.6	8.5	44.6b	34	-4a	-6a	0.5	
S		60	66.1	107ab	107	5.1	11.2	19.6	7.8	8.8a	5.3	4.6ab	29.8b	0.8	
L			**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	
C			NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	
T		0	53.9	92a	101	4.6	8.9	16.1	-	-	-	-	-	-	
et			2.37	1.94	5.9	0.45	0.37	1.59	1	3	1	1	3	0.3	
H		I	20	70.7a	133c	177b	4.9ab	7.3b	9.1ab	2.6	68.2b	15.9c	-13ab	7.3b	0.8c
		I	40	78.9b	128c	180b	6c	8.7bc	12.1b	6.4	30.8a	13d	1.8bc	6.7b	0.9c
	I	60	83.3b	129c	190b	4.7a	7.4b	11.6b	6.2	21a	12.2c	0.7ab	2.5a	0.6c	
	L		***	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	***	NS	NS	
	C		NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
	S	20	70.9a	103ab	161b	4.7a	7.6b	7.5a	5.8	61.5b	-16a	-4c	17.5c	-0.8a	
	S	40	78.7b	98ab	163b	4.9ab	10.1bc	7.56a	13	23.8a	-2.8b	-12ab	20.9c	-0.1b	
	S	60	82.8b	114bc	176b	6.5d	7.9b	8.4ab	12.3	30.1a	8.9c	4a	6.9ab	0.4bc	
	L		***	***	NS	***	***	NS	NS	**	*	**	***	NS	
	C		NS	NS	NS	***	***	**	NS	**	NS	NS	***	NS	
	T	0	68.7	79 ^a	83a	5.2b	5.7a	9.9ab	-	-	-	-	-	-	
	et		0.69	2.6	3.1	0.036	0.17	0.4	2	2		0.5	0.5	0.1	

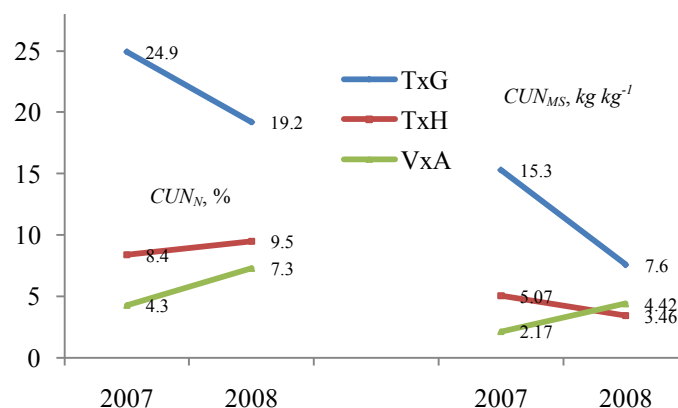
Continuación Tabla 9

	N, kg ha ⁻¹	P, kg ha ⁻¹	CUN _N	CU _P
Tiempo	***	***	***	***
Cultivo forrajero (F)	***	***	***	**
Tipo purín (P)	NS	NS	*	***
Dosis (D)	*	NS	***	NS
F * P	NS	NS	NS	NS
F * D	NS	NS	NS	NS
P * D	NS	NS	NS	NS
F * P * D	NS	NS	NS	NS

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **I:** intensivo; **S:** semiintensivo; **T:** testigo; $CUN_{Materia\ Seca} \text{ kg kg}^{-1} = (\text{kg MS ha}^{-1}_{\text{fertilizante}} - \text{kg MS ha}^{-1}_{\text{sin fertilizante}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purin}}$; **et:** error típico de la diferencia de medias; a, b, c, d dentro de cada columna y forraje difieren $P < 0.05$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; **NS:** no significativo; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático; **CUN_N:** kg de N forraje por kg de N del purín; **CU_P:** kg de P forraje por kg de P del purín; (1) 5-2-07 y 29-1-08; (2) 6-3-07 y 27-2-08; (3) 17-4-07 y 23-4-08

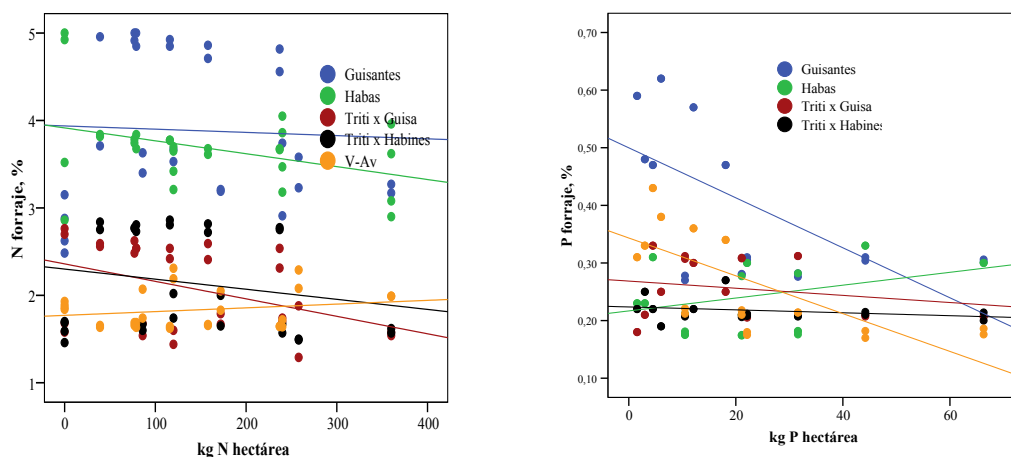
Entre asociaciones los resultados difieren para CUN_{MS} , mayor ($P < 0.05$) en TxG (11.5 kg kg⁻¹) y similar en VxA y TxH con valores medios de 3.29 y 4.26 kg kg⁻¹; por el contrario, la menores se registran en las leguminosas (2.68 los guisantes y 0.82 kg⁻¹ los habines). En cualquier caso, no se aprecian correlaciones significativas entre el contenido de N de las diferentes asociaciones y el aporte de N en kg ha⁻¹ (Figura 5a). Las eficiencias observadas no son estadísticamente diferentes entre años y por tanto, lo que puede confirmar efectos no residuales del purín aplicado el primer año, sobre el rendimiento del siguiente. En este sentido Estavillo *et al.* (1996), señalan para prados del País Vasco CUN_{MS} inferiores en el primer año que en el segundo, eficiencias que difieren en el presente trabajo con forrajeras de invierno, debido posiblemente al bajo crecimiento que tienen las pratenses en invierno respecto a las forrajeras. Para la eficiencia CUN_{MS} , es inferior a 12 kg MS kg⁻¹ N observada en praderas de *L. perenne* y *T. pratense* por (Báez *et al.*, 2008) cuando aplican el purín en bandas, 11.6 kg kg⁻¹ en inyección y 21.4 kg kg⁻¹ con nitrato amónico cálcico.

Figura 4.- Eficiencias (% de N extraído del forraje/kg N aplicado; CUN_N) y kg MS kg^{-1} de N aportado; CUN_{MS})



El P extraído del forraje ($kg\ ha^{-1}$) es superior en la asociación TxG ($P < 0.05$), sin diferencias significativas entre TxH y VxA (Tabla 7). De igual modo, la eficiencia de utilización del fósforo (CU_P), difiere entre asociaciones, mayor ($P < 0.05$) en TxG y similar en TxH y VxA (Tabla 7). En cualquier caso, la producción media de P para las tres asociaciones ($18.4\ kg\ ha^{-1}$) y el aportado con el purín de $20.1\ kg\ P\ ha^{-1}$, independientemente del tipo y dosis, situándose al límite respecto a los requerimientos del cultivo, lo que hace suponer un consumo extra de fósforo de las reservadas del suelo. Para la asociación VxA, se observó un relación inversa entre la concentración de P en el forraje y el aporte con purín ($r^2 = 0.49$, Figura 5b). Sin embargo, no creemos que ésta sea la causa, sino a la diferencia de P aplicado entre años ($P < 0.001$). Verughese *et al.* (1987) señalan mayor eficiencia en el uso del fósforo para el triticale, debido a que absorbe eficazmente el P del suelo, permitiéndole obtener mayor rendimiento y calidad forrajera, aunque la mayor parte del P presente en suelos calcáreos, no es aprovechado por las plantas debido a su insolubilidad (Navarro, 2000). Por el contrario no se observaron diferencias de concentración en las asociaciones TxG (0.25% y 0.26%) y de 0.23% y 0.22% en TxH respectivamente.

Figura 5.- Relación entre la concentración de N y P del forraje y el aportado



La Tabla 8a señala la producción de materia seca y eficiencias del N (CUN_{MS}); la Tabla 8b la concentración de N y P (%) del forraje y la Tabla 9 la producción de N y P $kg\ ha^{-1}$ y CU_N y CU_P de cada asociación forrajera, según tipo de purín (intensivo vs. semiintensivo) y dosis. Para las diferentes aportaciones de purín ensayadas, los rendimientos de materia seca no difieren respecto al testigo tanto con el purín intensivo como el semiintensivo, aunque sí, numéricamente mayor en los cultivos fertilizados. La Figura 6 representa las diferencias en $kg\ MS\ ha^{-1}$ para cada tipo de purín y dosis respecto al testigo. De la misma, se desprenden diferencias significativas entre tipo de purín, dosis y asociación, con máximos de $2232\ kg\ MS\ ha^{-1}$ en el intensivo y $40\ t\ ha^{-1}$ en TxG y mínimos, de $230\ kg\ MS\ ha^{-1}$ con el semiintensivo y $40\ t\ ha^{-1}$ en VxA.

Las producciones finales de N o P ($kg\ ha^{-1}$) de cada asociación (Tabla 9), son diferentes ($P < 0.001$), resultado explicado por los diferentes rendimientos unitarios del forraje por hectárea ($P < 0.001$). Para el N, la mayor producción de N ($187\ kg$) se registra en TxH con $40\ t\ ha^{-1}$ del purín intensivo ($P < 0.05$) y las menores, de $94\ kg$ en la VxA en el purín semiintensivo con $40\ t\ ha^{-1}$. La producción de N ($kg\ ha^{-1}$) no se obtienen relaciones significativas con la producción de materia seca ($kg\ ha^{-1}$) en TxG y TxH, y sí ($r^2 = 0.88$) en la VxA (Figura 7a). En cuanto al P ($kg\ ha^{-1}$) y en las condiciones del estudio, se aprecian tendencias lineales en las tres asociaciones (Figura 7b) respecto a la producción y ($P < 0.001$) con purín semiintensivo a la dosis de $60\ t\ ha^{-1}$ en TxG de $26.8\ kg$ (Tabla 7).

Figura 6.- Diferencias de producción entre purines y dosis respecto al testigo

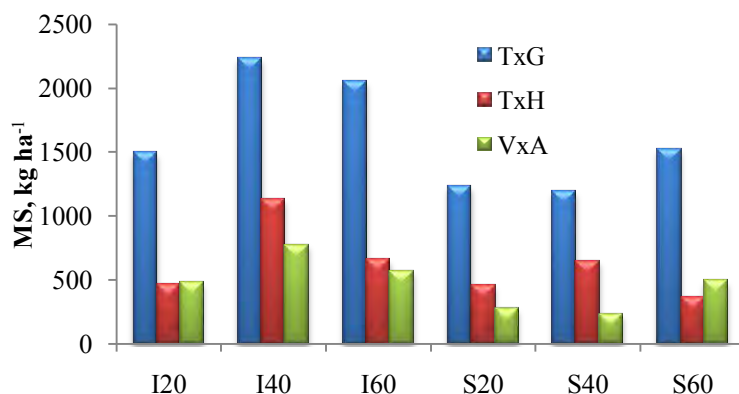
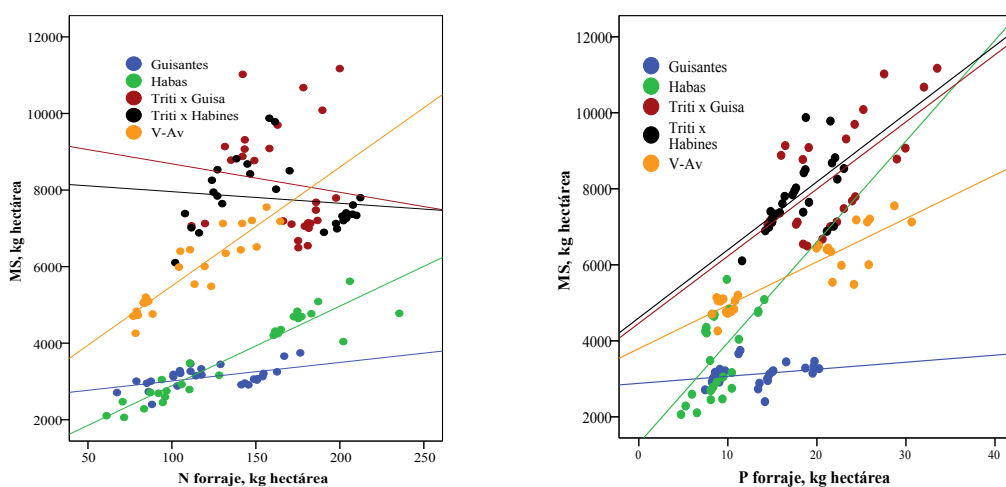


Figura 7.- Relaciones entre la producción de N (a) y P (b) con la MS ha⁻¹



$$\begin{aligned} \text{TxG, kg N ha}^{-1} &= \text{NS} \\ \text{TxH, kg N ha}^{-1} &= \text{NS} \\ \text{VxA, kg N ha}^{-1} &= -53.0 + 0.028 \text{ MS/ha}; \pm 9.8; r^2=0.88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TxG, kg P ha}^{-1} &= -1.3 + 0.003 \text{ MS ha}^{-1}; \pm 4.08; r^2=0.48 \\ \text{TxH, kg P ha}^{-1} &= 0.339 + 0.002 \text{ MS ha}^{-1}; \pm 2.3; r^2=0.40 \\ \text{VxA, kg P ha}^{-1} &= -25.5 + 0.007 \text{ MS ha}^{-1}; \pm 2.6; r^2=0.88 \end{aligned}$$

Con la dosis de N y P aplicado (kg ha⁻¹) como variables independientes, se realizó en una primera aproximación un análisis de correlación simple (Pearson) para estimar el grado de linealidad que presentan con las dependientes por si solas respecto a la producción de materia seca (MS), nitrógeno (N), materia orgánica digestible (MOD) y fósforo de cada forrajera (Tabla 10). Posteriormente se realizó un análisis de regresión múltiple incluyendo las dos variables independientes kg N y P ha⁻¹ aplicado con purín. Del análisis de correlación se desprende para los guisantes la existencia de un mayor nexo con el N respecto a la producción de materia seca que con el fósforo. Para la asociación TxG, el fósforo manifestó correlaciones negativas y positivas respecto al N, sin correlación para VxA y habines.

La producci3n de N en los guisantes se relacion3 positivamente con el aporte P ($r=0.73$ $P<0.01$) y negativamente la del P con el P del pur3n, similar a la asociaci3n TxG.

Tabla 10.- An3lisis de correlaci3n entre el N y P aportado y el extra3do

	G		TxG		TxH		VxA		H	
	N ¹	P ²	N ¹	P ²	N ¹	P ²	N ¹	P ²	N ¹	P ²
MS, kg ha ⁻¹	0.37*	NS	0.53**	-0.51**	0.39*	NS	NS	NS	NS	NS
N, kg ha ⁻¹	NS	0.73**	NS	0.45*	NS	0.64**	-0.39*	NS	-0.39*	NS
P, kg ha ⁻¹	NS	-0.53**	NS	-0.44*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MOD, kg ha ⁻¹	NS	0.79**	0.56**	-0.42*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹: kg de N ha⁻¹ aportados con el pur3n; ²: kg de P ha⁻¹ aportados con pur3n; * $P<0.05$; ** $P<0.001$

La Tabla 11 se3ala las estimas de materia seca (MS), nitr3geno (N), f3sforo (P) y materia org3nica digestible (MOD) en kg ha⁻¹ para cada uno de los diferentes cultivos forrajeros, seg3n el tipo de pur3n y aporte de N y f3sforo. En los guisantes abonados con pur3n intensivo el coeficiente de determinaci3n result3 bajo para MS ($r^2=0.15$), sin relaci3n el semiintensivo. Para el N, las constantes resultan superiores en el semiintensivo que el intensivo, imputable al superior aporte de N con pur3n intensivo. Para el TxG, las dos variables independientes utilizadas en el modelo (N y P kg ha⁻¹) resultan satisfactorias en ambos purines para estimar la producci3n de MS, pero no el N en el intensivo. En la asociaci3n TxH, las constantes de la ecuaci3n resultan similares entre ambas, aunque ligeramente mayor los kilogramos de N aportados en el pur3n semiintensivo que el intensivo, al igual que el f3sforo y, similares entre purines para producci3n de N ha⁻¹, debido a la similar producci3n (Tabla 7), lo que puede significar que en ning3n caso, el N procedente del pur3n pudo actuar como limitante, al igual que el f3sforo.

La Tabla 12, incluye las variables anteriormente discutidas para el conjunto de datos. En cualquier caso, los coeficientes de determinaci3n obtenidos, son inferiores cuando se incluyen los dos purines, que cuando son tratados por separado.



Tabla 11.- Estimación de la producción según tipo de purín y el aporte de N o P

	Purín Intensivo (Guisantes)	et	R²
MS ha ⁻¹ , kg	3078 + 0.06 N ha ⁻¹ + 4.86 kg P ha ⁻¹	283	0.15
N ha ⁻¹ , kg	128.9 - 0.20 kg N ha ⁻¹ + 1.32 kg P ha ⁻¹	9.5	0.89
MOD ha ⁻¹ , kg	1761 - 2.3 kg N ha ⁻¹ + 18.3 kg P ha ⁻¹	170	0.84
P ha ⁻¹ , kg	16 + 0.016 kg N ha ⁻¹ - 0.169 kg P ha ⁻¹	3.4	0.53
Purín Semiintensivo (Guisantes)			
MS ha ⁻¹ , kg	NS		
N ha ⁻¹ , kg	118.5 - 0.068 kg N ha ⁻¹ + 1.46 kg P ha ⁻¹	17.3	0.64
MOD ha ⁻¹ , kg	1656 - 0.54 kg N ha ⁻¹ + 13.8 kg P ha ⁻¹	207	0.51
P ha ⁻¹ , kg	13.1 + 0.011 kg N ha ⁻¹ - 0.22 kg P ha ⁻¹	2.4	0.70
Purín Intensivo (Triticale x Guisantes)			
MS ha ⁻¹ , kg	8173 + 17.3 N ha ⁻¹ - 81.8 kg P ha ⁻¹	650	0.88
N ha ⁻¹ , kg	NS		
MOD ha ⁻¹ , kg	5103 + 8.4 kg N ha ⁻¹ - 31.7 kg P ha ⁻¹	303	0.88
P ha ⁻¹ , kg	19.8 + 0.064 kg N ha ⁻¹ - 0.325 kg P ha ⁻¹	3.78	0.77
Purín Semiintensivo (Triticale x Guisantes)			
MS ha ⁻¹ , kg	7828 + 4.3 kg N ha ⁻¹ - 33.2 kg P ha ⁻¹	587	0.66
N ha ⁻¹ , kg	157.8 - 0.068 kg N ha ⁻¹ + 1.4 kg P ha ⁻¹	11	0.80
MOD ha ⁻¹ , kg	4963 + 1.44 kg N ha ⁻¹ - 4.86 kg P ha ⁻¹	271	0.38
P ha ⁻¹ , kg	14.2 + 0.031 kg N ha ⁻¹ + 0.24 kg P ha ⁻¹	3.1	0.57
Purín Intensivo (Triticale x Habines)			
MS ha ⁻¹ , kg	7792 + 5.8 N ha ⁻¹ - 27.3 kg P ha ⁻¹	1031	0.88
N ha ⁻¹ , kg	176 - 0.29 N ha ⁻¹ + 1.64 kg P ha ⁻¹	24	0.68
MOD ha ⁻¹ , kg	NS		
P ha ⁻¹ , kg	13.8 + 0.04 kg N ha ⁻¹ - 0.11 kg P ha ⁻¹	2.1	0.68
Purín Semiintensivo (Triticale x Habines)			
MS ha ⁻¹ , kg	7811 + 1.9 kg N ha ⁻¹ - 32.7 kg P ha ⁻¹	470	0.59
N ha ⁻¹ , kg	181 - 0.18 kg N ha ⁻¹ + 1.48 kg P ha ⁻¹	7.9	0.95
MOD ha ⁻¹ , kg	4933.8 + 0.46 kg N ha ⁻¹ - 9.9 kg P ha ⁻¹	255	0.28
P ha ⁻¹ , kg	17.2 + 0.008 kg N ha ⁻¹ - 0.12 kg P ha ⁻¹	2	0.55
Purín Intensivo (Veza x Avena)			
MS ha ⁻¹ , kg	5875 + 8.3 N ha ⁻¹ - 45.6 kg P ha ⁻¹	641	0.70
N ha ⁻¹ , kg	101.6 + 0.30 N ha ⁻¹ - 1.43 kg P ha ⁻¹	17	0.76
MOD ha ⁻¹ , kg	3535 + 4.8 kg N ha ⁻¹ - 26.7 kg P ha ⁻¹	389	0.68
P ha ⁻¹ , kg	18 + 0.059 kg N ha ⁻¹ - 0.38 kg P ha ⁻¹	4	0.77
Purín Semiintensivo (Veza x Avena)			
MS ha ⁻¹ , kg	3566 + 35.9 kg N ha ⁻¹ - 209.5 kg P ha ⁻¹	495	0.74
N ha ⁻¹ , kg	127.3 + 1.33 kg N ha ⁻¹ - 7.6 kg P ha ⁻¹	19	0.60
MOD ha ⁻¹ , kg	2223 + 22.5 kg N ha ⁻¹ - 132.7 kg P ha ⁻¹	244	0.64
P ha ⁻¹ , kg	8.33 + 0.056 kg N ha ⁻¹ - 0.29 kg P ha ⁻¹	2	0.93
Purín Intensivo (Habines)			
MS ha ⁻¹ , kg	5875 + 8.3 N ha ⁻¹ - 45.6 kg P ha ⁻¹	490	0.85
N ha ⁻¹ , kg	101.6 + 0.30 N ha ⁻¹ - 1.43 kg P ha ⁻¹	22	0.78
MOD ha ⁻¹ , kg	3535 + 4.8 kg N ha ⁻¹ - 26.7 kg P ha ⁻¹	325	0.84
P ha ⁻¹ , kg	18 + 0.059 kg N ha ⁻¹ - 0.38 kg P ha ⁻¹	1.6	0.48
Purín Semiintensivo (Habines)			
MS ha ⁻¹ , kg	3213 - 2.9 kg N ha ⁻¹ + 62.3 kg P ha ⁻¹	537	0.78
N ha ⁻¹ , kg	125.9 - 0.178 kg N ha ⁻¹ + 2.4 kg P ha ⁻¹	17.6	0.87
MOD ha ⁻¹ , kg	1806 - 2.0 kg N ha ⁻¹ + 43.8 kg P ha ⁻¹	354	0.80
P ha ⁻¹ , kg	5.6 + 0.004 kg N ha ⁻¹ + 0.083 kg P ha ⁻¹	1.22	0.37

Tabla 12.-Estimación de la producción según el tipo de purín y el aporte de N o P para el conjunto datos

	Guisantes	et	R²
MS ha ⁻¹ , kg	2980 + 0.56 N ha ⁻¹ + 4.45 kg P ha ⁻¹ s.e. 123 ^{***} 0.59 ^{NS} 2.93 ^{***}	265	0.137
N ha ⁻¹ , kg	125.5 - 0.11 kg N ha ⁻¹ + 1.05 kg P ha ⁻¹ s.e. 7.09 ^{***} 0.034 ^{***} 0.169 ^{***}	15.2	0.69
MOD ha ⁻¹ , kg	1669 - 0.88 kg N ha ⁻¹ + 14.3 kg P ha ⁻¹ s.e. 90 ^{***} 0.44 ^{NS} 2.1 ^{***}	195	0.69
P ha ⁻¹ , kg	13.1 + 0.01 kg N ha ⁻¹ - 0.125 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.6 ^{***} 0.008 ^{NS} 0.039 ^{***}	3.5	0.387
	Triticale x Guisantes		
MS ha ⁻¹ , kg	8193 + 6.37 N ha ⁻¹ - 39.1 kg P ha ⁻¹ s.e. 509 ^{***} 2.4 ^{NS} 12.1 ^{***}	1095	0.44
N ha ⁻¹ , kg	173.5 - 0.09 kg N ha ⁻¹ + 0.51 kg P ha ⁻¹ s.e. 7.8 ^{***} 0.038 [*] 0.18 ^{**}	16.9	0.38
MOD ha ⁻¹ , kg	5209 + 2.3 kg N ha ⁻¹ - 14.2 kg P ha ⁻¹ s.e. 253 ^{***} 1.2 ^{NS} 6.0 ^{**}	544	0.29
P ha ⁻¹ , kg	21.2 + 0.02 kg N ha ⁻¹ - 0.14 kg P ha ⁻¹ s.e. 2.4 ^{***} 0.012 ^{NS} 0.05 [*]	5.17	0.29
	Triticale x Habines		
MS ha ⁻¹ , kg	7669 + 3.21 N ha ⁻¹ - 16.7 kg P ha ⁻¹ s.e. 379 ^{***} 1.83 ^{NS} 9.03 ^{NS}	816	0.23
N ha ⁻¹ , kg	180.5 - 0.20 kg N ha ⁻¹ + 1.24 kg P ha ⁻¹ s.e. 9.79 ^{***} 0.044 ^{***} 0.21 ^{***}	19.7	0.71
MOD ha ⁻¹ , kg	NS		
P ha ⁻¹ , kg	15.6 + 0.01 kg N ha ⁻¹ - 0.05 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.1 ^{***} 0.005 ^{***} 0.027 [*]	2.44	0.40
	Veza x Avena		
MS ha ⁻¹ , kg	5586 + 5.03 N ha ⁻¹ - 28.7 kg P ha ⁻¹ s.e. 324 ^{***} 1.56 ^{***} 7.7 ^{***}	697	0.52
N ha ⁻¹ , kg	102.9 + 0.13 kg N ha ⁻¹ - 0.87 kg P ha ⁻¹ s.e. 10.6 ^{***} 0.051 ^{***} 0.25 ^{***}	22.8	0.47
MOD ha ⁻¹ , kg	3358 + 2.16 kg N ha ⁻¹ - 16.2 kg P ha ⁻¹ s.e. 172 ^{***} 0.83 ^{**} 0.047 ^{***}	371	0.50
P ha ⁻¹ , kg	15.1 + 0.04 kg N ha ⁻¹ - 0.27 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.96 ^{***} 0.009 ^{**} 0.047 ^{***}	4.2	0.72
	Habines		
MS ha ⁻¹ , kg	4350 - 5.59 N ha ⁻¹ + 15.1 kg P ha ⁻¹ s.e. 423 ^{***} 2.1 ^{**} 12.1 ^{NS}	994	0.24
N ha ⁻¹ , kg	161.8 - 0.26 kg N ha ⁻¹ + 0.86 kg P ha ⁻¹ s.e. 15.8 ^{***} 0.08 ^{***} 0.45 ^{NS}	37.2	0.34
MOD ha ⁻¹ , kg	2611 - 3.95 kg N ha ⁻¹ + 13.1 kg P ha ⁻¹ s.e. 90 ^{***} 0.44 ^{NS} 2.1 ^{***}	195	0.69
P ha ⁻¹ , kg	13.1 + 0.01 kg N ha ⁻¹ - 0.12 kg P ha ⁻¹ s.e. 280 ^{***} 1.4 ^{**} 8.0 ^{NS}	660	0.27

2.3. Nitrógeno crítico

El N crítico es calculado para establecer el índice de nutrición nitrogenada (INN), estimado como la relación entre el consumo de N actual y el obtenido a partir de la curva de dilución nitrogenada. Dicho índice es establecido como criterio económico y medioambiental según los valores propuestos por (Lemaire y Salette, 1984) de 1, fertilización nitrogenada adecuada; menor de 1 limitante y mayor de 1, aplicación de N en exceso. Este último puede acumularse en la planta como formas inorgánicas (nitrato) o complejos compuestos orgánicos en el tejido de la planta (Millard, 1988; Heilmeyer y Monson, 1994; Brégar *et al.*, 2000).

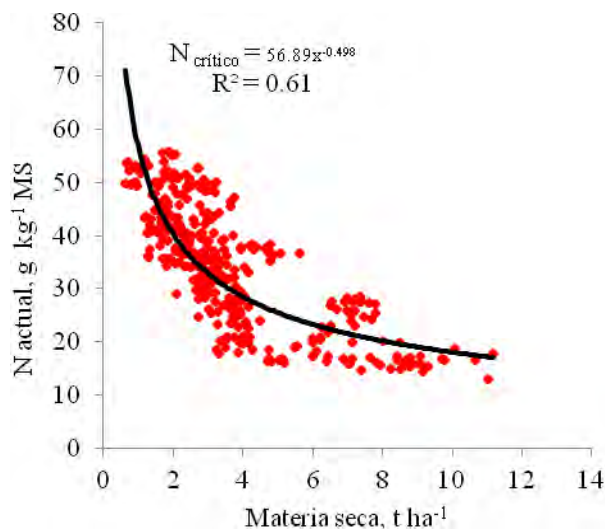
Las necesidades nutritivas de la plantas no son constantes durante su ciclo de crecimiento. En praderas después de una defoliación, existe una gran demanda de N para el área foliar y fotosíntesis. Después, cuando incrementa la proporción de pared celular el consumo de N por unidad de MS disminuye (Caloin y Yu, 1984).

La dilución de N durante el crecimiento del cultivo es discutido por varios autores (Lemaire y Salette, 1984; Coloin y Yu, 1984; Greenwood *et al.*, 1991; Justes *et al.*, 1994). Inicialmente, Lemaire y Salette (1984) establecen el concepto de la referencia “*Curva de Dilución del Nitrógeno*” (CDN). Esta curva describe el descenso en la concentración óptima de N ($N_{\text{crítico}}$) cuando incrementa la producción de materia seca por hectárea. El N crítico para praderas de clima templado formadas por raigrás inglés es del tipo: $N_{\text{crítico}}=48 \text{ MS } x^{-0.32}$; en trigo: $N_{\text{crítico}}=53.5 \text{ MS } x^{-0.442}$ y guisantes: $N_{\text{crítico}}=50.8 \text{ MS } x^{-0.32}$. Este modelo estima las deficiencias de N durante períodos de crecimiento para diferentes temperaturas (Lemaire y Gastal, 1997).

El contenido de N está relacionado alométricamente con la biomasa del cultivo mediante la ecuación $N, \% = a Wx^b$, donde W representa la producción de forraje por unidad de superficie (Lemaire y Salette, 1984; Greenwood *et al.*, 1990). Además, $N, \% = a' W^{1-b}$, donde a y a' difieren por un factor dependiente en la unidad adoptada para el contenido de N y para W. Las concentraciones críticas de $N_{\text{crítico}}$ se definen como la mínima concentración requerida para alcanzar el máximo crecimiento del cultivo (Greenwood *et al.*, 1986, 1991).

Como era de esperar, la concentración de N de cada forraje e independientemente de la dosis, decrece en el tiempo (Lemaire y Salette, 1984; Greenwood *et al.*, 1990) (Figura 8).

■ **Figura 8.-** Relación entre la producción de materia seca y la concentración de N para el conjunto de forrajes y dosis de N aplicado con purín



La concentración de N_{actual} , N_{critico} en g kg⁻¹ MS y la relación $N_{\text{actual}} \div N_{\text{critico}}$ de los diferentes cultivos forrajeros en función del N aplicado viene reflejada en la Tabla 13 y la Tabla 14 según el número de aprovechamientos. Solamente se observan diferencias significativas en los habines $P < 0.001$ en el N_{actual} y no en el N_{critico} para las dosis de purín aportadas. Para el INN, sólo el TxH y habines difiere entre niveles de fertilización nitrogenada. Contrario a otros experimentos con fertilizantes nitrogenados de síntesis en praderas (Marino *et al.*, 2004), el N_{actual} no aumenta conforme lo hace el aporte de N del purín en los forrajes estudiados.

Según evoluciona el cultivo, el N_{actual} y N_{critico} descendieron significativamente conforme avanza el tiempo ($P < 0.001$) (Tabla 14) al igual que el índice de nutrición nitrogenada (INN), excepto los habines que no difieren en el tiempo. En cualquier caso, el INN está próximo a 1 o ligeramente superior, considerada adecuada.

Tabla 13.- Nitrógeno actual, crítico y su relación en función del N aportado y cultivo

	N ha⁻¹	G	T*G	T*H	V*A	H
N_{actual}	0	43.2	28.2	24.6	31.5	41.9
	81	46.7	27.8	26.5	30.6	38.7
	162	46.5	28.7	27.2	31.1	39.1
	243	46.7	29.2	27.4	30.1	39.6
	Media	45.8	28.5	26.4	30.8	39.8
	<i>et</i>	0.88	0.96	0.83	1.14	0.66
	N	NS	NS	NS	NS	***
	Año	***	***	***	NS	NS
	N*Año	NS	NS	NS	NS	***
N_{crítico}	0	49.0	28.4	28.3	33.2	41.1
	81	47.5	26.9	26.8	30.9	40.1
	162	47.0	26.9	26.8	30.3	39.9
	243	46.9	26.7	26.5	29.7	39.8
	Media	47.6	27.3	27.1	31.1	40.2
	<i>et</i>	0.55	0.52	0.46	1.03	0.37
	N	NS	NS	NS	NS	NS
	Año	***	*	NS	NS	NS
	N*Año	NS	NS	NS	NS	NS
N_{actual} ÷ N_{crítico}	0	0.87	0.97	0.84	0.93	1.01
	81	0.98	1.01	0.98	0.99	0.96
	162	0.99	1.05	1.01	1.02	0.98
	243	0.99	1.07	1.02	1.01	0.99
	Media	0.96	1.03	0.96	0.99	0.99
	<i>et</i>	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
	N	NS	NS	***	NS	***
	Año	NS	***	***	NS	NS
	N*Año	NS	NS	NS	NS	***

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **et:** error típico; **N:** kg ha⁻¹ de nitrógeno; **N*Año:** interacción nitrógeno por año

Tabla 14.- Concentración de nitrógeno actual, crítico y su relación en función del número de aprovechamiento y cultivo

	Aprovechamiento	G	T*G	T*H	V*A	H
N_{actual} , g kg ⁻¹ MS	1	50.5	36.0	34.5	40.0	43.5
	2	49.1	28.7	24.3	33.9	40.6
	3	38.6	20.8	21.4	18.3	36.8
	Media	46.1	28.5	26.7	30.7	39.4
	<i>et</i>	0.49	0.32	0.29	0.29	0.52
	Aprovechamiento	***	***	***	***	***
	Año	***	***	***	**	NS
	Aprovechamiento*Año	***	***	***	***	***
N_{critico} g kg ⁻¹ MS	1	52.5	31.5	31.1	42.3	43.4
	2	46.6	28.3	27.7	28.1	40.2
	3	43.1	21.3	21.9	21.8	38.4
	Media	47.4	27.1	26.9	30.7	40.1
	<i>et</i>	0.16	0.09	0.09	0.20	0.12
	Aprovechamiento	***	***	***	***	***
	Año	***	***	***	***	***
	Aprovechamiento*Año	***	***	***	NS	***
$N_{\text{actual}} \div N_{\text{critico}}$	1	0.96	1.1	1.1	0.95	1.0
	2	1.05	1.01	0.87	1.2	1.0
	3	0.9	0.96	0.97	0.84	0.96
	Media	0.97	1.04	0.98	1.0	0.98
	<i>et</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Aprovechamiento	***	***	**	***	NS
	Año	***	***	***	***	*
	Aprovechamiento*Año	***	***	***	***	***

Las curvas de dilución del N para cada uno de los cultivos vienen reflejadas en la Figura 9, donde la base y el exponente de las ecuaciones difieren entre cultivos forrajeros. En las asociaciones TxG y TxH, las bases y los exponentes son similares a 48 y -0.32 respectivamente señalado por Lemaire y Salette (1984) para hierbas de praderas de clima templado, caracterizado por el descenso en el patrón de N_{critico} durante el crecimiento (Lemaire y Gastal, 1997). Para la asociación VxA, el mayor exponente y base respecto al triticale asociados con guisante, cabe imputarlo a la menor producción de materia seca en el mismo tiempo de cultivo. En las leguminosas (G y H) el menor exponente es atribuido al menor consumo de N durante la fase de crecimiento, por la fijación de N atmosférico o bien, a la menor producción de materia seca por hectárea.

El análisis de regresión entre $N_{\text{critico}} \div N_{\text{actual}}$ (g kg⁻¹ MS) manifestó una aceptable correlación ($r^2=0.74$), donde cada gramo en la concentración de N_{actual} representa 0.78 g de N_{critico} (Figura 10).

Figura 9.- Curvas de dilución del N crítico de cada forrajera

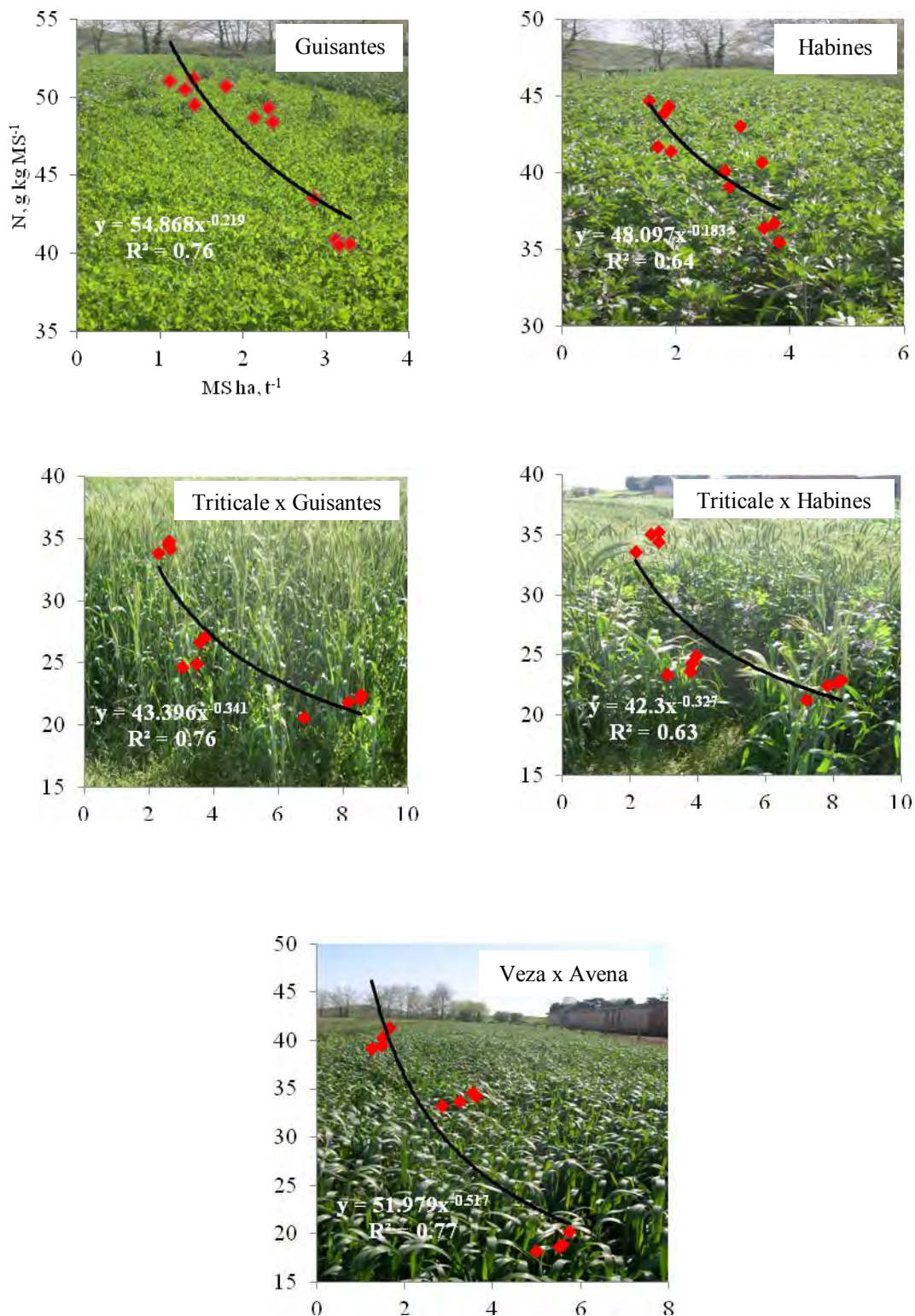
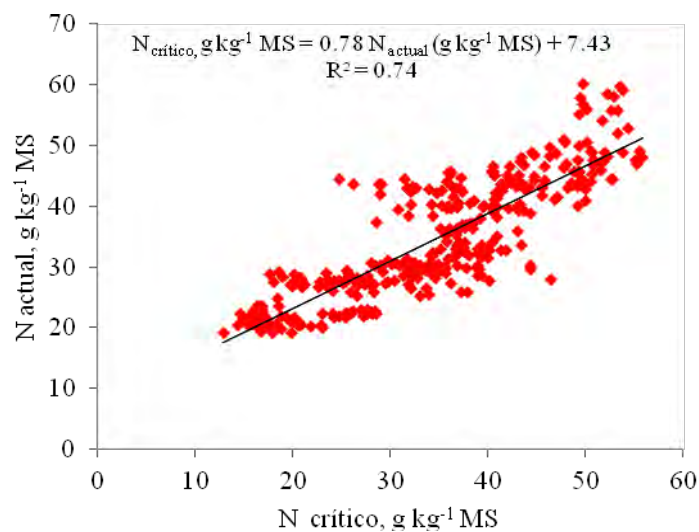


Figura 10.- Relación entre el $N_{\text{crítico}}$ y N_{actual} para el conjunto de cultivos



2.4. Producción y eficiencias del maíz

La producción de materia seca (Tabla 15) difiere entre el tipo de purín, dosis y año ($P < 0.001$). La interacción tipo de purín x dosis es significativa ($P < 0.01$) y, $P < 0.05$ la dosis x año. A pesar del mayor aporte de N y P con el purín intensivo, la producción de materia seca es similar, con rendimientos medios de 11788 y 12178 kg ha^{-1} en el semiintensivo y mayor ($P < 0.05$) respecto al testigo con producciones medias de 10332 kg (Tabla 15) y entre años (Figura 11a), sin incrementos lineales o cuadráticos a la dosis de purín en el intensivo y ($P < 0.01$) en el semiintensivo (Tabla 16). No obstante, se observa una correlación ($r = 0.39$, $P < 0.01$) entre la producción de materia seca y el N aportado con el purín (Tabla 17).

El contenido de N del forraje es un 5.9% superior con el purín intensivo respecto al semiintensivo ($P < 0.05$), e intermedio el maíz sin fertilizar (Tabla 15), sin diferencias significativas entre años, pero sí $P < 0.001$ la interacción sistema x dosis. No obstante, el análisis de varianza muestra diferencias significativas ($P < 0.001$) a nivel de tipo de purín (testigo, intensivo y semiintensivo) y año. Los porcentajes de N para el maíz aquí obtenidos son superiores a 1.17 señalados por Cela *et al.* (2008) en Lérida fertilizado con abonos nitrogenados de origen sintético.

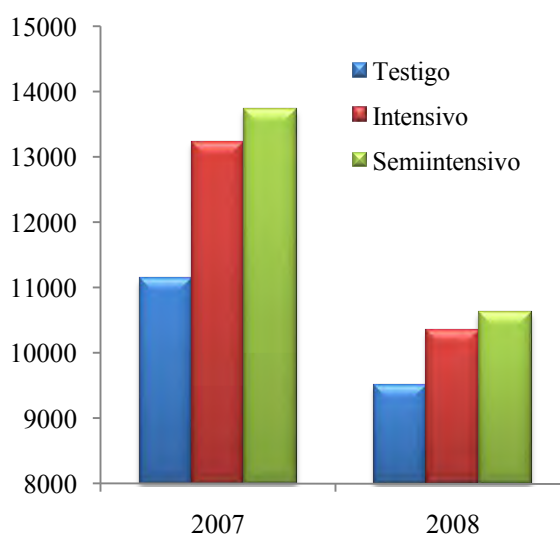
La producción media de N también es superior en el maíz fertilizado ($P < 0.05$), sin diferencias entre purines, con rendimientos medios de 137, 158 y 153 kg ha^{-1} para el testigo, intensivo y semiintensivo respectivamente (Tabla 15). Entre años y tipo de purín, la producción de N es diferente ($P < 0.001$), imputable a la mayor producción de materia seca en el primer año ($P < 0.001$) (Figura 11b).

Tabla 15.- Producción y eficiencias del maíz para ensilado según el tipo de purín

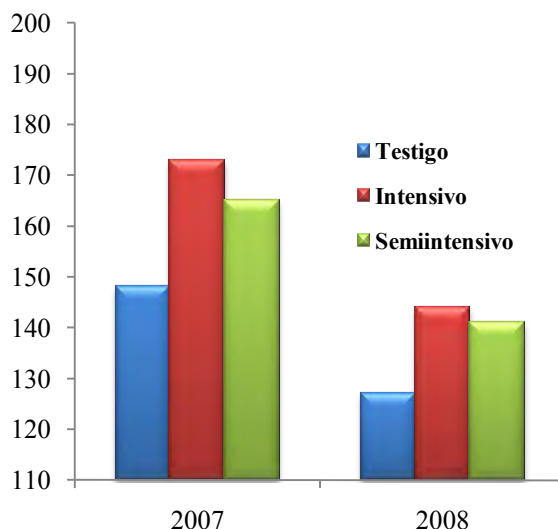
	Testigo	Intensivo	Semiintensivo	<i>et</i>
MS, kg ha ⁻¹	10322a	11788b	12178b	273
N, %	1.32ab	1.35b	1.27a	0.014
N, kg ha ⁻¹	137a	158b	153b	2.7
Kg MS kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{MS}</i>)	-	13.8a	35.5b	2.8
Kg N kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_N</i>)	-	0.178a	0.364b	0.03
MOD, kg ha ⁻¹	6925a	8109	8274b	2.4
Kg MOD kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{MOD}</i>)	-	10.6a	23.9b	2.47
EM, MJ ha ⁻¹	110821a	127376a	126099a	3756
MJ kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{EM}</i>)	-	156a	303b	34.4
P, %	0.19a	0.21b	0.20ab	0.002
P, kg ha ⁻¹	20.2a	24.8b	24.6b	0.57
Kg P kg ⁻¹ P purín, (<i>CU_P</i>)	-	0.071a	0.25b	0.029

	Sistema	Año	Dosis	SxD	SxA	DxA	SxDxA
MS, kg ha ⁻¹	***	***	***	**	NS	*	NS
N, %	***	***	NS	***	NS	NS	*
N, kg ha ⁻¹	*	***	***	NS	NS	NS	**
Kg MS kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{MS}</i>)	***	NS	NS	NS	***	NS	NS
Kg N kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_N</i>)	***	*	NS	NS	***	NS	*
MOD, kg ha ⁻¹	NS	***	***	*	NS	***	NS
Kg MOD kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{MOD}</i>)	***	NS	NS	NS	*	NS	NS
EM, MJ ha ⁻¹	NS	*	***	*	NS	***	NS
MJ kg ⁻¹ N purín, (<i>CUN_{EM}</i>)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P, %	***	***	***	***	***	***	***
P, kg ha ⁻¹	NS	NS	***	***	***	***	***
Kg P kg ⁻¹ P purín, (<i>CU_P</i>)	***	***	***	NS	***	*	NS

Figura 11a.- Producción de materia seca del entre años, (kg ha⁻¹)



■ ■ ■ **Figura 11b.-** Producción de nitrógeno del maíz entre años, (kg ha⁻¹)



■ ■ ■ **Tabla 16.-** Producción y eficiencias del maíz según el tipo de purín

	Testigo		Intensivo				Semiintensivo				
	Testigo	20 t ha ⁻¹	40 t ha ⁻¹	60 t ha ⁻¹	L	C	20 t ha ⁻¹	40 t ha ⁻¹	60 t ha ⁻¹	L	C
MS, kg ha ⁻¹	10322a	11614ab	11589ab	12161ab	NS	NS	11524ab	12439b	12571b	**	NS
N, %	1.32ab	1.3a	1.42b	1.33ab	NS	NS	1.3a	1.24a	1.26a	NS	NS
N, kg ha ⁻¹	138a	151ab	164b	161b	NS	NS	141ab	153ab	157ab	**	NS
Kg MS kg ⁻¹ N, (CUN _{MS})	-	21ab	10.5a	10.1a	NS	NS	39b	41b	28.4ab	NS	NS
Kg N/kg N, (CUN _N)	-	0.20ab	0.20ab	0.13a	**	NS	0.35ab	0.44b	0.29ab	**	NS
MOD, kg ha ⁻¹	6925a	7834ab	7954ab	8539b	NS	NS	7627ab	8379ab	8817b	***	NS
Kg MOD kg ⁻¹ N, (CUN _{MOD})	-	14.7ab	8.3a	8.8a	NS	NS	14.4ab	30.9b	22.6ab	NS	NS
EM, MJ ha ⁻¹	110821a	125371a	123785a	132973a	NS	NS	122017a	130343a	137383a	*	NS
MJ/kg N, (CUN _{EM})	-	236a	109a	124a	NS	NS	294a	349a	265a	NS	NS
P, %	0.196ab	0.21bc	0.206bc	0.215c	NS	NS	0.205bc	0.185a	0.211c	NS	NS
P, kg ha ⁻¹	20.2a	24.3ab	24.3ab	25.9b	NS	NS	24.1ab	22.8ab	28.8b	***	NS
Kg P kg ⁻¹ P, (CUP _P)	-	0.22a	0.19a	0.10 ^a	***	***	0.58b	0.32a	0.32 ^a	***	***

a, b: dentro de cada dosis de purín y sistema difiere P<0.05; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

■ ■ ■ **Tabla 17.-** Análisis de correlación

	MS, kg ha ⁻¹	N, %	N, kg ha ⁻¹	MOD, kg ha ⁻¹	EM, MJ ha ⁻¹	P, %	P, kg ha ⁻¹
N ha ⁻¹ , kg	0.39**	NS	0.46**	0.46**	0.40**	0.39**	0.54**
P ha ⁻¹ , kg	NS	NS	0.93**	NS	NS	0.47**	NS

■ ■ ■ **Tabla 18.-** Estimación de la producción de nutrientes del maíz

	Maíz	et	R ²
MS ha ⁻¹ , kg	10638 + 26.1 N ha ⁻¹ - 39.4 kg P ha ⁻¹ s.e. 217*** 2.68*** 4.3***	868	0.73
N ha ⁻¹ , kg	141.8 + 0.23 kg N ha ⁻¹ - 0.29 kg P ha ⁻¹ s.e. 2.9*** 0.036*** 0.05**	11.6	0.52
MOD ha ⁻¹ , kg	7049 + 21.2 kg N ha ⁻¹ - 29.7 kg P ha ⁻¹ s.e. 161*** 1.99*** 3.19***	644	0.75
P ha ⁻¹ , kg	21.1 + 0.11 kg N ha ⁻¹ - 0.29 kg P ha ⁻¹ s.e. 0.5*** 0.014*** 0.042***	2.0	0.68

2.5. Producción y eficiencias en la rotación (forrajeras + maíz)

La producción de materia seca porcentual de las diferentes forrajeras dentro de cada rotación, tipo de purín y dosis son similares (Tablas 19 y 20). En cada caso, no se observan diferencias significativas entre tipo y dosis de purín para la materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible y fósforo.

Tabla 19.- Contribución porcentual de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible y fósforo de las forrajeras dentro de la rotación con maíz según la dosis de purín

Rotación	Dosis purín t ⁻¹	% MS forrajeras	% N forrajeras	% MOD forrajeras	% P forrajeras
G	0	21.6	43.4	19.8	30.3
	20	21.4	45.7	19.2	36.2
	40	21.5	44.5	19.3	35.7
	60	20.4	42.7	17.9	31.1
Std		0.47	1.36	0.995	0.96
TxG	0	39.6	46.8	37.8	44.1
	20	41.5	51.3	40.3	41.4
	40	41.3	51	39.4	44.7
	60	40.6	49.5	38.1	44.1
Std		0.44	0.93	0.52	1.04
TxH	0	41.1	48.7	38.5	45.4b
	20	41.3	53.5	40.4	40.8a
	40	41.1	51.9	39.8	43.8ab
	60	39.1	49.5	37.1	40.2a
Std		0.50	1.35	0.73	0.61
VxA	0	32.9	36.3	30.7b	35.2
	20	32.6	40	30.6b	36.7
	40	31.8	36.6	29.2ab	37.3
	60	31.5	38.5	28.3a	36.5
Std		0.32	0.91	0.29	1.7
H	0	25.2	45.7	22.6	30
	20	22.8	43.5	20.5	29.8
	40	23.4	45.4	20.7	29.9
	60	24.2	45.9	21.4	31.3
Std		1.53	2.14	1.71	1.87

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **Std:** desviación estándar de la media; a, b dentro de cada forraje difiere P<0.05

Tabla 20.- Contribución porcentual de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible y fósforo de las forrajeras dentro de la rotación con maíz, según el tipo de purín

	% MS forrajeras			% N forrajeras			% MOD forrajeras			% P forrajeras		
	T	I	S	T	I	S	T	I	S	T	I	S
G	21.6	21.4	20.6	43.4	43.8	44.8	19.8	19.1	18.5	30.3	34.9	33.7
Std	1.81	2.76	2.12	10.7	6.25	6.02	5	5.2	4.6	2.8	5.8	5.1
TxG	39.6	41.7	40.6	46.8	50.7	50.6	37.7	39.6	38.9	44.1	44	42.8
Std	1.06	2.74	1.74	6.4	3.91	4.82	2.2	2.01	3.3	1.6	7.1	3.5
TxH	41.1	41.7	39.4	48.7	52.1	51.2	39.4	40.1	38.1	45.3	41.5	41.7
Std	1.1	2.8	2.2	8.1	7.3	5.9	3.2	3.9	3.9	0.46	3.1	4.1
VxA	32.9	32.4	31.5	36.3	38.5	38.3	30.7	29.6	29.1	35.2	37.1	36.6
Std	1.7	1.4	1.4	3.3	3.3	6.0	1.7	1.6	1.7	5.2	8.3	9.4
H	25.2	24.7	22.2	45.7	45.6	44.2	22.6	22.1	19.6	30	33	27.7
Std	7.3	7.8	7.1	12.4	9.3	11.3	8.8	8.8	7.7	12.2	7.2	9.3

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **T:** testigo; **I:** intensivo; **S:** semiintensivo; **Std:** desviación estándar

La producción de nutrientes en las diferentes rotaciones (forrajeras + maíz) viene reflejada en la Tabla 21. De la misma, se desprende mayores producciones de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible, energía metabolizable y fósforo se obtienen en las asociaciones de triticale x guisantes y triticale x habines, sin diferencias entre ellas. Las menos interesantes desde el punto productivo son las formadas por guisantes + maíz y habines + maíz. La rotación de veza x avena (rotación típica de Cantabria), presenta producciones de nutrientes intermedias ($P < 0.05$). Las Tablas 21 a la 26 señalan los rendimientos y las eficiencias para cada cultivo forrajero asociado con maíz, y la Tabla 27 el análisis de varianza.

■ ■ ■ **Tabla 21.-** Producción de nutrientes en la rotación

	G	T x G	T x H	V x A	H	et
MS, kg ha ⁻¹	15317a	20437c	19721c	17646b	15837a	202
N, kg ha ⁻¹	283b	320c	321c	259a	282b	2.42
MOD, kg ha ⁻¹	10111a	13466c	13108c	11584b	10549a	133
EM, MJ ha ⁻¹	159334a	213028c	207424c	182893b	166307a	2291
P, kg ha ⁻¹	38.4ab	44.7c	42.2bc	40.5bc	35.4a	0.68
Kg MS kg ⁻¹ N	9.4a	13.7c	9.3a	11.8ab	9.6a	0.59
Kg N kg ⁻¹ N	0.177b	0.139ab	0.099a	0.104a	0.104a	0.01
Kg MOD kg ⁻¹ N	6.07a	9.4b	7.0ab	7.68ab	7.7ab	0.40
MJ EM kg ⁻¹ N	245a	406b	297ab	346ab	367ab	21.4
Kg P kg ⁻¹ P	0.231b	0.153ab	0.083a	0.20b	0.167ab	0.015

G: guisantes; **TxG:** triticale x guisantes; **TxH:** triticale x habines; **VxA:** veza x avena; **H:** habines; **et:** error típico; a, b, c dentro de cada fila difieren $P < 0.05$; **MS:** materia seca; **N:** nitrógeno; **MOD:** materia orgánica digestible; **EM:** energía metabolizable; **P:** fósforo

Tabla 22.- Producción de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible, energía metabolizable y fósforo según dosis y tipo de purín en la rotación Guisantes y Maíz

	Dosis purín t ha ⁻¹					Purín			
	0	20	40	60	et	I	S	et	
MS, kg ha ⁻¹	13242a	14737ab	15414b	15800b	561	15187a	15447a	346	
N, kg ha ⁻¹	250a	276b	286b	28b	5.2	287a	279a	3.17	
MOD, kg ha ⁻¹	8679a	9619ab	10057b	10656b	328	10076a	10145a	220	
EM, MJ ha ⁻¹	138871a	153910ab	157367ab	166726b	6203	158899a	159769a	3869	
P, kg ha ⁻¹	30.4a	38.6ab	37.6ab	39.1b	2.4	38.7a	38.2a	1.44	
Kg MS kg ⁻¹ N	-	10.9a	9.7a	7.7a	1.01	7.6a	11.3a	1.01	
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.227a	0.178a	0.127a	0.02	0.139a	0.216a	0.02	
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	6a	6.2a	5.9a	0.27	5.5a	6.6a	0.79	
MJ EM kg ⁻¹ N	-	241a	241a	251a	36	192a	296a	36	
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.373b	0.181ab	0.141a	0.044	0.2144a	0.249a	0.044	
	Testigo	Intensivo				Semiintensivo			
	0	20	40	60	et	20	40	60	et
MS, kg ha ⁻¹	13242a	14910a	15132a	15519a	423	14563ab	15696ab	16082b	459
N, kg ha ⁻¹	250a	275b	296b	290b	5.48	276b	277b	283b	4.4
MOD, kg ha ⁻¹	8679a	9904ab	9910ab	10416b	267	9335ab	10205bc	10897c	303
EM, MJ ha ⁻¹	139a	158a	155a	163a	4.5	149ab	159ab	170b	4.9
P, kg ha ⁻¹	30.4a	38.8a	39.1a	38.3a	1.77	38.4a	36.3a	39.9a	1.97
Kg MS kg ⁻¹ N	-	11.3a	6.4a	5.1a	1.5	10.5a	13.0a	10.3a	1.13
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.172a	0.155a	0.09a	0.28	0.28a	0.202a	0.165a	0.04
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	8.3a	4.2a	3.9a	1.06	3.67a	8.3a	7.9a	1.16
MJ EM kg ⁻¹ N	-	308a	135a	134a	45.8	175a	347a	367a	53
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.363a	0.18a	0.099a	0.065	0.383a	0.181a	0.184a	0.06
		Intensivo				Semiintensivo			
		L	C			L	C		
MS, kg ha ⁻¹		NS	NS			**	NS		
N, kg ha ⁻¹		***	**			**	NS		
MOD, kg ha ⁻¹		*	NS			***	NS		
EM, MJ ha ⁻¹		NS	NS			**	NS		
P, kg ha ⁻¹		NS	NS			NS	NS		
Kg MS kg ⁻¹ N		NS	NS			NS	NS		
Kg N kg ⁻¹ N		NS	NS			NS	NS		
Kg MOD kg ⁻¹ N		NS	NS			NS	NS		
MJ EM kg ⁻¹ N		NS	NS			NS	NS		
Kg P kg ⁻¹ P		NS	NS			NS	NS		

MS: materia seca; N: nitrógeno; MOD: materia orgánica digestible; EM: energía metabolizable; P: fósforo; et: error típico; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

Tabla 23.- Producción de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible, energía metabolizable y fósforo según dosis y tipo de purín en la rotación según dosis y tipo de purín en la rotación Triticale x Guisantes y Maíz

	Dosis purín t ha ⁻¹					Purín			
	0	20	40	60	et	I	S	et	
MS, kg ha ⁻¹	17200a	19647ab	20542ab	21121b	564	20808a	20065ab	610	
N, kg ha ⁻¹	288a	305ab	331c	325bc	3.37	330a	311b	3.78	
MOD, kg ha ⁻¹	11182a	12751ab	13454b	14193b	345	13769a	13164b	383	
EM, MJ ha ⁻¹	178948a	204036ab	211719ab	22328b	5997	217755a	208301b	656	
P, kg ha ⁻¹	38.2a	41.6a	44.1a	48.3a	1.79	47a	42.4a	1.92	
Kg MS kg ⁻¹ N	-	17.8a	12.7a	10.6a	1.47	13.9a	13.6a	1.47	
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.123a	0.181a	0.112a	0.08	0.155a	0.123a	0.018	
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	11.1a	9.01a	8.35a	0.88	9.71a	9.26a	0.88	
MJ EM kg ⁻¹ N	-	504a	353a	358a	42.6	356a	455a	42.6	
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.175a	0.125a	0.159a	0.031	0.176a	0.13a	0.031	
	Testigo		Intensivo			Semiintensivo			
	0	20	40	60	et	20	40	60	et
MS, kg ha ⁻¹	17200a	19919a	20981a	21525a	798	19375a	20103a	20718a	697
N, kg ha ⁻¹	288a	310ab	347c	333bc	7.02	300a	315a	316a	3.6
MOD, kg ha ⁻¹	11182a	13007ab	13837ab	14462c	508	12495a	13072a	13924a	462
EM, MJ ha ⁻¹	179a	208a	218a	227a	8.3	200a	206a	219a	7.6
P, kg ha ⁻¹	38.2a	44a	49.5a	47.6a	2.23	39.3a	38.8a	49.1a	2.3
Kg MS kg ⁻¹ N	-	18.7a	13.0a	9.9a	2.76	16.9a	12.4a	11.3a	1.23
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.152a	0.207a	0.105a	0.03	0.095a	0.155a	0.12a	0.021
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	12.5a	9.1a	7.4a	1.58	9.6a	8.9a	9.2a	0.87
MJ EM kg ⁻¹ N	-	481a	321a	266a	72	528a	386a	451a	43
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.193a	0.222a	0.114a	0.033	0.157a	0.029a	0.20a	0.053
	Intensivo					Semiintensivo			
	L		C			L		C	
MS, kg ha ⁻¹	NS		NS			NS		NS	
N, kg ha ⁻¹	***		**			***		NS	
MOD, kg ha ⁻¹	*		NS			*		NS	
EM, MJ ha ⁻¹	NS		NS			NS		NS	
P, kg ha ⁻¹	NS		NS			NS		NS	
Kg MS kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
Kg N kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
Kg MOD kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
MJ EM kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
Kg P kg ⁻¹ P	NS		NS			NS		NS	

MS: materia seca; N: nitrógeno; MOD: materia orgánica digestible; EM: energía metabolizable; P: fósforo et: error típico; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

Tabla 24.- Producción de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible, energía metabolizable y fósforo según dosis y tipo de purín en la rotación según dosis y tipo de purín en la rotación Triticale x Habines y Maíz

	Dosis purín t ha ⁻¹					Purín			
	0	20	40	60	et	I	S	et	
MS, kg ha ⁻¹	17603a	19373	19852	19938	497	19719	19723	533	
N, kg ha ⁻¹	300a	317	329	317	3.45	325	317	3.78	
MOD, kg ha ⁻¹	11471a	12660	13153	13512	311	13174	13042	339	
EM, MJ ha ⁻¹	183557a	202566	207079	212626	5424	208526	206321	5846	
P, kg ha ⁻¹	38.5a	40.8	41.5	44.1	1.13	42.8	41.5	1.23	
Kg MS kg ⁻¹ N	-	13.3b	8.4ab	6.4a	1.3	8.78a	10a	1.3	
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.116a	0.12a	0.063a	0.016	0.097a	0.102a	0.016	
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	8.7a	6.6a	5.8a	0.77	6.7a	7.3a	0.77	
MJ EM kg ⁻¹ N	-	403a	247a	239a	38	246a	347a	38	
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.099a	0.064a	0.084a	0.016	0.056a	0.109a	0.016	
	Testigo	Intensivo				Semiintensivo			
	0	20	40	60	et	20	40	60	et
MS, kg ha ⁻¹	17603a	19602a	19727a	19829a	644	19144a	19978a	20046a	598
N, kg ha ⁻¹	300a	315a	341b	317a	5.1	319a	315a	317a	4.9
MOD, kg ha ⁻¹	11471a	12885a	13189a	134449a	415	12435a	13117a	13575a	405
EM, MJ ha ⁻¹	183a	206a	208a	212a	6.9	199a	206a	213a	6.7
P, kg ha ⁻¹	38.5a	40.9a	42.3a	45.3a	1.6	40.8a	40.7a	42.9a	1.63
Kg MS kg ⁻¹ N	-	13.8a	7.3a	5.1a	2.4	12.8b	9.4ab	7.7a	0.9
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.107a	0.145a	0.04a	0.02	0.125a	0.095a	0.087a	0.02
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	9.7a	5.9a	4.5a	1.4	7.6a	7.3a	7.0a	0.64
MJ EM kg ⁻¹ N	-	378a	202a	157a	63	429a	292a	321a	39
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.034a	0.054a	0.079a	0.02	0.165a	0.074a	0.089a	0.02
		Intensivo				Semiintensivo			
		L	C	L	C	L	C	L	C
MS, kg ha ⁻¹		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N, kg ha ⁻¹		MS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MOD, kg ha ⁻¹		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EM, MJ ha ⁻¹		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P, kg ha ⁻¹		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Kg MS kg ⁻¹ N		NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Kg N kg ⁻¹ N		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Kg MOD kg ⁻¹ N		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MJ EM kg ⁻¹ N		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Kg P kg ⁻¹ P		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

MS: materia seca; N: nitrógeno; MOD: materia orgánica digestible; EM: energía metabolizable; P: fósforo et: error típico; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático

Tabla 25.- Producción de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible, energía metabolizable y fósforo según dosis y tipo de purín en la rotación según dosis y tipo de purín en la rotación Veza x Avena y Maíz

	Dosis purín t ha ⁻¹					Purín			
	0	20	40	60	et	I	S	et	
MS, kg ha ⁻¹	15227a	16993a	17656ab	18288b	470	17272b	18019a	507	
N, kg ha ⁻¹	237a	250a	257a	269a	8.3	257a	260a	9.08	
MOD, kg ha ⁻¹	9888a	10960ab	11526ab	12265b	331	11404a	11764a	368	
EM, MJ ha ⁻¹	158220a	175377a	180842a	192460a	5744	180124a	185662a	6281	
P, kg ha ⁻¹	32.5a	38.9a	38.7a	43.9a	2.05	39.9a	41.1a	2.24	
Kg MS kg ⁻¹ N	-	14.4a	11.2a	9.7a	1.33	7.9b	15.6a	1.33	
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.083a	0.122a	0.107a	0.023	0.063a	0.145a	0.023	
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	8.04a	7.6a	7.4a	0.84	5.65b	9.71a	0.84	
EM kg ⁻¹ N	-	385a	317a	334	44.4	201b	490a	44.4	
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.251a	0.154a	0.194a	0.036	0.178a	0.221a	0.036	
	Testigo	Intensivo				Semiintensivo			
	0	20	40	60	et	20	40	60	et
MS, kg ha ⁻¹	15227a	16888a	17177a	17751a	598	17098a	18135a	18825a	638
N, kg ha ⁻¹	237a	242a	263a	269a	11	259a	252a	269a	9.7
MOD, kg ha ⁻¹	9888a	10972a	11318a	11921a	427	10948a	11735a	12610a	463
EM, GJ ha ⁻¹	158a	175a	177a	187a	7.1	175a	184a	198a	7.6
P, kg ha ⁻¹	32.5a	39.5a	39.5a	40.7a	2.5	38.4a	37.9a	47a	2.8
Kg MS kg ⁻¹ N	-	11.4a	6.7a	5.7a	1.5	17.5a	15.7a	13.6a	1.5
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.03a	0.087a	0.072a	0.02	0.137a	0.157a	0.142a	0.03
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	7.4a	4.8a	4.6a	1.03	8.6a	10.3a	10.1a	1.08
MJ EM kg ⁻¹ N	-	285a	160a	160a	46.6	486a	476a	509a	47.9
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.287a	0.141a	0.107a	0.048	0.216a	0.167a	0.281a	0.056
	Intensivo				Semiintensivo				
	L	C	L	C	L	C	L	C	
MS, kg ha ⁻¹	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
N, kg ha ⁻¹	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
MOD, kg ha ⁻¹	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	
EM, GJ ha ⁻¹	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
P, kg ha ⁻¹	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Kg MS kg ⁻¹ N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Kg N kg ⁻¹ N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Kg MOD kg ⁻¹ N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
EM kg ⁻¹ N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Kg P kg ⁻¹ P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

MS: materia seca; **N:** nitrógeno; **MOD:** materia orgánica digestible; **EM:** energía metabolizable; **P:** fósforo **et:** error típico; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático

Tabla 26.- Producci3n de materia seca, nitr3geno, materia org3nica digerible, energ3a metabolizable y f3sforo seg3n dosis y tipo de pur3n en la rotaci3n seg3n dosis y tipo de pur3n en la rotaci3n Habines y Ma3z

	Dosis pur3n t ha ⁻¹					Pur3n			
	0	20	40	60	et	I	S	et	
MS, kg ha ⁻¹	13880a	15523b	15965b	16023b	177	15801a	15873a	194	
N, kg ha ⁻¹	263a	281a	284a	282a	5.6	296a	268b	5.2	
MOD, kg ha ⁻¹	8992a	10135b	10661b	10850b	122	10552a	10595a	145	
EM, GJ ha ⁻¹	143888a	162167b	166702b	170054b	2236	165694a	166921a	2477	
P, kg ha ⁻¹	29.9a	35.1bc	33.9b	37.3c	0.59	36.6a	34.3a	0.59	
Kg MS kg ⁻¹ N	-	13.5b	9.9ab	5.25a	0.026	0.122a	0.086a	0.026	
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.176a	0.082a	0.055a	0.026	0.122a	0.086a	0.026	
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	9.6a	8.7a	4.7a	1.19	5.28a	10.1b	1.19	
MJ EM kg ⁻¹ N	-	506a	402a	193a	70	207a	527b	70	
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.285b	0.100a	0.117a	0.031	0.159a	0.175a	0.031	
	Testigo		Intensivo			Semiintensivo			
	0	20	40	60	et	20	40	60	et
MS, kg ha ⁻¹	13880a	15809b	15472b	16122b	303	15237b	16459b	15924b	304
N, kg ha ⁻¹	263a	289a	303a	297a	7.5	263a	273a	266a	4.9
MOD, kg ha ⁻¹	8992a	10326b	10304b	10877b	222	9944b	11018c	10823c	243
EM, GJ ha ⁻¹	144a	165b	161b	170b	3.5	159ab	172b	169b	3.7
P, kg ha ⁻¹	29.9a	37.1b	34.9b	37.7b	0.78	32.2ab	32.9ab	36.7b	0.8
Kg MS kg ⁻¹ N	-	11.7b	4.7a	4.4a	1.35	15.3a	15.08a	6.0a	2.25
Kg N kg ⁻¹ N	-	0.175a	0.122a	0.07a	0.03	0.177a	0.042a	0.04a	0.039
Kg MOD kg ⁻¹ N	-	8.12b	3.9a	3.7a	0.82	11.2a	13.4a	5.7a	0.039
MJ EM kg ⁻¹ N	-	332a	143a	145a	42	681a	660a	241a	118
Kg P kg ⁻¹ P	-	0.28a	0.096a	0.10a	0.046	0.289a	0.105a	0.131a	0.04
	Intensivo					Semiintensivo			
	L		C			L		C	
MS, kg ha ⁻¹	**		NS			***		**	
N, kg ha ⁻¹	NS		NS			NS		NS	
MOD, kg ha ⁻¹	***		NS			***		**	
EM, GJ ha ⁻¹	**		NS			***		NS	
P, kg ha ⁻¹	***		NS			***		NS	
Kg MS kg ⁻¹ N	**		NS			NS		NS	
Kg N kg ⁻¹ N	*		NS			NS		NS	
Kg MOD kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
MJ EM kg ⁻¹ N	NS		NS			NS		NS	
Kg P kg ⁻¹ P	NS		NS			NS		NS	

MS: materia seca; N: nitr3geno; MOD: materia org3nica digerible; EM: energ3a metabolizable; P: f3sforo et: error t3pico; L: efecto lineal; C: efecto cuadr3tico

Tabla 27.- An3lisis de varianza de las diferentes variables analizadas

	Rotaci3n	Dosis pur3n	Tipo Pur3n	Rotaci3n x Dosis pur3n	Rotaci3n x Tipo pur3n	Rotaci3n x Dosis x Pur3n
MS, kg ha ⁻¹	***	NS	NS	NS	NS	NS
N, kg ha ⁻¹	***	NS	**	NS	NS	NS
MOD, kg ha ⁻¹	***	**	NS	NS	NS	NS
EM, GJ ha ⁻¹	***	NS	NS	NS	NS	NS
P, kg ha ⁻¹	*	***	NS	NS	NS	NS
Kg MS kg ⁻¹ N	*	***	***	NS	NS	NS
Kg N kg ⁻¹ N	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Kg MOD kg ⁻¹ N	NS	NS	**	NS	NS	NS
MJ EM kg ⁻¹ N	NS	**	***	NS	NS	NS
Kg P kg ⁻¹ P	*	***	NS	NS	NS	NS

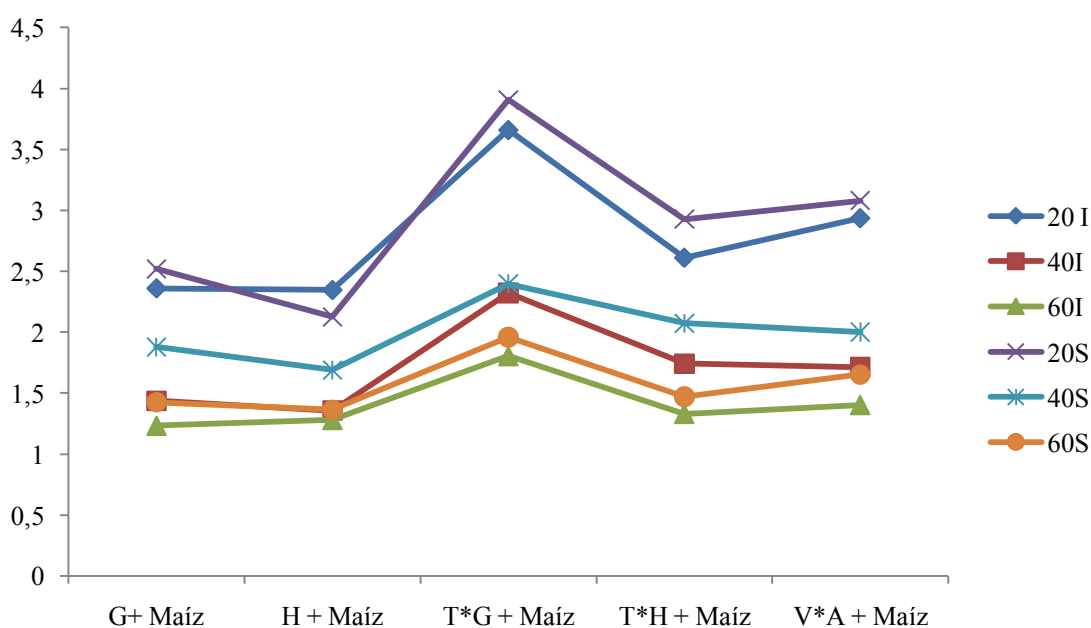
Tabla 28.- Estimación de los nutrientes en la rotación a partir del aporte de N y P

	Guisantes	et	R²
MS ha ⁻¹ , kg	13801 + 13.0 kg N ha ⁻¹ - 39.2 kg P ha ⁻¹ s.e. 294 ^{***} 1.6 ^{***} 6.7 ^{***}	914	0.74
N ha ⁻¹ , kg	266.7 - 0.01 kg N ha ⁻¹ + 0.33 kg P ha ⁻¹ s.e. 4.98 ^{***} 0.02 ^{***} 0.11 ^{***}	15.4	0.37
MOD ha ⁻¹ , kg	9000 + 8.41 kg N ha ⁻¹ - 22.5 kg P ha ⁻¹ s.e. 183 ^{***} 0.97 ^{***} 4.2 ^{***}	569	0.76
EM ha ⁻¹ , MJ	142895 + 148 kg N ha ⁻¹ - 452.8 kg P ha ⁻¹ s.e. 2828 ^{***} 14.9 ^{***} 65.1 ^{***}	8786	0.80
P ha ⁻¹ , kg	33.5 + 0.04 kg N ha ⁻¹ - 0.15 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.5 ^{***} 0.008 ^{***} 0.03 ^{***}	4.88	0.55
Triticale x Guisantes			
MS ha ⁻¹ , kg	17888 + 22.4 kg N ha ⁻¹ - 67.9 kg P ha ⁻¹ s.e. 521 ^{***} 2.7 ^{***} 12 ^{***}	1620	0.73
N ha ⁻¹ , kg	301 + 0.06 kg N ha ⁻¹ + 0.01 kg P ha ⁻¹ s.e. 6.57 ^{***} 0.035 ^{***} 0.15 ^{**}	20.3	0.24
MOD ha ⁻¹ , kg	11557 + 14.4 kg N ha ⁻¹ - 38.1 kg P ha ⁻¹ s.e. 318 ^{***} 1.68 ^{***} 7.3 ^{***}	990	0.75
EM ha ⁻¹ , MJ	184071 + 245 kg N ha ⁻¹ - 710.9 kg P ha ⁻¹ s.e. 5216 ^{***} 27.6 ^{***} 120 ^{***}	16205	0.76
P ha ⁻¹ , kg	37.3 + 0.06 kg N ha ⁻¹ - 0.18 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.8 ^{***} 0.01 ^{***} 0.04 ^{***}	5.88	0.62
Triticale x Habines			
MS ha ⁻¹ , kg	18128 + 18.7 kg N ha ⁻¹ - 66.9 kg P ha ⁻¹ s.e. 436 ^{***} 2.3 ^{***} 10 ^{***}	1356	0.73
N ha ⁻¹ , kg	316 - 0.06 kg N ha ⁻¹ + 0.34 kg P ha ⁻¹ s.e. 5.5 ^{***} 0.029 ^{ns} 0.12 ^{***}	17.2	0.22
MOD ha ⁻¹ , kg	11781 + 12.5 kg N ha ⁻¹ - 39.3 kg P ha ⁻¹ s.e. 270 ^{***} 1.42 ^{***} 6.2 ^{***}	838	0.75
EM ha ⁻¹ , MJ	187531 + 213 kg N ha ⁻¹ - 718.9 kg P ha ⁻¹ s.e. 4429 ^{***} 23 ^{***} 102 ^{***}	13760	0.77
P ha ⁻¹ , kg	37.9 + 0.04 kg N ha ⁻¹ - 0.12 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.1 ^{***} 0.006 ^{***} 0.02 ^{***}	3.5	0.65
Veza x Avena			
MS ha ⁻¹ , kg	15853 + 19.1 kg N ha ⁻¹ - 65.2 kg P ha ⁻¹ s.e. 385 ^{***} 2.03 ^{***} 8.8 ^{***}	1196	0.78
N ha ⁻¹ , kg	238.7 + 0.27 kg N ha ⁻¹ - 1.0 kg P ha ⁻¹ s.e. 9.1 ^{**} 0.048 ^{***} 0.21 ^{**}	28.3	0.58
MOD ha ⁻¹ , kg	10158 + 13.8 kg N ha ⁻¹ - 44.2 kg P ha ⁻¹ s.e. 271 ^{***} 1.43 ^{***} 6.2 ^{***}	842	0.789
EM ha ⁻¹ , MJ	161424 + 235.6 kg N ha ⁻¹ - 800.3 kg P ha ⁻¹ s.e. 4265 ^{***} 22.5 ^{***} 98 ^{***}	13249	0.81
P ha ⁻¹ , kg	33.3 + 0.08 kg N ha ⁻¹ - 0.27 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.6 ^{**} 0.009 ^{***} 0.03 ^{***}	5.25	0.77
Habines			
MS ha ⁻¹ , kg	14717 + 5.31 kg N ha ⁻¹ - 9.7 kg P ha ⁻¹ s.e. 278 ^{***} 1.2 ^{***} 5.9 ^{***}	284	0.44
N ha ⁻¹ , kg	272 - 0.08 kg N ha ⁻¹ - 0.61 kg P ha ⁻¹ s.e. 7.4 ^{***} 0.029 [*] 0.16 ^{**}	23	0.37
MOD ha ⁻¹ , kg	9603 + 4.02 kg N ha ⁻¹ - 5.4 kg P ha ⁻¹ s.e. 204 ^{***} 0.94 ^{***} 4.4 ^{ns}	634	0.50
EM ha ⁻¹ , MJ	152414 + 76.8 kg N ha ⁻¹ - 175.7 kg P ha ⁻¹ s.e. 2996 ^{***} 13.8 ^{***} 64.4 ^{***}	9287	0.57
P ha ⁻¹ , kg	33.3 + 0.08 kg N ha ⁻¹ - 0.27 kg P ha ⁻¹ s.e. 1.6 ^{**} 0.009 ^{***} 0.039 ^{***}	5.25	0.77

2.6. Valoraci3n econ3mica del pur3n

El valor econ3mico del pur3n es estimado como la diferencia de producci3n de materia seca entre de forraje fertilizado con pur3n menos el producido sin pur3n en kilogramos por hect3rea multiplicado por 0.15 euros kilogramo de materia seca de veza-avena (precio de mercado), seg3n el tipo de pur3n y dosis de N aplicado. El m3ximo de 3.9 € kg⁻¹ N se registr3 en la rotaci3n triticale x guisantes y ma3z a la dosis de 20 t ha⁻¹ de pur3n semiintensivo y de 3.65 € el intensivo. Los m3nimos de 1.23 € en guisantes m3s ma3z y 20 t⁻¹ de pur3n intensivo y, 1.36 € en los habines con 60 t⁻¹ de pur3n semiintensivo. La Figura 12, se3ala la tendencia de cada tipo de pur3n y dosis, indicando un descenso en el margen por kg de N conforme incrementa la dosis. En resumen, el valor econ3mico del pur3n es menor cuanto menor sea la producci3n y al rev3s.

Figura 12.- Margen en euros por kilogramo de N aplicado en cada rotaci3n seg3n dosis y tipo de pur3n



3.1. Costes de cultivo

Los gastos de cada cultivo forrajero (Tabla 29), ma3z (Tabla 30) y los de la rotaci3n, figuran en la Tabla 31, y de forma gr3fica para esta 3ltima, en la Figura 13, estimados a partir de consultas a empresas de servicios.

Entre cultivos forrajeros e independientemente del tipo y dosis de pur3n aplicada, el mayor gasto se registra en los habines (1274 € ha⁻¹), de los cuales, el 50% corresponde a la semilla (Tabla 29). El mayor coste, baja producci3n (Tabla 32), elevado contenido en humedad, tallo grueso (necesario picarlo), problemas de siega (el

acondicionador se atasca mucho), recogida mecánica (la rotoempacadora lo carga mal), elevadas pérdidas de hojas (parte vegetativa más importante de la planta) dificultan su implantación.

Tabla 29.- Gastos de cultivo de las forrajeras, (€ ha⁻¹)

	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S
Fresadora ¹	100	100	100	100	100	100	100
Purín ²	0	30	60	90	30	60	90
Semilla ³							
G	168	168	168	168	168	168	168
H	625	625	625	625	625	625	625
T*G	174	174	174	174	174	174	174
T*H	252	252	252	252	252	252	252
V*A	194	194	194	194	194	194	194
Siega ⁴	75	75	75	75	75	75	75
Nº bolas ha ⁻¹							
G	11.8	13.3	14	12.5	11.9	13.4	13.3
H	23.3	24.1	25.1	25.5	21.8	24.8	23
T*G	20.6	27.6	32	30.7	26.2	26	25.9
T*H	23.1	24.5	28	25.7	25.2	26.8	24.2
V*A	33.9	41	43.4	41	39.2	38.9	39.8
€ Bolas ⁶							
G	159	180	189	168	160	181	179
H	315	326	338	344	294	334	311
T*G	278	373	431	414	353	350	350
T*H	311	331	379	348	340	362	327
V*A	458	554	586	554	530	525	537
€ Totales ha ⁻¹							
G	602	653	692	701	633	684	712
H	1215	1256	1298	1334	1224	1294	1301
T*G	727	852	940	953	832	859	889
T*H	839	888	966	965	898	950	944
V*A	927	1053	1115	1113	1029	1054	1096

¹: 100 € ha⁻¹; ²: 10 € cuba 7000 L; ³: 0.84 € kg⁻¹ Guisantes (G); 2.5 € kg⁻¹ Habines (H); 0.60 € kg⁻¹ Triticale (T); 0.74 € kg⁻¹ Avena (A) y 0.84 € kg⁻¹ Veza (V); ⁴: 75 € ha⁻¹; ⁵: 13.5 € bola⁻¹; % materia seca al encintado: G: 31.5; H: 24.3; T*G: 37.9; T*H: 39.7; V*A: 22.2

Tabla 30.- Gastos de cultivo del maíz, (€ ha⁻¹)

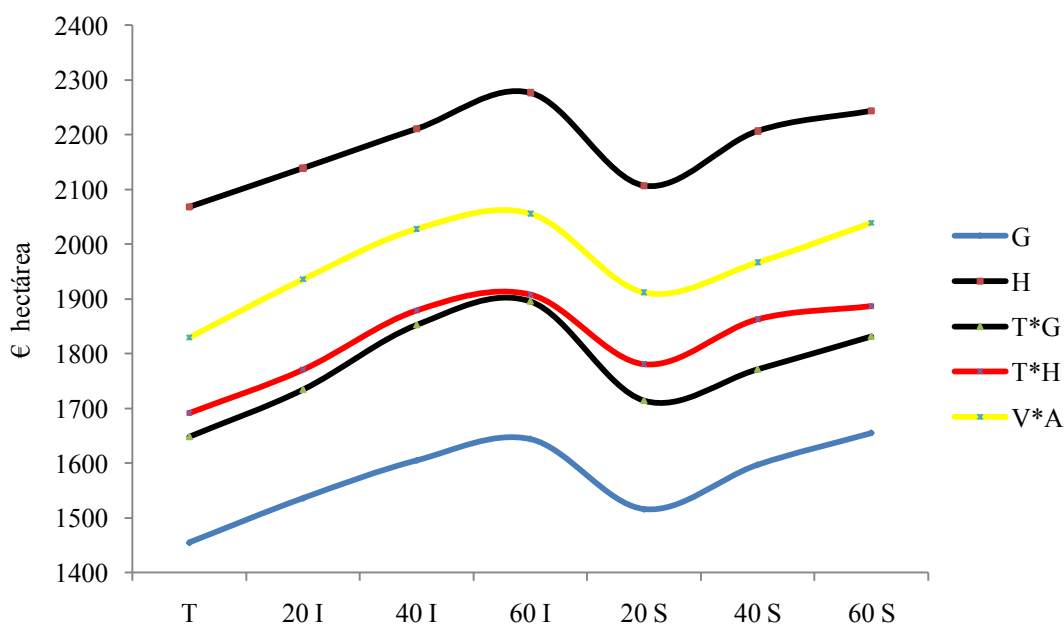
	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S
Alzar ¹	100	100	100	100	100	100	100
Purín	0	30	60	90	30	60	90
Fresar	100	100	100	100	100	100	100
Semilla ²	194	194	194	194	194	194	194
Siembra ³	120	120	120	120	120	120	120
Herbicida ⁴	51	51	51	51	51	51	51
Aplicación	30	30	30	30	30	30	30
Picadora	258	258	258	258	258	258	258
€ Totales ha ⁻¹	853	883	913	943	883	913	943

¹: 100 € ha⁻¹; ²: 30 kg ha⁻¹; ³: 120 € ha⁻¹; ⁴: € ha⁻¹

Tabla 31.- Gastos de la rotación, (€ ha⁻¹)

	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S
G	1455	1536	1605	1644	1516	1597	1655
H	2068	2139	2211	2277	2107	2207	2244
T*G	1580	1735	1853	1896	1715	1772	1832
T*H	1692	1771	1879	1908	1781	1863	1887
V*A	1780	1936	2028	2056	1912	1967	2039

Figura 13.- Costes de la rotación (€ ha⁻¹) según la dosis y tipo de purín



3.2. Costes de producción

El coste de producción de 1 kilogramo de materia seca (MS), nitrógeno (N), materia orgánica digestible (MOD), 100 MJ de energía metabolizable y 1 kilogramo de fósforo (P) de cada cultivo forrajero, maíz y la rotación según el tipo y dosis de purín, viene reflejado en la Tabla 32. Para la materia seca, los valores medios en el conjunto de cultivos son 0.21; 0.38; 0.11; 0.12; 0.19 y 0.08 € kg⁻¹ los guisantes (G), habines (H), triticale x guisantes (TxG), triticale x habines (TxH), veza x avena (VxA) y maíz respectivamente; inferiores a 0.22 € kg⁻¹ de materia seca de alfalfa excepto en los habines que fue superior. En el conjunto de las rotaciones la Figura 14 señala el coste de producción por kilogramo de materia seca según el tipo de purín y dosis.

En Cantabria, la rotación típica de los sistemas intensivos es la formada por VxA y maíz para ensilado. Posiblemente, la tendencia debería orientarse hacia la siembra de más triticale. No obstante, en este cultivo el período de aprovechamiento es muy reducido, atribuido al rápido espigado, originando descensos de digestibilidad y pérdidas de valor nutritivo. Al igual que la veza x avena, el triticale sólo tiene un

aprovechamiento para ensilado que, unido a las constantes precipitaciones de primavera, puede presentar inconvenientes de recolección, siendo el momento idóneo no más allá del 19 de marzo (zona costera), si la siembra se realiza a primeros de octubre.

Figura 14.- Euros kilogramo de materia seca de la rotación según la dosis y tipo de purín

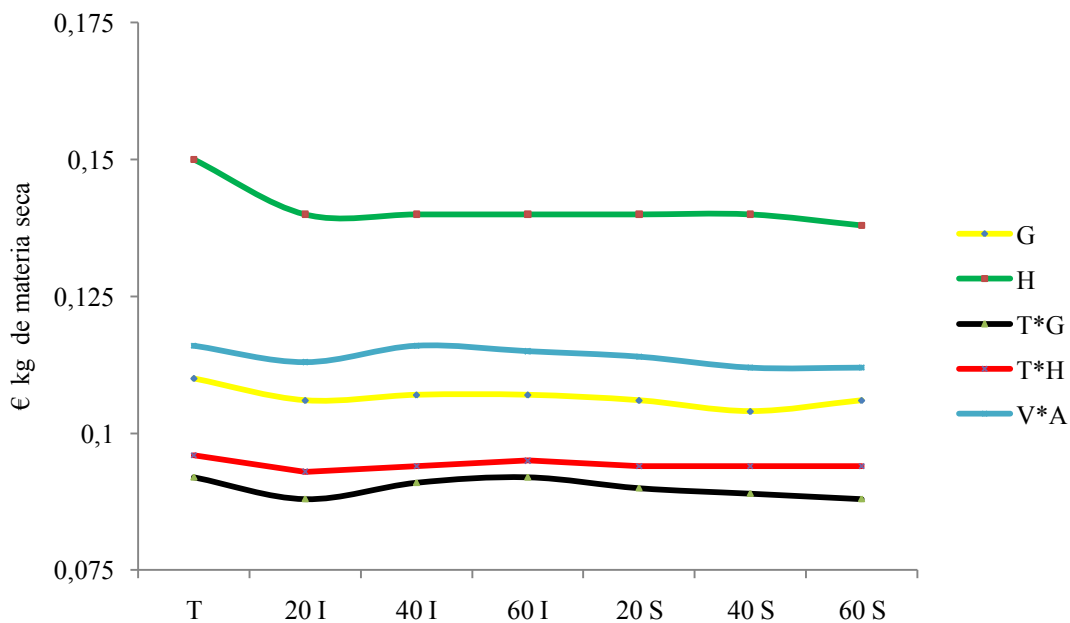


Tabla 32.- Coste por kilogramo de materia seca y nutrientes por forraje y la rotación con maíz

	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S	D	P	D*P
Guisantes										
MS, kg ha ⁻¹	2851	3071	3388	3219	3181	3194	3109	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.211	0.213	0.205	0.219	0.215	0.214	0.229	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	7.66	5.15	5.35	5.61	5.53	5.46	5.87	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.373	0.374	0.358	0.386	0.39	0.385	0.412	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	2.33	2.33	2.24	2.41	2.49	2.40	2.57	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	59.8	52.5	51.4	58.6	56.4	60.7	65.9	NS	NS	NS
Guisantes										
MS, kg ha ⁻¹	13242	14910	15132	15519	14563	15696	16082	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.11	0.106	0.107	0.107	0.106	0.104	0.106	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	6.75	5.54	5.34	5.57	5.7	5.6	5.80	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.17	0.161	0.161	0.157	0.167	0.161	0.158	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	1.06	1.007	1.03	1.009	1.04	1.03	1.01	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	47.7	40.7	41.4	42.9	43.6	46.7	44.9	NS	NS	NS
Habines										
MS, kg ha ⁻¹	4410	4792	4961	5182	4227	4336	4669	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.372	0.365	0.365	0.363	0.396	0.399	0.40	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	10.22	10.55	9.55	9.7	10.63	11.4	12.47	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.659	0.596	0.598	0.597	0.74	0.72	0.712	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	4.11	3.72	3.73	3.73	4.62	4.5	4.44	NS	***	NS
€ kg P ⁻¹	111	146	126	136	190	194	161	NS	NS	NS
Habines+Maíz										
MS, kg ha ⁻¹	13880	15809	15472	16122	15237	16459	15942	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.138	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	7.48	7.66	7.14	7.32	7.72	7.95	7.99	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.229	0.212	0.21	0.20	0.224	0.216	0.205	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	1.06	1.007	1.03	1.009	1.04	1.03	1.01	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	47.7	40.7	41.4	42.9	43.6	46.7	44.9	NS	NS	NS
Triticale x Guisantes										
MS, kg ha ⁻¹	6807	8299	9040	8859	8037	8002	8231	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.107	0.104	0.108	0.111	0.105	0.109	0.107	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	5.18	5.15	5.12	5.68	5.33	5.18	5.51	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.186	0.165	0.171	0.175	0.163	0.172	0.168	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	1.16	1.03	1.06	1.09	1.02	1.07	1.05	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	39.9	46.8	45.8	50.2	46.9	42.6	33.5	NS	NS	NS

Continuaci3n Tabla 32

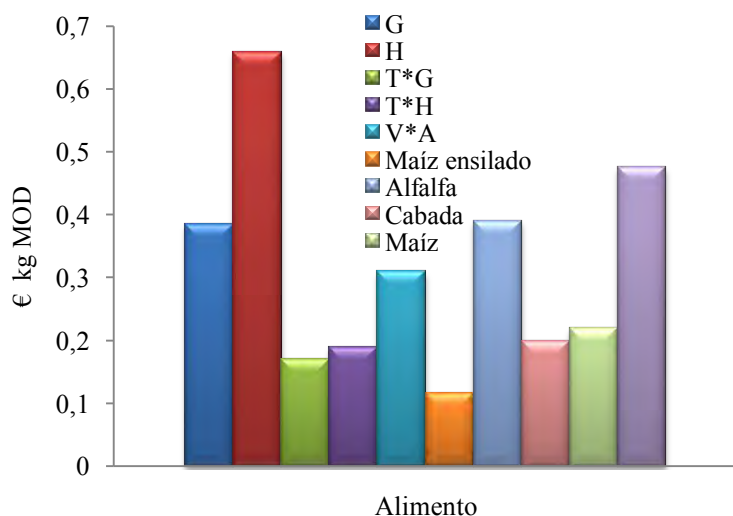
Triticale x Guisantes + Ma3z										
MS, kg ha ⁻¹	17200	19919	20981	21525	19375	20103	20718	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.092	0.088	0.091	0.092	0.09	0.089	0.088	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	5.58	5.5	5.31	5.68	5.57	5.5	5.64	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.145	0.135	0.138	0.136	0.138	0.135	0.131	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	0.909	0.845	0.884	0.874	0.862	0.867	0.836	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	40.9	40.46	40.03	41.51	40	41.42	34.84	NS	NS	NS
Triticale x Habines										
MS, kg ha ⁻¹	7231	7965	8363	7887	7687	7886	7598	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.116	0.118	0.117	0.122	0.117	0.122	0.124	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	7.24	5.74	5.21	6.21	5.16	5.8	6.03	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.193	0.186	0.18	0.191	0.185	0.191	0.196	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	1.2	1.16	1.12	1.19	1.15	1.19	1.22	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	41.8	59.5	54.1	52.8	55	54.3	58.3	NS	NS	NS
Triticale x Habines + Ma3z										
MS, kg ha ⁻¹	17603	19602	19727	19829	19144	19978	20046	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.096	0.093	0.094	0.095	0.094	0.094	0.094	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	6.64	5.65	5.32	5.82	5.47	5.79	5.83	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.149	0.14	0.414	0.141	0.14	0.142	0.39	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	0.931	0.876	0.904	0.90	0.912	0.913	0.89	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	41.6	44.5	44.1	42.7	44.9	46.3	44.6	NS	NS	NS
Veza x Avena										
MS, kg ha ⁻¹	5011	5540	5630	5655	5628	5587	5847	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.187	0.186	0.187	0.192	0.187	0.193	0.191	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	9.49	10.69	10.61	10.45	10.07	11.52	10.76	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.331	0.309	0.311	0.318	0.293	0.303	0.30	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	2.07	1.93	1.94	1.99	1.83	1.89	1.87	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	70.02	81.3	83.8	84.8	75.3	76.7	69.4	NS	***	NS
Veza x Avena + Ma3z										
MS, kg ha ⁻¹	15227	16888	17177	17751	17098	18135	18825	NS	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.116	0.113	0.116	0.115	0.114	0.112	0.112	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	7.57	7.82	7.49	7.57	7.63	7.95	7.74	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.183	0.174	0.177	0.172	0.177	0.17	0.165	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	1.14	1.09	1.13	1.16	1.1	1.09	1.06	NS	NS	NS
Ma3z										
MS, kg ha ⁻¹	10385	11576	11676	12280	11407	12277	12629	*	NS	NS
€ kg MS ⁻¹	0.082	0.077	0.079	0.078	0.078	0.075	0.076	NS	NS	NS
€ kg N ⁻¹	6.24	5.99	5.56	5.8	6.04	5.89	5.9	NS	NS	NS
€ kg MOD ⁻¹	0.123	0.115	0.116	0.112	0.121	0.113	0.109	NS	NS	NS
€ 100 MJ EM	0.772	0.719	0.751	0.727	0.757	0.735	0.709	NS	NS	NS
€ kg P ⁻¹	70.02	81.3	83.8	84.8	75.3	76.7	69.4	NS	***	NS

D: dosis; P: tipo de pur3n; D*P: interacci3n; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001

Las Figuras 15, 16, 17 y 18 representan la compartativa del coste de producci3n entre forrajes respecto a otras materias primas m3s utilizadas en la explotaci3n como alfalfa, cebada, ma3z, soja y fosfato bic3lcico en funci3n de los contenidos de materia org3nica digestible, nitr3geno, energ3a metabolizable y f3sforo.

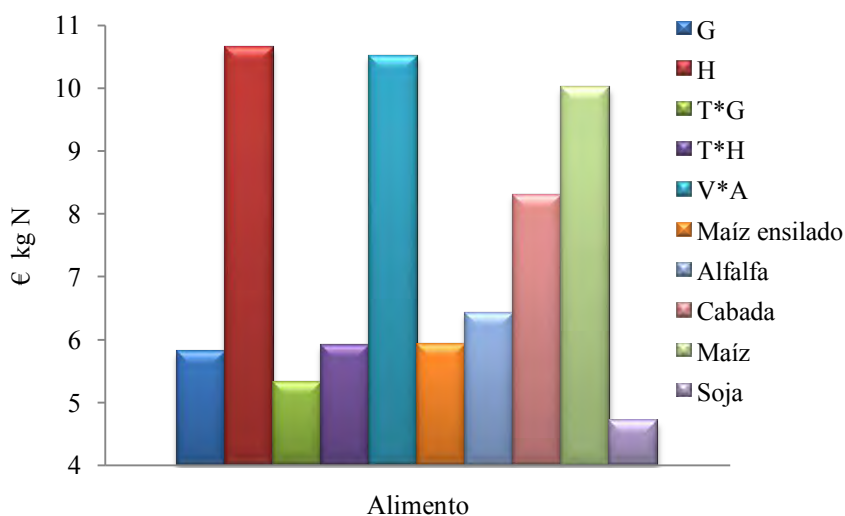
El mayor coste por kilogramo de MOD se registra en los habines (Figura 15), seguido de los guisantes y los menores en el ensilado de ma3z, TxG, TxH y VxA, siempre referido a la compra de un kilogramo de materia seca.

Figura 15.- Euros kilogramo de materia orgánica digestible de las forrajeras respecto a otros alimentos



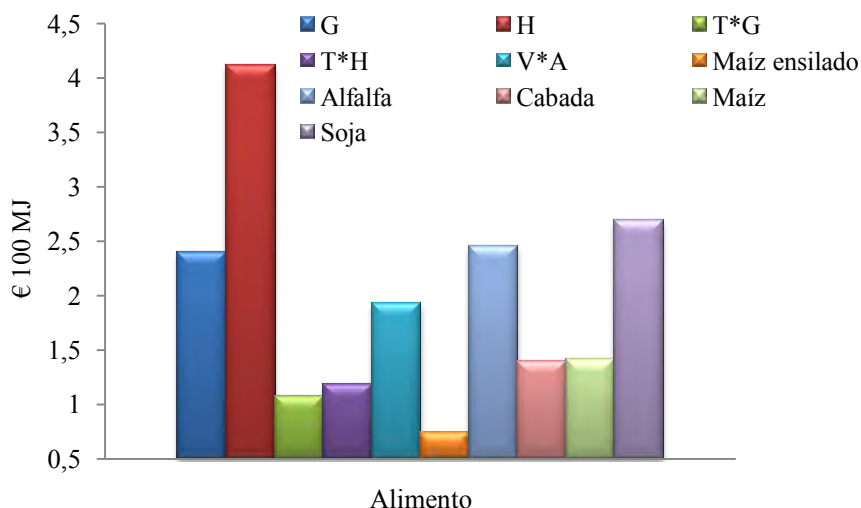
Para los mismos alimentos y en relación al coste de 1 kilogramo de N (Figura 16), los habines y la asociación VxA son los más caros, atribuido a la menor producción de materia seca. Por el contrario y los menores corresponden al maíz (bajo contenido en N), guisante (alto contenido de N) y las asociaciones TxG y TxH (bajo contenido de N, pero alta producción de materia seca), al compararlos con alfalfa. Los resultados aquí obtenidos para las asociaciones TxG y TxH son superiores a 4.75 € kg^{-1} de N en raigrás inglés para ensilado en un solo aprovechamiento (Mangado y Amezttoy, 2000) y la asociación avena x guisantes (2.42 € kg^{-1} de N), posiblemente los precios de las materias primas, gastos de ensilado, etc., difieren a los actuales del año 2009.

Figura 16.- Euros kilogramo de N de las forrajeras respecto a otros alimentos



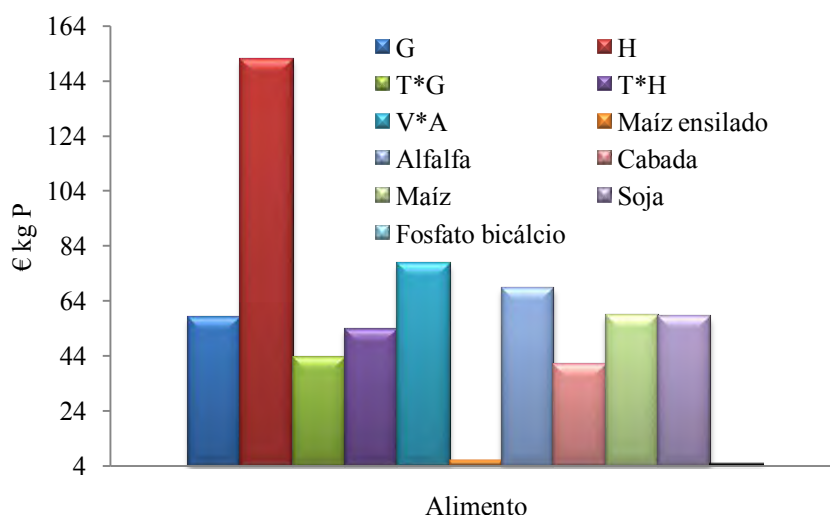
El coste energético por 100 MJ de energía metabolizable es menor en el ensilado de maíz (Figura 17), seguido de las asociaciones TxG y TxH, siempre comparado con la compra de alfalfa, cebada y maíz grano a los precios actuales. Para la VxA resulta inferior y superior en los guisantes respecto a la alfalfa.

Figura 17.- Euros 100 MJ de energía metabolizable respecto a otros alimentos



Para el fósforo (Figura 18), el fosfato bicálcio (19% de P) es incluido en la comparativa de costes. De nuevo los habines son los más destacados y las asociaciones TxG y TxH y el ensilado de maíz son los más viables, inferiores a la alfalfa y similar a esta última la asociación VxA.

Figura 18.- € kilogramo de fósforo respecto a otros alimentos



3.3. Producción teórica de leche esperada, (kg ha⁻¹)

La producción de leche teórica de las forrajeras, maíz y rotación (Tabla 33), estimada a partir de las necesidades de energía metabolizable y proteína bruta para una vaca de 6000 kg año según tipo de purín y dosis, según consta en la Tabla 34.

■ ■ ■ Tabla 33.- Producción teórica de leche entre forrajes y rotación desde la producción de energía y proteína

	Forraje ¹	Forraje ²	Maíz ¹	Maíz ²	Rotación ¹	Rotación ²	Diferencia rotación EM y PB
G	2862	5978	12591	7585	15453	13563	1890
H	3490	6745	12591	7585	16081	14300	1781
T*G	8159	8144	12591	7585	20750	15729	5021
T*H	7861	8064	12591	7585	20452	15649	4803
V*A	5552	5252	12591	7585	18143	12837	5306
Sig	***	***	NS	NS	***	***	***

¹: desde la energía metabolizable; ²: desde la proteína bruta

Tabla 34.- Producción teórica de leche por hectárea entre dosis y tipo de purín desde la energía y proteína

Energía	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S	D	P	D*P
Guisantes										
Forrajeras	2609	2851	3178	3063	2660	2884	2788	NS	NS	NS
Maíz	11145	12528	12448	13418	12050	12776	13798	NS	NS	NS
Rotación	13754	15380	15627	16481	14680	15661	16587	NS	NS	NS
Habines										
Forrajeras	3317	3671	3850	3925	3036	3262	3367	NS	NS	NS
Maíz	11145	12528	12448	13418	12050	12776	13798	NS	NS	NS
Rotación	1463	16199	16299	17344	15056	16039	17166	NS	NS	NS
Triticale x Guisantes										
Forrajeras	6259	8318	9002	8887	8184	8006	8455	NS	NS	NS
Maíz	11145	12528	12448	13418	12050	12776	13798	NS	NS	NS
Rotación	17405	20846	21450	22305	20205	20783	22254	NS	NS	NS
Triticale x Habines										
Forrajeras	7025	7867	8603	8068	7771	7993	7698	NS	NS	NS
Maíz	11145	12528	12448	13418	12050	12776	13798	NS	NS	NS
Rotación	18170	20396	21052	21486	19792	20770	21497	NS	NS	NS
Veza x Avena										
Forrajeras	4484	5625	5884	5707	5664	5609	5889	NS	NS	NS
Maíz	11145	12528	12448	13418	12050	12776	13798	NS	NS	NS
Rotación	15629	18154	18332	19125	17684	18386	19688	NS	NS	NS

Proteína	T	20 I	40 I	60 I	20 S	40 S	60 S	D	P	D*P
Guisantes										
Forrajeras	3902	6324	6652	6462	5826	6516	6163	NS	NS	NS
Maíz	6757	7314	8140	8084	7298	7624	7877	NS	NS	NS
Rotación	10660	13638	14793	14546	13124	14140	14041	NS	NS	NS
Habines										
Forrajeras	7437	6575	7186	7337	6185	6254	6239	NS	NS	NS
Maíz	6757	7314	8140	8084	7298	7624	7877	NS	NS	NS
Rotación	14195	13888	15327	15422	13483	13878	14116	NS	NS	NS
Triticale x Guisantes										
Forrajeras	7223	8193	9051	8351	7839	8213	8140	NS	NS	NS
Maíz	6757	7314	8140	8084	7298	7624	7877	NS	NS	NS
Rotación	13980	15507	17192	16435	15137	15838	16018	*	NS	NS
Triticale x Habines										
Forrajeras	5724	8235	9236	8102	8709	8257	8183	NS	NS	NS
Maíz	6757	7314	8140	8084	7298	7624	7877	NS	NS	NS
Rotación	12482	15549	17377	16186	16008	15881	16061	NS	NS	NS
Veza x Avena										
Forrajeras	4964	5206	5499	5700	5517	4607	5274	NS	NS	NS
Maíz	6757	7314	8140	8084	7298	7624	7877	NS	NS	NS
Rotación	11722	12520	13640	13784	12815	12321	13151	NS	NS	NS

Como se desprende de la Tabla 33, existen claras diferencias de producción entre la energía metabolizable y proteína bruta para la rotación. El superior potencial de leche corresponde a la energía, atribuido a la mayor producción, contenido energético y menor proporción de proteína en el maíz. Las mayores diferencias se observan en las asociaciones de gramíneas y leguminosas (TxG, TxH y VxA), imputable a la baja concentración de proteína de estos forrajes. Estas desviaciones confirman la necesidad de suministrar concentrados de superior contenido proteico cuando se incluyen en las raciones de las vacas lecheras.

4. Conclusiones parciales

La mayor producción de materia seca, nitrógeno, energía metabolizable, materia orgánica digestible y fósforo se registra en la asociación de leguminosas y gramíneas, con eficiencias superiores en la relación kilogramos de materia seca por kilogramo de N aplicado (CUN_{MS}), kilogramos de N recolectado por kilogramo de N aplicado (CUN_N) y kilogramos de fósforo recolectado por kilogramo de P aplicado (CU_P).

La concentración de N del forraje disminuye al incrementar la producción de materia seca. A las dosis de purín ensayadas, el índice de nutrición nitrogenada (INN) se mantiene próximo a 1, señalada en la bibliografía como fertilización adecuada desde un punto de vista medioambiental, sin relaciones significativas con la eficiencia de utilización del N y el INN.

La producción de maíz es similar entre dosis y tipo de purín. Entre estos últimos, CUN_{MS} , CUN_N , CUN_{MOD} , CU_P es mayor en el semiintensivo. Los aportes de N y P procedentes del purín son dos variables interesantes para estimar la producción de materia seca, nitrógeno, materia orgánica digestible y fósforo por hectárea.

El mayor coste de producción de un kilogramo de materia seca, materia orgánica digestible, nitrógeno, 100 MJ de energía metabolizable y fósforo, se localiza en la siembra de habines. La producción teórica de leche en la rotación (forrajeras + maíz) es mayor desde la energía metabolizable que para la proteína bruta.

La rotación más interesante para las condiciones edafoclimáticas de Cantabria es la asociación triticales x guisantes o triticales x habines más maíz.

Utilización y producción de forrajeras abonadas con purín

Composición químico-bromatológica de los
ensilados de forrajeras de invierno y maíz

G. Salcedo



COMPOSICIÓN QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DE LOS ENSILADOS DE FORRAJERAS DE INVIERNO Y MAÍZ

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Resultados y discusión

2.1. Ensilado de forrajeras

2.2. Ensilados de maíz

2.2.1. *Composición química*

2.2.2. *Estabilidad aerobia*

3. Bibliografía

Resumen

En el presente experimento se estudia la composición química de los cultivos forrajeros [Triticale x Guisantes (TxG), Triticale x Habines (TxH), Habines (H), Guisantes (G) y Veza x Avena (VxA)] conservados en la modalidad de rotopacas en rotación con maíz durante dos años. En los ensilados de maíz se analizan los efectos de la dosis (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹) de dos purines (intensivo y semiintensivo) en un diseño experimental de parcelas divididas sobre la composición química y estabilidad aerobia en microsilos de laboratorio. Para los cultivos forrajeros, el contenido de materia seca fue mayor en las asociaciones TxG y TxH (P<0.05), obteniéndose porcentajes medios de 30,3 y 30,9% respectivamente y los menores, (P<0,05) los habines en siembra pura; con diferencias entre el estado verde y el ensilado (P<0.001). La proteína bruta fue mayor y menor las concentraciones de fibra ácido y neutro detergnete en los forrajes leguminosos (H y G) que en las asociaciones (P<0.05). Para el fósforo las mayores concentraciones se registraron en los guisantes (P<0.05), con valores medios de 4 g kg⁻¹ de materia seca. Las pérdidas de materia seca fueron superiores en los habines (mayor contenido de humedad al momento del ensilado (P<0.05), con valores medios del 16.1% y las menores de 6.16% en TxG (P<0.05). Las características fermentativas reflejaron un pH más elevado en TxG y el menor (P<0.05) en los habines, pese a la superior concentración de N-NH₃ (P<0.05).

En los ensilados de maíz ni la dosis ni el tipo de purín afectó al contenido de materia seca, proteína bruta, fibra ácido detergente, energía metabolizable y materia orgánica digestible de los ensilados de maíz y, (P<0.01) las cenizas respecto a la dosis de purín y P<0.001 el tipo. La concentración de N-NH₃ fue superior a la dosis de purín más alta (P<0.05) en el intensivo y con 40 t ha⁻¹ en el semiintensivo. La estabilidad aerobia para los ensilados de maíz medida a partir de la temperatura y pH, incrementaron en el tiempo (P<0.001), sin afectos sobre la dosis y tipo de purín para la temperatura y P<0.001 el pH respecto a la dosis.

Palabras clave: ensilados, cultivos forrajeros, maíz, purín, dosis.

Abstract

In this experiment we study the chemical composition of forage crops [Triticale x Peas (TxP), Triticale x Beans (TxB), Beans (B), Peas (P) and Vetch x Avena (VxA)] preserved in the form of in rotation with corn bales for two years. Corn silage in analyzing the effects of dose (0, 20, 40 and 60 t ha⁻¹) of two purines (intensive and semiintensive) in a split-plot experimental design on the chemical composition and aerobic stability in microsilos laboratory. For forage crops, dry matter content was greater in the TXG associations and LTx (P<0.05), yielding average rates of 30.3 and 30.9% respectively and the lowest (P<0.05) habines in pure seed, with differences between the green and silage (P<0.001), the crude protein was higher and lower concentrations of acid and neutral fiber detergnete in fodder crops (B and P) than in the associations (P<0.05). To match the highest concentrations were found in peas (P<0.05), with mean values of 4 g kg⁻¹ DM. Dry matter losses were higher in beans (higher moisture content at the time of ensiling (P <0.05), with mean values of 16.1% and less than 6.16% in TxP (P<0.05). The fermentation characteristics reflected a TxP pH higher in the lowest (P <0.05) in the habines, despite the higher concentration of N-NH₃ (P<0.05).

In corn silage or the dose or type of manure affect the content of dry matter, crude protein, acid detergent fiber, metabolizable energy and digestible organic matter of corn silage (P<0.01) with respect to ashes doses of PS and P<0.001 type. The NH₃-N concentration was higher than the highest doses of PS (P <0.05) in the intensive and 40 t ha⁻¹ in the Semiintensive. The aerobic stability of corn for silage measured from the temperature and pH, increase over time (P<0.001) without affecting the dose and type of slurry for the temperature and P<0.001 pH on the dose.

Key words: silage, fodder crops, corn, slurry, dose.

1. Introducción

El descenso del número de explotaciones en la Cornisa Cantábrica, ha conducido a un aumento de cuota por explotación e incrementos unitarios por vaca, dando lugar a mayores consumos de forrajes conservados, principalmente ensilados a expensas de la hierba verde.

El ensilado es la técnica de conservación de forrajes con elevado contenido en humedad, mediante un proceso controlado de fermentación anaerobia que promueve el desarrollo de fermentaciones lácticas e impide la actividad de bacterias. En Cantabria, al igual que en el resto la Cornisa Cantábrica es el método más utilizado, puesto que no requiere tiempo seco y soleado; además, en primavera las precipitaciones son frecuentes, coincidiendo con la máxima producción de las praderas.

Durante los procesos de fermentación del ensilado se producen pérdidas inevitables de contenido celular, como azúcares y proteína. Técnicas como el presecado; adición de conservantes; recolectar las gramíneas antes del espigado, inicio del botón floral en leguminosas y pastoso-vítreo en maíz; adecuado tamaño de picado; tipo de silo usado (rotopaca, trinchera), etc, pueden minimizarlas. Si los procesos de llenado, compactación, cierre y conservación del ensilado son correctos, la digestibilidad del forraje ensilado difiere poco de la del forraje inicial de partida.

El valor nutritivo y la ingestión del forraje ensilado depende, entre otros factores de: especie forrajera (gramíneas o leguminosas), digestibilidad (relacionada con la fibra neutro detergente y estado de madurez); tipo de fermentación (butírica y/o láctica), directamente relacionada con la ensilabilidad del forraje a conservar; conservación y apertura del silo (estabilidad aerobia). Además estos factores condicionarán la fermentación ruminal y la producción y calidad de la leche.

El contenido en fibra neutro detergente del ensilado es uno de los factores principales de la ingestión, retardando o acelerando el vaciado ruminal. Por añadidura, la suplementación con concentrados ejerce un efecto de sustitución del ensilado, máxime cuando es de baja digestibilidad. Los ensilados tienen alto contenido en proteína degradable en rumen y bajo en carbohidratos solubles, lo que reduce la síntesis de proteína microbiana. Por ello, la fuente energética incluida en el concentrado es importante para optimizar dicha síntesis y minimizar la acumulación de amoníaco en panza.

El objetivo del presente trabajo se centra en exponer el valor nutritivo de los ensilados de forrajeras de invierno y maíz utilizados en la alimentación de vacas lecheras.

2. Resultados y discusión



2.1. Ensilado de forrajeras

La composición química de los diferentes forrajes verdes y sus respectivos ensilados en la modalidad de rotopacas figura en la Tabla 1. Para el forraje verde y a los estados de madurez recolectados, las mayores diferencias se observan en el contenido de proteína bruta de las leguminosas ($P<0.05$) que en las asociaciones. En estas últimas, los porcentajes son similares en TxG y TxH, con valores medios de 11.1% y 12.5% respectivamente, y ligeramente superior la VxA ($P<0.05$) obteniéndose concentraciones medias del 12.9%.

Los porcentajes de materia seca son inferiores en las leguminosas ($P<0.05$), y entre éstas, los habines, similar a la asociación VxA (Tabla 1). La mayor concentración de fibra ácido detergente se registró en las asociaciones TxG y TxH, imputable al avanzado estado de madurez en la gramínea (triticale), sin diferencias significativas entre ambas. Por el contrario, similar para G, H y la asociación VxA, atribuible en esta última, a la mayor superficie foliar en la avena respecto al triticale y al estado de madurez menos avanzado que aprovecha la VxA (Inicio de espigado y Floración respectivamente). Mientras TxG y TxH se recolectaron en Floración para la gramínea y Grano lechoso la leguminosa. La materia orgánica digestible, fue superior en las leguminosas ($P<0.05$) y, entre ellas, los habines ($P<0.05$), con valores medios de 63.8% y 62.3% los guisantes; sin diferencias en las asociaciones forrajeras con valores medios de 58.4, 58.2% para TxG y TxH respectivamente. El contenido de fósforo fue superior en los guisantes, con porcentajes medios de 0.408%.

En los ensilados, los porcentajes de materia seca son superiores en TxG, TxH y G, pero bajos en VxA y H (Tabla 1). Las cenizas no difieren entre verde o ensilado, indicando nula contaminación por tierra. La proteína es similar entre el material en origen y el ensilado para G, TxG, TxH e inferior en los habines, de ahí su mayor concentración de N amoniacal. El ligero incremento de FND en todas las forrajeras ensiladas es atribuido a los procesos de fermentación, que restan contenido celular al forraje. El pH de todos los ensilados es aceptable. La mayor pérdida de materia seca se observa en el ensilado de habines, imputable al mayor contenido de humedad.

Tabla 1.- Valoración nutritiva de las forrajeras (verde vs. ensilado)

<i>Verde</i>					
	Guisantes	Triticale x Guisantes	Triticale x Habines	Veza x Avena	Habines
Estado madurez	GL	Flo. y GL	Flo. y GL	IE y Flo	GL
MS verde, %	22.9b	30.3c	30.9c	18.5a	17.6a
MS presecado, %	31.5b	37.9c	39.7c	22.2a	24.3a
Cenizas, %	8.55b	7.33a	7.47a	9.75c	10.1c
Proteína, %	23d	11.1a	12.5a	12.9b	22c
FAD, %	31.5a	38.4b	37.6b	33.4a	32.8a
FND, %	45a	59.4b	59.9b	59.1b	45.9a
EM, MJ/kg MS	9.97b	9.35a	9.32a	9.24a	10.21c
MOD, %	62.3b	58.4a	58.2a	57.7a	63.8c
P, %	0.408a	0.257ab	0.227a	0.279b	0.254ab
<i>Ensilado</i>					
	MS, %	28.9b	35.9c	36.2c	20.0a
Cenizas, %	8.62b	7.28a	7.89a	10.1c	10.4c
Proteína, %	22.5d	11.6a	11.9a	13.1b	20.8c
FAD, %	34.3b	37.8c	37.8c	33.8b	32.1a
FND, %	45.4a	60.4c	61.4c	59.5c	48.2a
EM, MJ/kg MS	9.91b	9.25a	9.23a	9.18a	10b
MOD, %	61.9b	57.8a	57.6a	57.3a	62.5b
P, %	0.398a	0.252ab	0.221a	0.282b	0.259ab
pH	3.78ab	4.09c	3.93bc	3.73ab	3.54a
pH estabilidad	3.5b	3.52c	3.52c	3.47a	3.47a
pH dif	0.28ab	0.56c	0.40bc	0.26ab	0.068a
CE mS cm ⁻¹	3.97c	2.99a	3.36ab	2.8a	3.04a
N-NH ₃ , % N _t	11.82b	7.51a	8.23a	11.0b	16.3c
Pérdidas MS, %	9.56b	6.16a	9.42b	12.4c	16.1d

MS: materia seca; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; EM: energía metabolizable; MOD: materia orgánica digestible; P: fósforo; pH dif: pH diferencia; CE: conductividad eléctrica; GL: grano lechoso; Flo: floración; IE: inicio espigado; a, b, c, d dentro de cada fila difieren P<0.05

Tabla 2.- Diferencias de composición química entre verde y ensilado

	G			T*G			T*H			V*A			H		
	V vs. E	Año	I	V vs. E	Año	I	V vs. E	Año	I	V vs. E	Año	I	V vs. E	Año	I
MS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
Cenizas	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
PB	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	***
FAD	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
FND	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
MEM	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	***	NS	***	***	*
MOD	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	***	NS	***	***	*
P	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	*	**	*

†: interacción; V: verde; E: ensilado; * P<0.05; ** P<0.05; *** P<0.001; NS: no significativo

2.2. Ensilados de maíz

Las labores culturales y tratamientos fueron descritos en la Tabla 2 del capítulo 10: “*Movimiento de N y P en el suelo*”. Durante la recolección se tomaron 6 kg de forraje procedente de la máquina picadora de cada purín (intensivo y semiintensivo) y dosis (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹); de los cuales, medio kilogramo es secado en estufa a 80°C durante 24 horas para determinar su contenido en materia seca y posterior análisis químico-bromatológico. Otra submuestra y por triplicado se conservó en microsilos de laboratorio (1.15±0.09 kg) con una densidad final de 1046±202 kg m³.

El diseño experimental de campo es de parcelas divididas, siendo la parcela mayor (PM) el tipo de purín (intensivo vs. semiintensivo) y la menor (Pm) la dosis de purín equivalentes a 0-0, 56-55, 113-111 y 169-167 kg N ha⁻¹ por tres repeticiones. La composición química del suelo y el contenido en elementos fertilizantes del purín (N y P) y parámetros físicos (materia seca, pH, CE) son representados en la Tabla 3.

Tabla 3 - Composición físico-química del suelo y purín

Suelo*	pH	N _t , %	MO _t , %	MO _{ox} , %	P ppm	C/N	CE mS/cm	
Testigo	5.5	0.112	2.23	1.72	16.9	8.89	125.4	
Intensivo	6.32	0.237	2.59	1.99	13.13	4.91	149.2	
Semiintensivo	6.04	0.202	2.48	1.92	16.3	4.56	119.9	
Purín	MS, %	pH	N-total, g kg ⁻¹	N-NH ₄ , % N _t	P, g kg ⁻¹	C/N	MO	CE mS/cm
Intensivo.	10.54	7.52	2.8	37.1	0.68	12.2	56.4	1.58
Semiintensivo	8.38	7.07	2.8	62.3	0.56	11.3	64.6	2.78

MS: materia seca; **MO:** materia orgánica; **CE:** conductividad eléctrica; **N_t:** nitrógeno total; **MO_t:** materia orgánica total; **MO_{ox}:** materia orgánica oxidable; **P:** fósforo; **C/N:** relación carbono nitrógeno; * valores medios de 3 profundidades (10, 20, 30 cm) por 4 dosis purín (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹) y dos purines (intensivo y semiintensivo).

Los análisis de laboratorio consisten en la determinación del contenido en cenizas por incineración de la muestra a 550°C; la proteína bruta (PB) como N-Kjeldahl x 6.25); las fibras ácido y neutro detergente (FAD y FND, según Goering y Van Soest, 1970 y Van Soest *et al.*, 1991); la digestibilidad enzimática de la materia orgánica FND-celulasa (Riveros y Argamentería, 1987); el pH; la conductividad eléctrica (CE); el contenido en fósforo sobre cenizas (método colorimétrico del nitro-molibdo-vanadato) y el contenido en N-NH₃, por destilación directa con el equipo KjeltecTM 2300.

La evolución de la fermentación de los ensilados es analizada por su contenido en MS, pH, CE, NH₃ y N_t, tomando diariamente una alícuota del ensilado de cada microsilo para su determinación. Los ensilados son abiertos a los 32 días, depositándose el forraje en bolsas de color negro sobre bandejas de polietileno (50x30x10 cm), sin tapa (Figura 1). Los mismos son monitorizados durante 9 días por su pH, con un

electrodo de penetración, conductividad eléctrica, contenido en N-NH₃ y evolución de la temperatura con un Data Logger en una habitación con temperatura controlada a 20 °C.

■ ■ ■ **Figura 1.-** Ensayo de estabilidad aerobia en ensilados de maíz



La composición química y características de fermentación son analizadas como un arreglo factorial (3 tipos de purín x 4 dosis) con el PROC GLM del paquete estadístico SPSS 11 (2002). Los efectos lineales o cuadráticos en función del tipo de purín y dosis fueron testados mediante contrastes ortogonales. La estabilidad aerobia, variación de la temperatura, pH, materia seca, conductividad eléctrica y N-NH₃ de los ensilados son analizados mediante y análisis de medidas repetidas en el tiempo.

2.2.1. Composición química

La composición químico-bromatológica del maíz planta entera en verde y su ensilado, dentro de los diferentes tratamientos figura en la Tabla 4. Para la primera, el contenido de materia seca no difiere entre tipo de purín y dosis, pero sí $P < 0.05$ en el ensilado (Tabla 4), sin diferencias el testigo. Los porcentajes aquí obtenidos son similares a (28.5%) en los ensilados comerciales de Cantabria (Salcedo, 2004). En cualquier caso, las pérdidas de materia seca entre el forraje inicial de partida y el ensilado, resultan de 1.27% y 1.23% en el purín intensivo y semiintensivo respectivamente e independientemente de la dosis.

Las cenizas disminuyen linealmente conforme incrementa la dosis de purín, tanto en verde como el ensilado, registrándose el mayor porcentaje en el testigo, posiblemente debido al estado de madurez menos avanzado.

Tabla 4.- Composición químico-bromatológica del maíz en verde y ensilados según tipo y dosis de purín



Estado de madurez (1/3 leche)

Tipo y Dosis	MS	Cenizas	PB	FAD	FND	EM	MOD	pH	CE	P
I-20 t ha ⁻¹	27.7	4.46c	8.1bc	23.9bc	48.1ab	10.9ab	64.4ab	5.7a	693b	0.20bc
I-40 t ha ⁻¹	26.6	4.69d	8.96e	23.2ab	48.7b	10.9ab	68.5ab	6.06b	556a	0.18b
I-60 t ha ⁻¹	28.5	4.07b	8.78de	24.4bc	46.1a	11.3c	71.1c	5.95ab	674b	0.21bc
L	NS	***	***	NS	NS	***	***	NS	***	**
C	NS	***	***	NS	NS	***	*	NS	NS	NS
S-20 t ha ⁻¹	27.7	5.52f	8.34cd	24.7bc	49.1b	10.8a	67.9a	5.89ab	623ab	0.20b
S-40 t ha ⁻¹	28.3	4.43c	7.5a	26.2c	47.5ab	10.9b	69.1b	5.98b	567a	0.12a
S-60 t ha ⁻¹	28.3	3.92a	7.7ab	21.2a	46a	11.4c	71.4c	5.97b	574a	0.19b
L	NS	***	***	NS	NS	***	***	NS	***	***
C	NS	***	NS	*	*	***	***	NS	NS	NS
T	27.1	5.29e	9.69f	24.3bc	48.6b	10.9ab	68.2a	5.9ab	800c	0.23c
et	0.24	0.006	0.05	0.30	0.23	0.013	0.09	0.023	8.67	0.04
Dosis	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	***
Purín	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	**	***
D*P	NS	***	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	*



Microsilos experimentales de maíz

Tipo y Dosis	MS	Cenizas	PB	FAD	FND	EM	MOD	pH	CE	% NH ₃ /N _t	P
I-20 t ha ⁻¹	25.9a	4.23bcd	8.93bc	27.7bc	44.7ab	11a	72.3a	3.39c	973a	6.59bc	0.21bc
I-40 t ha ⁻¹	26.7ab	4.47cd	8.52ab	32.8d	45.7b	10.9a	73.1a	3.32ab	968a	5.69a	0.22c
I-60 t ha ⁻¹	26.4ab	4.09bc	8.55bc	25.7a	47.3bc	10.7a	71.8a	3.32ab	1259c	7.23c	0.21bc
L	NS	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	***	***	NS	NS
S-20 t ha ⁻¹	26.6ab	4.69d	8.67abc	28.4c	50.7c	10.8a	72.2a	3.37c	1061ab	6.89bc	0.20b
S-40 t ha ⁻¹	26.8ab	3.75ab	8.34a	26.5bc	45.6b	10.7a	71.4a	3.28a	1051ab	9.13d	0.12a
S-60 t ha ⁻¹	27.2b	3.38a	8.46ab	22.7a	40.5a	11.4b	76.4b	3.3b	1175bc	7.17c	0.19b
L	NS	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	***
C	NS	***	NS	***	***	*	*	*	NS	NS	NS
T	27.1ab	4.48cd	9.07c	25.5a	45.4b	10.8a	72a	3.32ab	1164bc	6.23ab	0.22c
et	0.14	0.059	0.063	0.28	0.58	0.053	0.35	0.005	15.3	0.088	0.04
Dosis	NS	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	***	***
Purín	NS	***	NS	***	NS	NS	NS	***	***	**	***
D*P	NS	***	NS	***	***	***	***	NS	NS	***	***

MS: materia seca, %; **Cen:** cenizas, %; **PB:** proteína bruta, %; **FAD:** fibra ácido detergente, %; **FND:** fibra neutro detergente, %; **EM:** energía metabolizable, MJ kg⁻¹ MS; **MOD:** materia orgánica digestible; **CE:** conductividad eléctrica (μS cm⁻¹); **P:** fósforo; **I:** purín intensivo; **S:** purín semiintensivo; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadrático; **T:** testigo; et: error típico de la diferencias de medias; a, b, c, d, e, f dentro de cada tipo de purín y dosis difieren P<0.05; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo

Los valores medios de proteína son 8.65% y 8.45% en verde y ensilado respectivamente, similares a los 7.9% indicado por Salcedo (2004), también en las condiciones climáticas de Cantabria. En los ensilados, la concentración de proteína bruta disminuye linealmente a medida que aumenta el aporte del purín intensivo (P<0.001) y, (P<0.05) el semiintensivo.

Los porcentajes de FAD y FND son ligeramente mayores en el ensilado, imputable a la pérdida de contenido celular, obteniéndose concentraciones medias de 27-24% para la FAD y 45.7-47.7% la FND en el ensilado y maíz verde respectivamente. En este último no se observan efectos lineales al aumento de purín intensivo y $P < 0.001$ la FAD en el ensilado, sin consecuencias la FND y, sin tendencias en el purín semiintensivo en verde o ensilado (Tabla 4).

La concentración de fósforo difiere entre dosis y tipo de purín ($P < 0.001$), menor a la dosis de 40 t ha⁻¹ tanto en el purín intensivo como semiintensivo. En cualquier caso, porcentajes similares a los indicados por Salcedo (2004) para los ensilados de maíz en Cantabria.

Las características fermentativas (pH y N-NH₃ 100 g de N total) difieren entre el tipo de purín ($P < 0.001$) y, ($P < 0.01$) el N-amoniaco, con porcentajes medios de 6.23%, 6.49% y 7.43% en el ensilado testigo, intensivo y semiintensivo respectivamente y, entre dosis, 6.74%, 7.39% y 7.29% para 20, 40 y 60 t ha⁻¹. Los resultados muestran una ligera relación entre la concentración de amoníaco y la dosis de purín ($r^2 = 0.36$). En cualquier caso, la aminogénesis es escasa, indicando ensilados bien fermentados.

El pH no difiere entre tipo de purín y sí, ($P < 0.001$) con la dosis, sin diferencias la interacción purín x dosis. Los valores aquí obtenidos son inferiores a 3.99 señalados por Salcedo (2004), debido probablemente debido a factores como tiempo de apertura, variedad, estado de madurez, estabilidad aerobia, etc.

2.2.2. Estabilidad aerobia

Los microorganismos implicados en el proceso de ensilado incluyen bacterias beneficiosas (ácidolácticas), en detrimento del *clostridium*, levaduras y mohos no deseados. En un buen silo, el oxígeno se elimina por la respiración de la planta, impidiendo el crecimiento de bacterias aerobias perjudiciales. Cuando se elimina el aire del silo, comienza la producción de ácido (principalmente láctico) reduciéndose el pH y el crecimiento de bacterias perjudiciales. El calor formado en el proceso de fermentación, puede encapsular parte de la proteína, ligándose a la fibra ácido detergente (reacción de Maillard, no deseable), dando lugar a menor contenido de proteína bruta efectiva y energía.

Después de completada la fermentación y expuesto el ensilado al contacto con el aire se calienta, por la presencia de levaduras y, en menor medida por mohos y algunas bacterias, causando pérdidas de valor nutritivo. La estabilidad aeróbica es un término que los nutricionistas utilizan para definir el tiempo que permanece fresco el ensilado

sin deteriorarse después de ser expuesto al aire. En general, los ensilados que sufren deterioro rápidamente, presentan grandes cantidades de levaduras (más de 100.000 por gramo de ensilado húmedo). Los ensilados que han sido sometidos a una fermentación clostridial, tienen elevadas concentraciones de ácido butírico son, irónicamente, muy estables una vez expuestos al aire. Sin embargo, los ensilados de fermentación acética (olor a vinagre) suelen ser también muy estables, porque el ácido acético resulta tóxico para las levaduras. Sin embargo, altos niveles de acetato son indicadores de fermentaciones heteroláctica, menos deseable que la homoláctica.

Dado que el aire alimenta el crecimiento de las levaduras, el objetivo principal es reducirlo al mínimo. Los forrajes recolectados en condiciones óptimas de humedad, tamaño de partícula adecuado, llenado y sellado rápidamente, reducen al mínimo la entrada de aire.

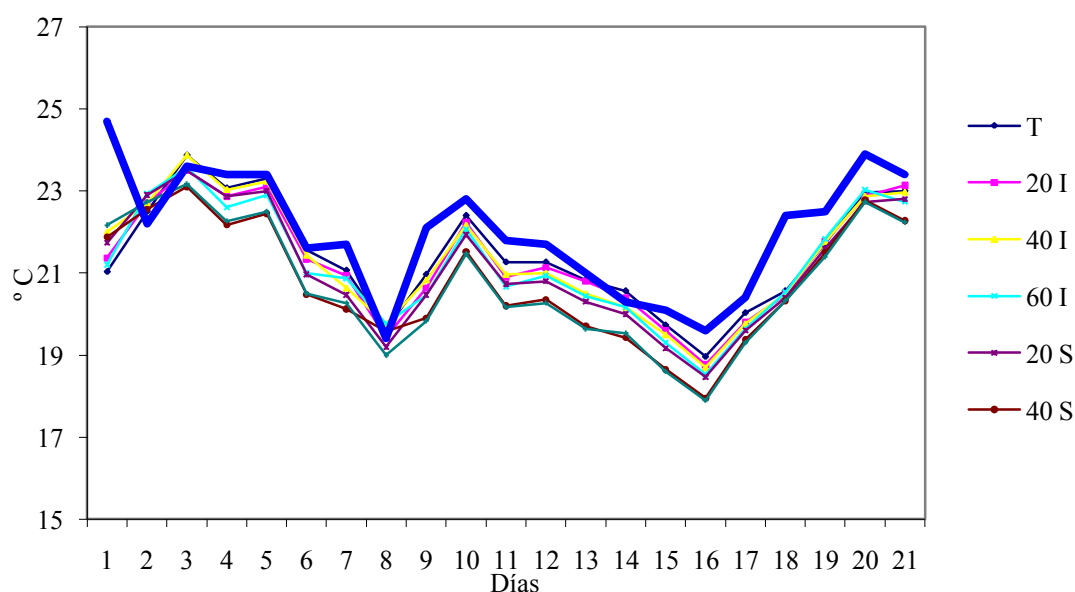
Por lo general, el problema del deterioro del ensilado es mayor con porcentajes elevados de humedad. Si se detecta calor en el ensilado meses después de llenado el silo, suele ser un indicador de descomposición y reducción de valor nutritivo.

Tabla 5.- Caracterización de la fermentación en ensilados de maíz

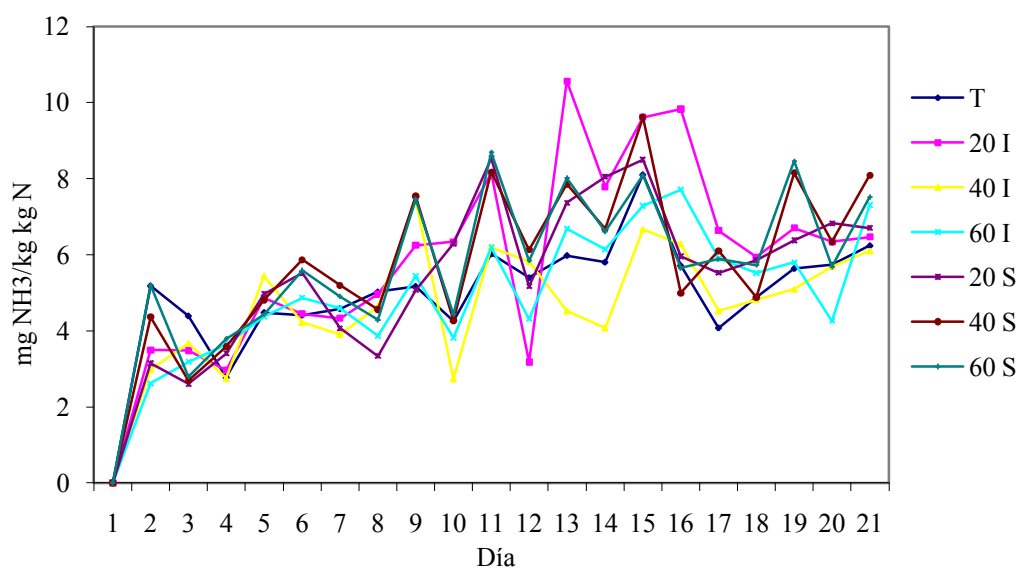
	Tipo purín			Dosis, t ha ⁻¹					Significación			
	T	I	S	0	20	40	60	et	Tiempo	Purín	Dosis	P*D
MS	28.3a	27.7ab	27.2b	28.3a	27.3bc	27.1c	28.0ab	0.132	***	NS	***	***
pH	3.48b	3.52a	3.52a	3.48c	3.55a	3.52b	3.5c	0.003	***	***	***	NS
CE	1214a	1091b	1056c	1214a	1079b	1046c	1096b	4.55	***	NS	***	NS
NH ₃	4.94b	5.13b	5.58a	4.94b	5.61a	5.18b	5.29b	0.046	***	***	***	***

T: testigo; **I:** purín intensivo; **S:** purín semiintensivo; **MS:** materia seca; **CE:** conductividad eléctrica $\mu\text{S cm}^{-1}$; **NH₃:** N amoniacal % sobre N total; **a, b:** dentro de cada tipo de purín y dosis difieren $P < 0.05$

Figura 2.- Variación de la materia seca (%) durante el proceso de fermentación



■ ■ ■ **Figura 5.-** Variación del NH₃ durante el proceso de fermentación



■ ■ ■ **Tabla 6.-** Estabilidad aerobia de los ensilados (temperatura, °C)

Día	Testigo	S20	S40	S60	I20	I40	I60	Ambiente
1	20.16	20.51	20.38	20.15	20.23	20.13	20.28	24.27
2	22.37	22.2	22.41	22.65	22.42	21.78	21.78	27.79
3	24.3	24.45	24.52	24.9	24.82	24.32	24.32	26.1
4	25.78	25.57	25.58	25.7	25.3	25.76	25.76	24.84
5	29.71	29.53	29.52	29.79	29.4	29.43	29.43	24.81
6	32.2	31.16	32.01	31.77	32.34	32.44	32.44	23.47
7	36.2	35.86	35.68	26.23	35.51	34.97	34.66	22.91
8	40.68	41.3	41.23	41.18	40.73	40.71	40.71	20.72
9	36.17	35.86	36.49	36.4	36.37	36	36.12	19.79

■ ■ ■ **Tabla 7.-** Estabilidad aerobia de los ensilados (pH)

Día	Testigo	S20	S40	S60	I20	I40	I60
1	3.24	3.35	3.34	3.34	3.31	3.31	3.35
2	3.32	3.42	3.4	3.44	3.38	3.38	3.46
3	3.38	3.55	3.58	3.68	3.52	3.56	3.7
4	3.86	3.89	3.97	3.98	3.96	3.99	4.0
5	5.49	4.34	4.48	5.55	5.19	5.91	5.6
6	6.56	5.91	5.16	6.3	5.88	6.28	6.4
7	6.65	6.16	5.45	6.86	6.05	6.51	6.87
8	6.85	6.28	6.24	7.21	6.34	6.69	7.24
9	7.33	7.5	6.63	7.31	6.66	6.84	7.35

	Tiempo	Dosis	Purín	Dosis x Purín
T ^a	***	NS	NS	*
pH	***	***	***	***

	Testigo	S20	S40	S60	I20	I40	I60
Máximo incremento de pH	4.09	4.15	3.28	3.97	3.35	3.53	4.03
Día de pH máximo	9	9	9	9	9	9	9
Días transcurridos hasta un incremento de > 2°C respecto a la temperatura inicial	1	2	1	1	1	2	2
Máximo incremento de temperatura respecto al inicial	8	8	8	8	8	8	8
Sumatorio del incremento de temperatura en los 5 primeros días	21.5	19.7	20.5	22.4	21.02	20.7	20.1

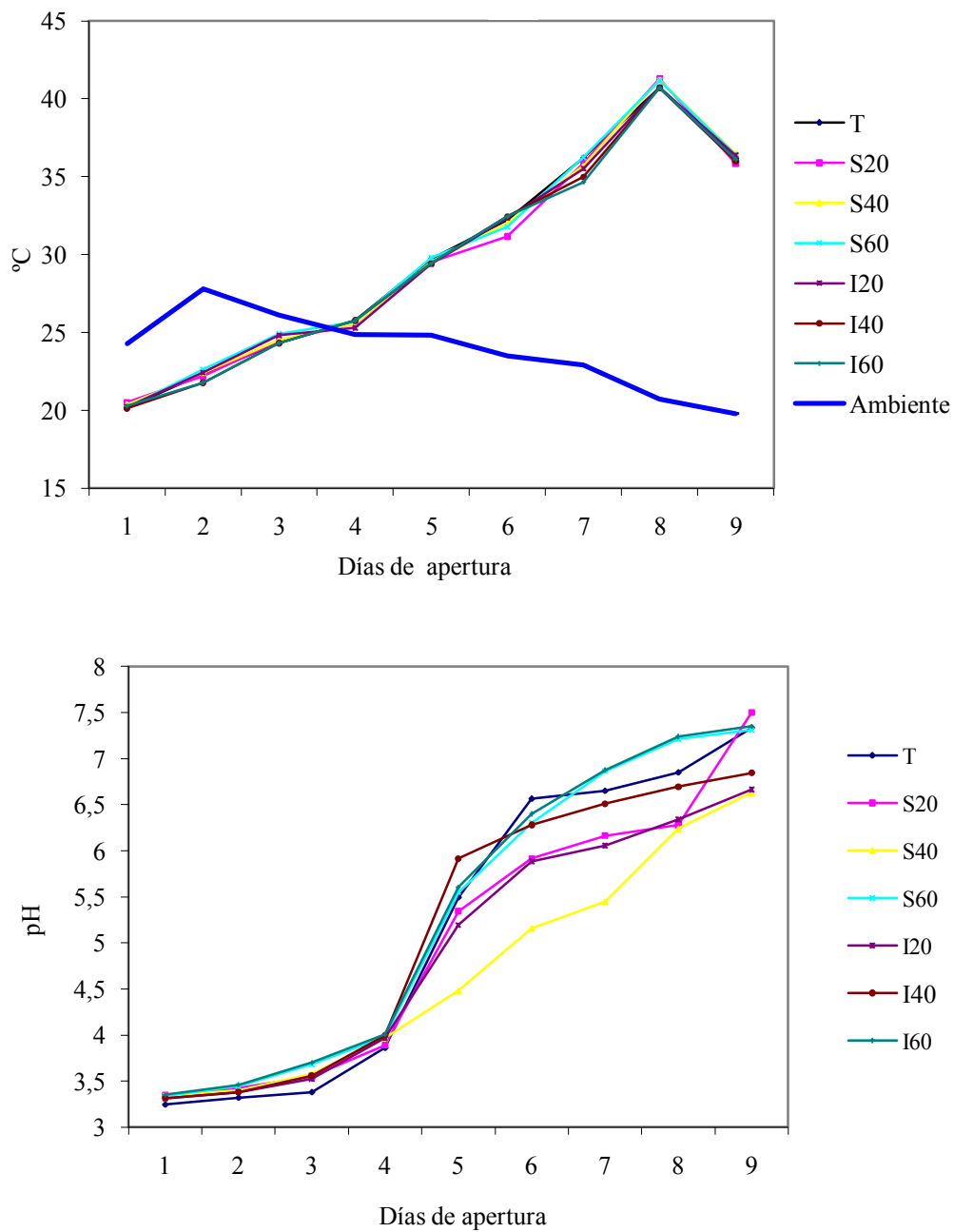
Figura 6.- Evolución en el tiempo de la estabilidad aerobia

Figura 7.- Proceso de llenado de los microsilos experimentales de laboratorio

Maíz



Picado

Llenado
microsilosControl
temperaturaMedición pH y
conductividadFermentación
maíz, microsilos

3. Bibliografía

AARON, J., GIBSON, L.; LIEBMAN, M.; JANNINK, J. 2005. Planting date effects on winter triticale dry matter and nitrogen accumulation. *Agron. J.* **97**, 1333-1341.

ANIL, L.; PARK, J.; PHIPPS, R.; MILLER, F. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, **53**, 301-317.

BÁEZ, M.D.; CASTRO, J.; GARCÍA, M.I.; VALLADARES, J. 2008. Producción de biomasa y extracción de nitrógeno en una pradera fertilizada con purines de vacuno y porcino. *Actas de la XLVIII R.C. de la SEEP*, 287-294 Córdoba (España).

BRÉGARD, A.; BÉLANGER, G.; MICHAUD, R. 2000. Nitrogen use efficiency and morphological characteristics of timothy populations selected for low and high forage nitrogen concentrations. *Crop Sci.* **40**, 422-429.

CALOIN, M.; YU, O. 1984. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L., using a model of plant growth. *Ann. Bot.* (London) **54**, 69-76.

CALVO, R.; FERNANDEZ, M.; VEIGA, M. 1987. Composición de la disolución del suelo en medios naturales de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.* **46**, 621-641.

CASTRO, M.; PIÑEIRO, J. 1998. Efecto de la dosis de siembra de avena (*Avena sativa* L.) y veza común (*Vicia sativa* L.) en la producción, composición botánica y valor nutritivo de la asociación. *XXXVIII Reunión Científica de la SEEP*, 173-176 Soria, (España).

ESTAVILLO, J.; GONZÁLEZ-MURÚA; C.; BESGA, G.; RODRÍGUEZ, M. 1996. Effect of cow slurry N on herbage productivity of N utilization and on white clover content in a natural sward in the Basque Country, Spain. *Grass and Forage Science*, **51**, 1-7.

FERNÁNDEZ-LORENZO, B.; FLORES, G.; GONZÁLEZ-ARRÁEZ, A.; VALLADARES, J.; CASTRO, P. 2007. Comparación de las rotaciones forrajeras guisante-triticale/maíz y raigrás italiano/maíz. *Actas de la XLVII R.C. de la SEEP*, 223-229. Vitoria, (España).

FERNÁNDEZ, Y.; CASTRILLON, L.; MARAÑÓN, E.; FERNÁNDEZ, L.; ÁLVAREZ, M. 2008. Purines de vacuno: emisiones de contaminantes, composición y estudio de posibles correlaciones. I Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas, 33-40, Barcelona, (España).

FLORES, G.; GONZÁLEZ-ARRÁEZ, A.; PIÑEIRO, J.; CASTRO, P.; DÍAZ-VILLAMIL, L. VALLADARES, J., 2003. Composición química y digestibilidad in vitro del guisante forrajero (*Pisum sativum* L.) y triticale (x *Triticosecale* Wittm.) como cultivos invernales en seis fechas de corte en primavera. *Actas de la XXXVII R.C. de la SEEP*, 261-267. Sevilla-Huelva, (España).

GREENWOOD, D.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCCOTT, A.; NEETESSON, J. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* **66**, 425-436.

GREENWOOD, D.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOOT, A.; MILLARD, P.; NEETESON, J. 1991. Growth rate and % N of field grow crops: Theory and experiments. *Ann. Bot. (London)* **67**, 181-190.

GOULDING, K.; POULTON, P.; WEBSTER, C.; HOWE, M. 2000. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat experiment, Rothamstes, UK; as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use and Management* **16**, 244-250.

GUERRERO, A. 1981. *Cultivos herbáceos extensivos*. Ediciones, Mundi-Prensa, 20 pp. Madrid (España).

HEILMEIER, H.; MONSON, R. 1994. Carbon and nitrogen storage in herbaceous plants. P. 149-172. In J. Roy and E. Garnier (ed.) A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. SPB Academic Publ., the Hague, the Netherlands.

JUSTES, E.; MARY, B.; MEYNARD, J.; MACHET, J.; THELIER-HUCHE, L. 1994. Determination of a critical dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot (London)* **74**, 397-407.

KÖPPEN, W. 1948. *Climatología*, Fondo de Cultura Económicas, México

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères: I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie (Paris)* **4** (5), 423-430.

LEMAIRE, G.; F. GASTAL. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. P. 3-44. In G. Lemaire (ed) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer. Verlag. Berlin, Germany.

LLONA, C.; FAZ, C. 2006. Efectos en el sistema suelo-planta después de tres años de aplicación de purín de cerdo como fertilizante en un cultivo de brócoli (*Brassica olerace L.*). R. C. *Suelo Nutr. Veg.* Vol 6, N° 1, p.41-51.

LLOVERAS, J. 1987. Forage production and quality of several crop rotations and pastures in northwestern Spain. *Grass and Forage Science*, **42**, 241-247.

MAFF. 1984. Energy Allowances and feeding systems for ruminants. Reference Book 443. Her Majesty's Stationary Office. London (UK).

MANGADO, J.M.; AMESTOY, J.M. 2000. Alternativas forrajeras intensivas en la Navarra Húmeda. Análisis económico. III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes, 755-762, Bragança (Portugal), Coruña-Lugo (España).

MANGADO, J.M.; BARBERÍA, A.; GRANADA, A. 2007. Valoración agronómica de los purines de vacuno lechero en el área atlántica. Resultados preliminares. *Actas de la XLVII R.C. de la SEEP*. Vitoria (España), 207-213.

- MANGADO, J.M.; AMEZTOY, J.M. 2002. Alternativas forrajeras intensivas en la Navarra húmeda. Análisis económico. *XL. Reunión Científica de la SEEP*, 755-761. Bragança (Portugal), Coruña-Lugo (España).
- MAPA. 1982. Métodos Oficiales de Análisis. Suelos y Aguas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- MILLARD, P. 1988. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. *Plant Cell. Environ.* **11**, 1-8.
- NAVARRO. 2000. Química agrícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España.
- PIÑEIRO, J.; DÍAZ, N.; SANTOALLA, M. C.; SUÁREZ, R.; FERNÁNDEZ, J., 2004. Variedades de guisantes para forraje. Siembras de otoño. *Actas de la XLIV Reunión Científica de la SEEP*, 405-409. Salamanca (España).
- RICHARDS, L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. Handbook Nº 60, U.S. Dept. Of Agri., Washington.
- RIVEROS, E.; ARGAMENTERIA, A., 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. 1. Forrajes verdes. 2. Ensilados y pajas. *Avances en Producción Animal* **12**, 49-75.
- ROZA de la, B.; MARTINEZ, A.; SOLDADO, A.; ARGAMENTERIA, A. 2004. Evolución de la producción y ensilabilidad de la asociación triticale-haboncillos, según su estado de desarrollo. *Actas de la XLIV Reunión Científica de la SEEP*, 273-277. Salamanca (España).
- SALCEDO, G. 2004. Valor nutritivo de los forrajes ensilados en Cantabria. UGAM-COAG. DL: SA-370-2004.
- SALCEDO, G.; MARTÍNEZ-SULLER, L; TEJERO, I.; RICO, C. 2008a. Composición química del purín en las explotaciones lecheras de Cantabria y su relación con la nutrición, 169-175, Barcelona (España).
- SALCEDO, G. 2008. Interpretación de análisis y recomendaciones de abonado en praderas. Jornada Técnica Sobre Suelos Agrícolas en Cantabria. (CIFA), 10-11-08.
- SCHRÖDER, J. 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environmental. *Bioresource Technology*, **96**, 253-291.
- SCHRÖDER, J.; BANNIN, A.; KOHN, R. 2004. Improving the efficiency of nutrients use in cattle operations. En: Pfeffer, E., Hristov, A.N. (Eds), Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle. CABI, Wallingford, UK.
- SEYBOLD, C.; MAUSBACH, M.; KARLEN, D.; ROGERS, H. 1998. Quantification of soil quality. In: Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R. R., Stewart, B. A. (Eds). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, BocaRaton, 287-404.

SPSS 11. 2002. Guía para Análisis de Datos. Ed. Mcgraw-Hill.

SUÁREZ, R.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J.; SANTOALLA, C., 2002. Avena, centeno y triticale como tutores de guisante y veza en rotaciones forrajeras ecológicas. *Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, 701-710. Gijón (España).

SUÁREZ, R.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J.; SANTOALLA, C., 2004. Mezclas de avena, centeno y triticale con guisante y veza en siembras de primavera. *Actas de la XLIV Reunión Científica de la SEEP*, 399-403. Salamanca (España).

THORNTHWAITE, C. 1948. An approach towards a rational clasification of climate. *Geog. Rev.* **38**:55-89.

VERUGHESE, G.; BARRER, T.; SAARI, E. 1987. Triticale CIMMYT. México, D.F. 32 pp.

WHITEHEAD, D. 1995. Grassland nitrogen. CAZB International Wallungford, Oxon OX10 8 DE, UK 97 pp.



4

Utilización del purín en praderas



Utilización del purín en praderas

Movimiento de N y P en el suelo

G. Salcedo



MOVIMIENTO DE N Y P EN EL SUELO

G. Salcedo

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Material y métodos

2.1. Pradera

2.2. Suelo y clima

2.3. Fertilización

2.4. Mediciones experimentales

2.5. Determinaciones analíticas del forraje y suelo

2.6. Cálculos

2.7. Análisis estadístico

3. Resultados y discusión

3.1. Fósforo

3.2. Nitrógeno

4. Conclusiones parciales

5. Bibliografía

Resumen

En el presente experimento se estudia la composición química del suelo y las pérdidas de N amoniacal de una pradera sembrada de raigrás inglés y trébol blanco, abonada durante dos años con purín de vacuno lechero a la dosis de 80, 105 y 130 t ha⁻¹ y dos sistemas de aplicación (convencional, C vs. Inyección, I) en un diseño experimental de bloques al azar. El fósforo mostró descensos el primer año, sin diferencias en el segundo. El sistema de aplicación no afectó al contenido de P del suelo, pero sí, $P < 0.05$ la dosis de purín, que lo incrementó linealmente ($P < 0.001$) en ambos sistemas, con aumentos de 1.45, 2.8 y 2.29 ppm en C y 1.17, 1.53 y 2.7 ppm en I para 80, 105 y 130 t ha⁻¹. Los balances de fósforo (aportes menos extracciones) son positivos para aplicaciones crecientes de purín, 19.6 y 21.9 kg ha⁻¹ para convencional e inyección respectivamente, y negativo (-15.3 kg ha⁻¹) en el testigo, observándose un descenso significativo ($P < 0.05$) a mayor profundidad. La dosis de purín incrementa linealmente la concentración de N en el suelo en ambos sistemas ($P < 0.001$), con porcentajes medios del 70% convencional y 75% inyección. Las pérdidas de NH₄⁺ estimadas son mayores en convencional, con porcentajes medios del 26 y 31% y 14.2 y 16.8% en inyección durante las primeras 20-30 horas después de aplicar el purín. La diferencia en términos porcentuales equivale a 45.6 y 45.8% de amoníaco en convencional respecto a la inyección. En todos los casos, las mismas pérdidas son inversamente proporcionales a la dosis de purín aportado. El porcentaje de NH₄⁺ presente en el suelo medido durante tres días tras la aplicación incrementa significativamente con el aporte de purín ($P < 0.001$), mayor con la inyección, permaneciendo constante el testigo.

Palabras clave: fósforo, nitrógeno, purín, sistema de aplicación, suelo.

Abstract

In the experiment we study the chemical composition of soil and ammonia nitrogen losses from a pasture sown of *Lolium perenne* and *Trifolium pretense*, paid for two years with dairy cattle slurry at doses of 80, 105 and 130 t ha⁻¹ and two application systems [conventional vs. injection) experimental design was a randomized block. Phosphorus decreases the first year showed no differences in the second. The application system did not affect soil P content, but yes, slurry dose (P<0.05), which increases linearly (P<0.001) in both systems, with increases of 1.45, 2.8 and 2.29 ppm in conventional and 1.17, 1.53 and 2.7 ppm in injection for 80, 105 and 130 t ha⁻¹.

Phosphorus balances (contributions less withdrawals) are positive for increasing applications of manure, 19.6 and 21.9 kg ha⁻¹ for conventional and injection respectively, and negative (-15.3 kg ha⁻¹) in the witness observed a significant decrease (P<0.05) at greater depth. The dose of manure increases linearly the concentration of N in the soil in both systems (P<0.001), with average rates of 70% and 75% conventional injection. The estimated losses are higher NH₄⁺ in conventional, with average rates of 26 and 31% and 14.2 and 16.8% in injection during the first 20-30 hours after applying manure. The difference in percentage terms, equivalent to 45.6 and 45.8% ammonia in relation to conventional injection. In all cases, these losses are inversely proportional to the dose of liquid manure produced. The rate of NH₄⁺ in soil measured three days after application significantly increases the contribution of manure (P<0.001) higher with injection and constant witness.

Keywords: application system, nitrogen, phosphorus, slurry, soil.

1. Introducción

En los sistemas a pastoreo el manejo de la pradera se le considera como el cuarto factor de producción después de la tierra, trabajo y capital. Su importancia y complejidad ha incrementado en Cantabria durante los últimos veinte años. Así, se ha pasado de utilizar el purín como fertilizante de las praderas a almacenándose en estercoleros y aplicándolo en momentos puntuales con aportes extras de fertilizantes inorgánicos. El manejo de los nutrientes producidos en la explotación es particularmente importante en los sistemas de producción lechera, con cierta base territorial para la producción de forrajes, como la eficiencia en el uso de nutrientes, a su vez influenciada por cualquier actuación agronómica o medioambiental (Aarts *et al.*, 1992; Jabís *et al.*, 1995; Oenema y Pietrzak, 2002); mientras, las políticas gubernamentales favorecen los cambios en la mejora de aquellas actuaciones (Jenkins y Van Keulen 2001; Oenema y Veranasen, 2005).

Adaptar la proporción de fertilizante a las necesidades de los cultivos es uno de los factores más importantes para minimizar las pérdidas de lixiviados. Al menos, trece elementos nutritivos son identificados como esenciales para la producción de forraje y dieciocho para los animales (Marchen, 1995; Whitehead, 2000), pero los más fundamentales desde la fertilización son el nitrógeno y fósforo, porque juegan un papel importante sobre los rendimientos e impactan negativamente sobre el medio ambiente (Tamminga, 1996; 2003). Sin embargo, la eficiencia de utilización de ambos elementos para la producción animal y vegetal, también depende de la disponibilidad de otros nutrientes. Otros factores como las condiciones del suelo, agua, drenaje, manejo de la pradera y sistema de aplicación también influyen sobre la producción y dinámica de nutrientes.

En Cantabria, la mayoría de las praderas son aprovechadas tres o cuatro veces al año para alimentación en verde, o bien para ensilado, uno o dos aprovechamientos. Esto implica que el volumen de estiércol producido ha de almacenarse en fosas o balsas de purín. Su aplicación se realiza de forma convencional y los criterios que la rigen son el volumen de estiércol acumulado y el tiempo que dispone el ganadero para su reparto. Otro factor añadido a este último son las continuas precipitaciones que impiden su distribución.

Entre otras, las ventajas que ofrece la inyección de purín en las praderas frente al sistema convencional son: 1) maximiza el valor fertilizante; 2) reduce olores durante el proceso de aplicación; 3) disminuye el potencial contaminante por nitratos debido a la

sobreaplicación; 4) proporciona nutrientes bien distribuidos para el uso eficiente de los cultivos. Por el contrario, presenta ciertos inconvenientes, tales como: 1) un coste de equipamiento mayor; 2) en praderas con pendientes pronunciadas no es posible utilizarlo; 3) mayor gasto en combustible, 4) condiciones climáticas adversas; 5) mayor compactación del suelo; etc.

Desde un punto de vista ambiental, la pérdida de amonio en forma de amoníaco representa un descenso potencial en el uso de N como fertilizante, contribuyendo a la acidificación del suelo (Van Bremen *et al.*, 1982) y a la eutrofización de los ecosistemas (Galloway *et al.*, 2002). La volatilización del amoníaco después de aplicado a los cultivos, equivale a una fuente de polución atmosférica importante. Las emisiones de NH_3 varían con la técnica de aplicación usada y humedad del suelo, reduciendo la disponibilidad del nitrógeno.

Algunos ganaderos confían poco en el potencial fertilizante del purín e ignoran las pérdidas de N que representa un mal manejo; como consecuencia, las entradas de N inorgánico, Surplus de N ha^{-1} , lixiviados de nitratos, emisiones de óxido de nitrógeno al aire aumentan, modificando la composición química del suelo.

Los resultados del proyecto ALFAM (*Amonio Los Fromm Field-Applied Animal Manure*) señalan varios factores implicados en la volatilización del amoníaco, como tipo de suelo (+10% mayor en los húmedos que en los secos); temperatura del aire (+2% por $^{\circ}\text{C}$); velocidad del viento (+4% por m s^{-1}); contenido de materia seca del purín (+11% por unidad porcentual); contenido en amonio (-17% por g N kg^{-1}); método de aplicación (-72% en inyección) y tipo de purín (> en purín de vacuno que el de cerdo).

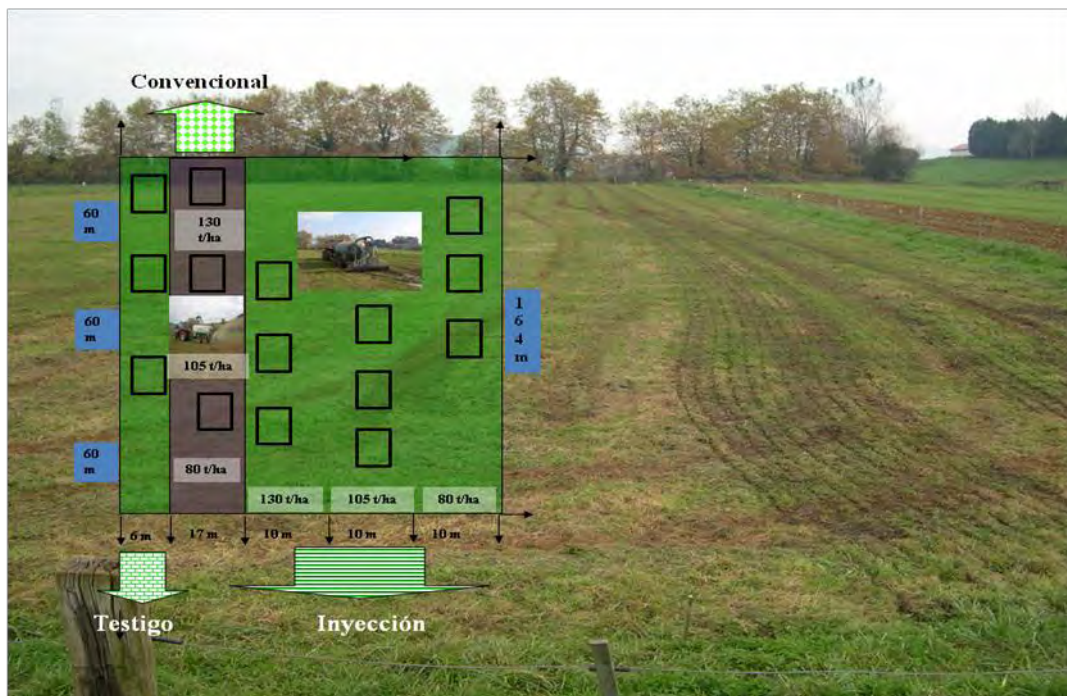
El objetivo de este capítulo se centra en analizar la evolución del nitrógeno y fósforo en el suelo de pradera fertilizada con dosis crecientes de purín de dos sistemas de aplicación.

2. Material y Métodos

2.1. Pradera

La pradera objeto de estudio fue sembrada en el año 1985 a base de *Lolium perenne* (c. "Tove") y *Trifolium repens* (c. "Huia"), aprovechada a diente durante el período (1991-2005), alternando algún aprovechamiento para ensilado. A partir del año 2006 el manejo es exclusivamente a siega, practicándose dos aprovechamientos: junio y julio y en pastoreo, desde finales de agosto a mediados de noviembre. La composición botánica y la proporción de gramíneas más importantes por orden de abundancia son *Lolium perenne* (67%), *Holco lanatus* (8%), *Festuca arrundinacea* (5%), *Dactylis glomerata* (2%), *Agrostis* (1%). Para las leguminosas, el *Trifolium repens* y *Trifolium pratense* representan el 3.3% y 0.8% respectivamente. El grupo de otras representan el 12.1%, principalmente compuestas como el *Plantago*, *Ranúnculus*, *Taraxacum officinale*, etc. El diseño experimental de campo (Figura 1) fue de bloques al azar con tres repeticiones (parcela elemental 10 x 5 m), donde el sistema de aplicación (convencional vs. inyección) y dosis de purín (0, 80, 105 y 130 t ha⁻¹) son los efectos fijos.

■ ■ ■ **Figura 1.-** Diseño experimental de campo



2.2. Suelo y clima

Las características físico-químicas del suelo a diferente profundidad donde se realiza el experimento corresponden a un suelo de textura Franco-Arcillolimoso, con bajos contenidos de materia orgánica, N total y fósforo asimilable (Tabla 1), sin clara diferenciación de horizontes.

Tabla 1.- Características físico-químicas del suelo

Profundidad, cm	pH	MO total, %	MO oxidable, %	N _t , %	P, ppm
10	5.56	2.54	1.95	0.18	12.35
20	5.49	2.38	1.83	0.165	11.8
30	5.49	2.22	1.71	0.155	11.24
Medias	5.51	2.38	1.83	0.166	11.79
Std	0.098	0.142	0.109	0.012	0.53

Las condiciones climatológicas vienen representadas en la Figura 2. Las temperaturas medias y las precipitaciones en el período comprendido desde noviembre del 2007 a julio del 2009 fueron de (13.36 °C y 95.3 mm m²) respectivamente. El déficit hídrico se registró en los meses de julio y agosto en el 2008 y mayo, junio y julio el 2009, coincidiendo con la máxima evapotranspiración potencial (Figura 3).

Figura 2.- Climatología durante el experimento

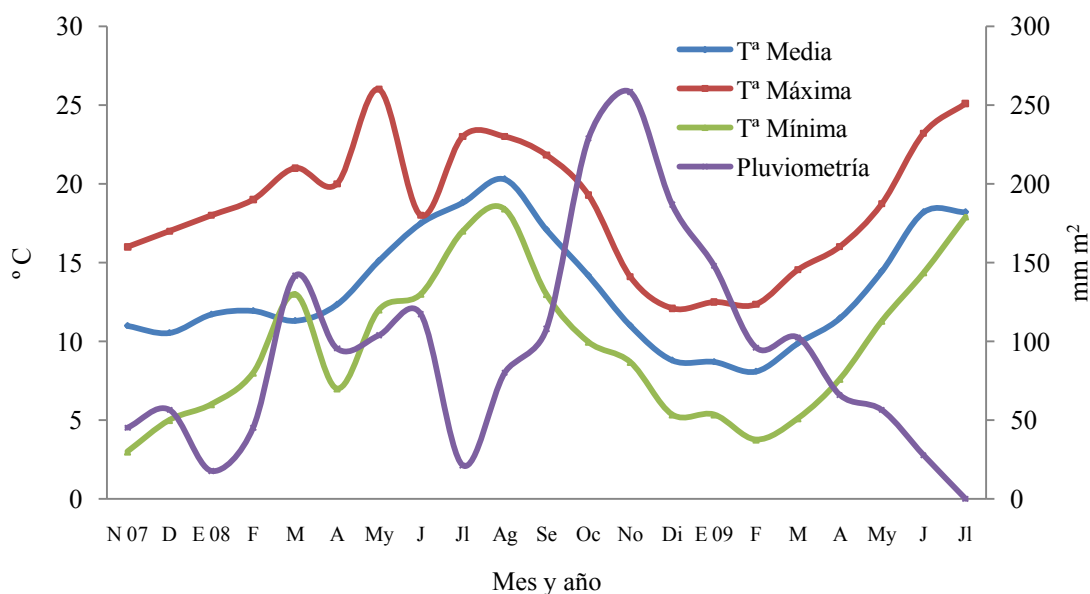


Figura 3.- Condiciones de humedad del suelo

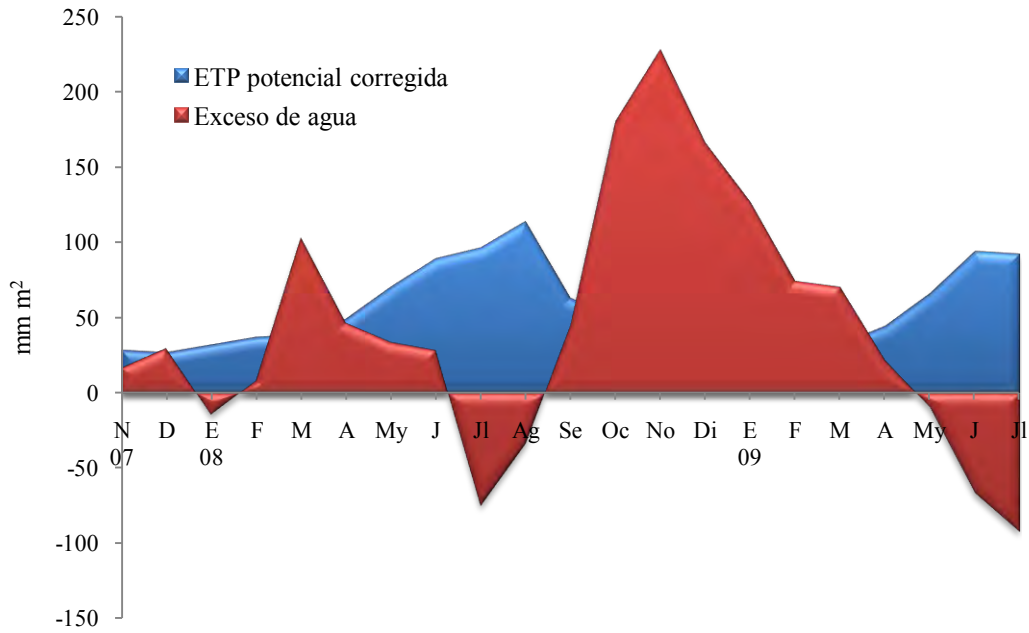
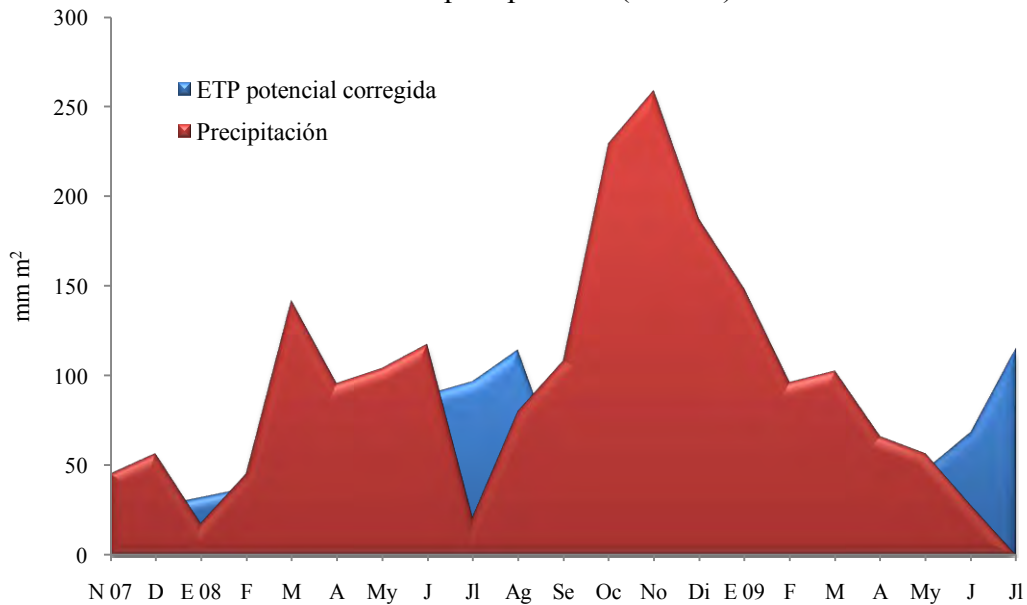


Figura 4.- Distribución de la Evapotranspiración potencial corregida y la precipitación (mm m^2)



2.3. Fertilización

La fertilización consistió en un único aporte de purín de vacuno lechero (9-11-07 y 21-9-08) en cada uno de los años del estudio. El purín del primer año procede de la explotación del I.E.S. “La Granja”, con un sistema de producción de leche basado en el aprovechamiento de los forrajes, ingestas medias de 7 kilogramos de concentrado vaca y día, 15 kilogramos de ensilado de maíz y pastoreo. El del segundo año procede de una explotación en régimen intensivo, con una alimentación al 51% de forraje y 49% de concentrado. En esta explotación se añade superfosfato de cal a la cama del ganado.

La velocidad de avance de la cuba (km h^{-1}) fue ajustada con la fórmula:

$$\frac{36000 \times C}{\text{Dosis} \times A \times B}$$

donde:

- A:** Anchura de trabajo, m^{-1}
- B:** Tiempo de descarga, s^{-1}
- C:** Capacidad de la cuba, m^3



Aplicación de purín: inyección y convencional

La inyección del purín es del tipo superficial ($< 10 \text{ cm}$) con doble disco:



Sistema de inyección de doble disco

La composición química del purín aplicado cada año viene señalada en la Tabla 2, y las aportaciones de N total, N amoniacal, N orgánico y fósforo por hectárea en la Tabla 3.

Tabla 2.- Composici3n f3sico-qu3mica del pur3n

	Pur3n 2007	Pur3n 2008
Materia seca, % ¹	6.5±0.01	4.78±0.45
Cenizas, % ²	19.5±0.03	25.07±5.07
N, g kg ⁻¹ pur3n	0.62±70.024	2.13±0.051
N-NH ₄ , g kg ⁻¹ pur3n	0.228±0.007	0.92±0.0044
N org3nico, g kg ⁻¹ pur3n	0.38±0.03	1.17±0.0048
pH	7.06±0.03	6.98±0.13
CE, mS/cm ⁻¹	4.5±0.08	15.3±0.83
P, % ²	0.58±0.01	0.94±0.015
C/N	50.4±1.9	9.8±1.39

¹: en fresco; ²: sobre materia seca; **CE**: conductividad el3ctrica; **P**: f3sforo; **C/N**: relaci3n Carbono/Nitr3geno; ±: desviaci3n est3andar

Tabla 3.- Aportaciones de N y P, kg ha⁻¹

	Pur3n 2007	Pur3n 2008
80 t ha⁻¹		
N _t , kg ha ⁻¹	49	170
N-NH ₄ ⁺ , kg ha ⁻¹	18	73
N org3nico, kg ha ⁻¹	31	94
P, kg ha ⁻¹	29	36
105 t ha⁻¹		
N _t , kg ha ⁻¹	65	219
N-NH ₄ ⁺ , kg ha ⁻¹	23	95
N org3nico, kg ha ⁻¹	40	120
P, kg ha ⁻¹	38	47
130 t ha⁻¹		
N _t , kg ha ⁻¹	80	277
N-NH ₄ ⁺ , kg ha ⁻¹	29	120
N org3nico, kg ha ⁻¹	50	152
P, kg ha ⁻¹	47	58

2.4. Mediciones experimentales

2.4.1. *Suelo*: este apartado est3 descrito en el Cap3tulo 10 “**Movimiento del N y P en el suelo**”.

2.4.2. *Forrajes*: la producci3n de forraje por hect3rea se estima mediante siega de tres transectos 0.5 x 0.5 m, haciendo un recorrido en *zig-zag* dentro de cada tratamiento y segado a ras de tierra con segadora manual a pilas. Las fechas de muestreo y estados de madurez de la hierba Figuran en la Tabla 4.



Detalle del muestreo de hierba

■ ■ **Tabla 4.-** Fechas de muestreo y estados de madurez de la hierba

2007-2008		2008-2009	
1º Aprovechamiento	2º Aprovechamiento	1º Aprovechamiento	2º Aprovechamiento
25-2-08 Hojoso	18-6-08 Hojoso	8-4-09 Hojoso	23-6-09 Hojoso
3-4-08 Inicio espigado	27-6-08 Encañado	22-4-09 Entallado	1-7-09 Inicio espigado
6-5-08 Espigado	8-7-08 Inicio espigado	11-5-09 Inicio espigado	8-7-09 Espigado
5-6-08 Plena floraci3n	18-7-08 Espigado	20-5-08 Espigado	15-7-09 Inicio floraci3n

2.5. Determinaciones anal3ticas del forraje y suelo

Vienen definidas en el Cap3tulo 10 “*Eficiencia de utilizaci3n del N y P en la rotaci3n de forrajes de invierno y verano*”. La cin3tica de la degradaci3n ruminal de la prote3na bruta: **a**, fracci3n r3pidamente degradable; **b**, fracci3n lentamente degradable; **De**: degradabilidad efectiva para un paso $K = 0.06 \text{ h}^{-1}$ y **Dp**, degradabilidad potencial, fueron estimadas a partir de las ecuaciones obtenidas por Salcedo (2000) y, los carbohidratos no fibrosos (CNF) como: $100 - (\text{Fibra Neutro Detergente} + \text{Cenizas} + \text{Prote3na Bruta} + \text{Grasa Bruta})$.

En el segundo a3o y despu3s de la aplicaci3n de pur3n (21-9-08) se determin3 la concentraci3n de NH_4^+ de los primeros 10 cm del suelo durante tres d3as consecutivos y a la misma hora (11 a.m.), dentro de cada sistema de aplicaci3n y dosis.

2.6. C3lculos

Las p3rdidas de amon3aco (NH_3) fueron estimadas mediante el modelo (Misselbrook *et al.*, 2001). Las variables incluidas en el mismo son tipo de pur3n (vacuno o cerdo), concentraci3n de materia seca (%) y NH_4^+ (g kg^{-1}), velocidad del viento (m s^{-1}), temperatura del aire ($^\circ\text{C}$), suelo (seco vs. h3medo), dosis (t ha^{-1}) y sistema de aplicaci3n (inyecci3n vs. convencional).

La información meteorológica (temperatura máxima, mínima, media y precipitación) es obtenida del aeropuerto de Parayas. A partir de la misma se estima la evapotranspiración potencial (Thornthwaite, 1948). En cada caso, se calcularon las horas de calor acumuladas como: **Horas calor** $\{[(\text{temperatura máxima diaria} + \text{temperatura mínima diaria}) \div 2] - \text{temperatura base}\}$, tomada ésta última como 4°C. Posteriormente y mediante análisis de regresión simple, se estima la producción de materia seca por hectárea.

Las eficiencias del uso del N (**NUE_{MS}**: kg MS por kilogramo de N aplicado); kg de materia orgánica digestible por kilogramo de N aplicado (**NUE_{MOD}**); MJ de energía metabolizable por kilogramo de N aplicado (**NUE_{EM}**) y eficiencia de consumo de P (**PU_{pE}**).

$$\text{NUE}_{\text{MS}}, \text{kg kg}^{-1} = (\text{kg MS ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MS ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$\text{PU}_{\text{pE}}, \text{kg kg}^{-1} = \text{kg (P forraje ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg P forraje ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg P ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$\text{NUE}_{\text{MOD}}, \text{kg kg}^{-1} = \text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MOD ha}^{-1}_{\text{sin purín}} \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$\text{NUE}_{\text{EM}}, \text{MJ EM kg}^{-1} = \text{MJ EM ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{MJ EM ha}^{-1}_{\text{sin purín}} \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

a su vez, la NUE se divide en dos fracciones: eficiencia de consumo de N (**NU_{pE}**) y eficiencia de conversión del N (**NCE**), según las expresiones:

$$\text{NU}_{\text{pE}}, \text{kg kg}^{-1} = (\text{kg N forraje ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg N forraje ha}^{-1}_{\text{sin purín}}) \div \text{kg N ha}^{-1}_{\text{purín}}$$

$$\text{NCE} = [(\text{kg MS ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg MS ha}^{-1}_{\text{sin purín}})] \div [(\text{kg N forraje ha}^{-1}_{\text{purín}} - \text{kg N forraje ha}^{-1}_{\text{sin purín}})]$$

La curva de dilución del N se sigue el procedimiento propuesto por Justes *et al.* (1994). Los datos de producción de materia seca a diferentes niveles de fertilización son analizados por un ANOVA, y las medias son separadas mediante el test de Duncan. Las mismas fueron utilizadas para estimar la curva de dilución del N por regresión no lineal.

2.7. Análisis estadístico

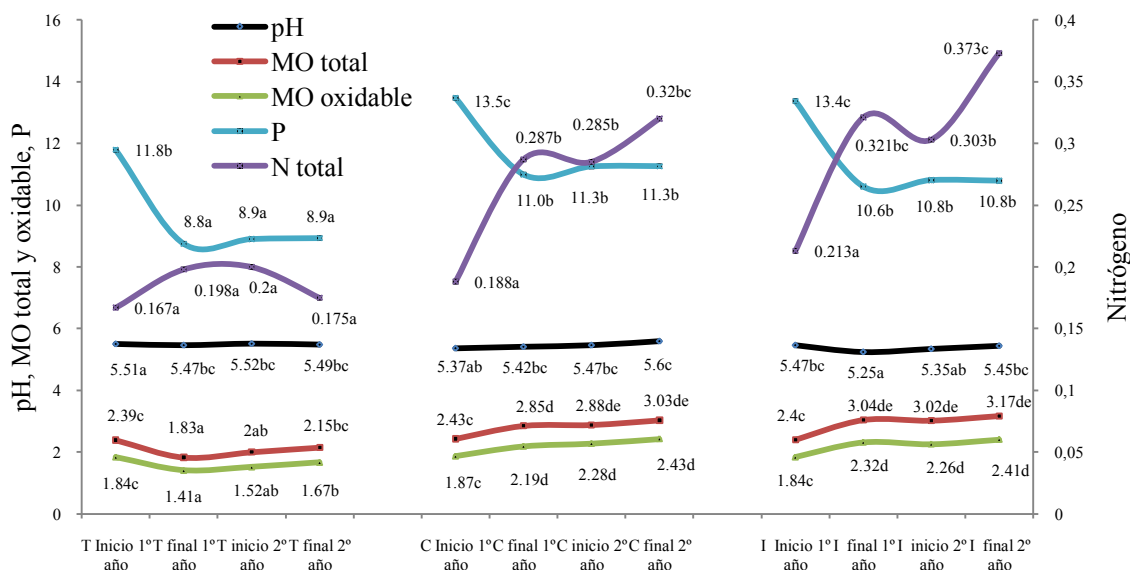
Para la producción (aprovechamientos de mayo-junio y julio), los resultados fueron analizados como un arreglo factorial 2 x 4: 2 sistemas de aplicación y 4 dosis de purín. Dentro de cada aprovechamiento se realizaron 4 controles, determinándose el efecto *tiempo* mediante un análisis de medidas repetidas en el tiempo, separándose las medias con el test de Duncan. Los efectos lineales o cuadráticos según la dosis de purín aplicada fueron testados mediante contrastes ortogonales. Además, para la composición química del suelo se incluye la variable fija profundidad (10, 20 y 30 cm). Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SSPS 11.

3. Resultados y discusión

La composición físico-química del suelo en los sistemas de aplicación (C vs. I), dosis y profundidad viene reflejada en las Tablas 5 y 6 y el análisis de varianza entre variables en la Tabla 7.

La Figura 5 representa la evolución de pH, materia orgánica total (%), materia orgánica oxidable (%), fósforo (ppm) y N total (%) para los sistemas de aplicación convencional, inyección y testigo sin purín, desde el inicio al final de cada año y, la Figura 6, respecto a la dosis y sistema de aplicación. En todos los casos, los niveles de P asimilable son inferiores a 16 ppm, considerado como nivel óptimo en praderas del norte de España (Rodríguez, 1992).

Figura 5.- Evolución del suelo desde el inicio al final de la experiencia

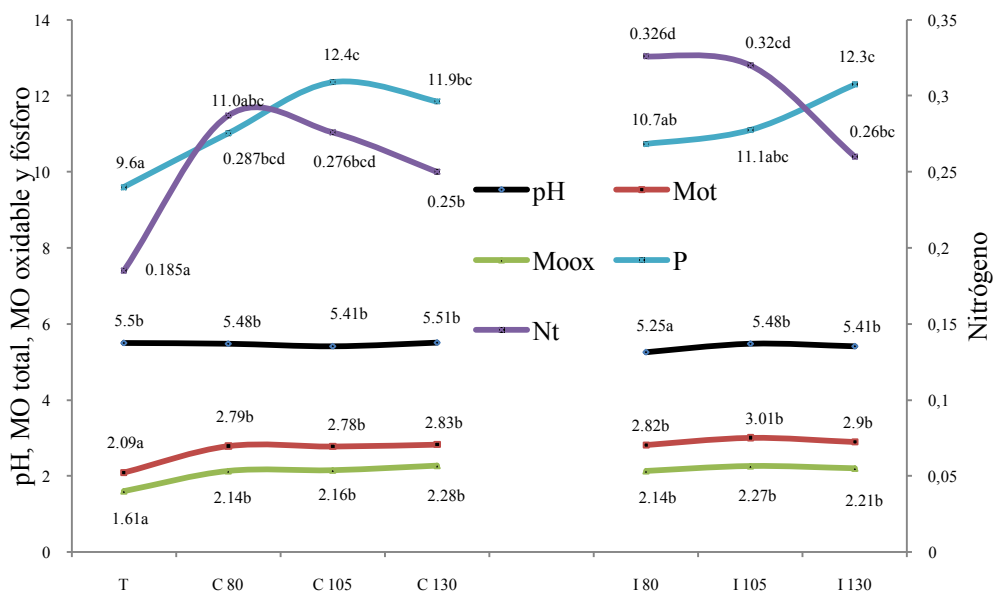


3.1. Fósforo

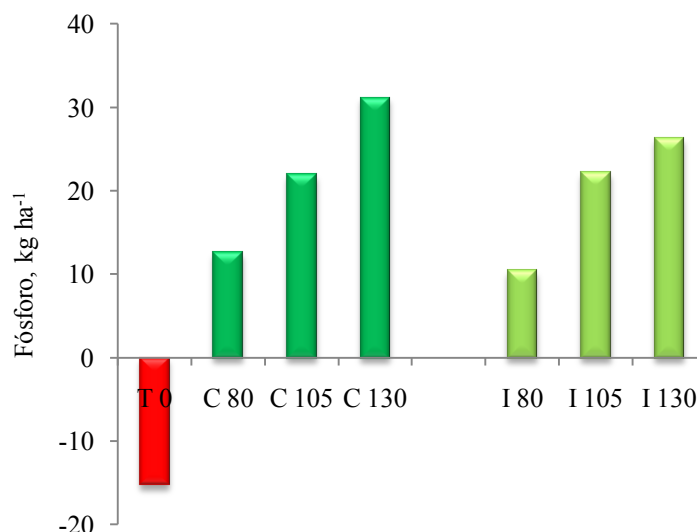
El fósforo es un elemento poco móvil en el suelo en comparación con el nitrógeno. Parte del P aplicado a las praderas es utilizado por la hierba o se une a las partículas del suelo. En las praderas, la mayoría del P absorbido ocurre en los primeros centímetros del suelo, pero solo una pequeña proporción se encuentra disponible. Sin embargo, elevados aportes de P en el suelo puede ser ampliamente utilizado. Cuando las plantas no utilizan el P presente en el suelo, o se encuentra en exceso, éste es susceptible de ser arrastrado por el agua de escorrentía. Si bien ésta pérdida puede ser pequeña en términos agronómicos, uno o más kilogramos de P por hectárea son indeseables para el medio ambiente, porque puede desembocar en ríos y lagos originando procesos de eutrofización.

El fósforo asimilable descendió desde el inicio del primer año al final del mismo ($P < 0.05$), sin diferencias el segundo. Este efecto es atribuido al cambio de fertilización mineral durante el período 1991 al 2003, con aportaciones medias de 202-115-86 kg N-P₂O₅ y K₂O a orgánico exclusivamente con purín de vacuno lechero (2007-2009). Los aportes de P entre años e independientemente del sistema de aplicación son similares (32 y 40 kg ha⁻¹), observándose aumentos lineales en relación al aporte de purín ($P < 0.001$), e independientemente del sistema empleado. Dichos aumentos equivalen a 1.45; 2.8 y 2.2 ppm en convencional y 1.17, 1.53 y 2.74 ppm en inyección para las dosis 80, 105 y 130 t ha⁻¹ respecto al testigo sin fertilizar. Posiblemente el escaso contenido de materia orgánica y pH bajo, contribuyan a la menor disponibilidad de fósforo, siendo máxima a pH 6.5; por debajo precipita en forma de fosfatos de hierro y aluminio, dando carácter ácido a la solución del suelo. El aumento de P da lugar a balances positivos, equivalentes a 19.6 y 21.9 kg P ha⁻¹ en inyección y convencional respectivamente (Figura 7). Por el contrario, negativo en el testigo sin purín, con valores medios entre años de -15.3 kg P ha⁻¹, sin diferencias significativas en los tratamientos con purín e independientemente de la dosis. En cualquier caso, no se observaron relaciones entre el aporte de P y el extraído por la hierba y sí, ($r^2 = 0.79$, $P < 0.001$) entre el balance P y el aportado con purín (Figura 8).

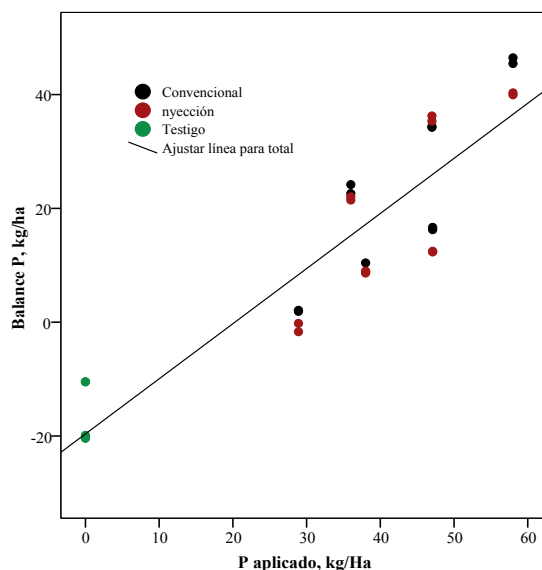
Figura 6.- Evolución de la composición química del suelo según el aporte de purín



■ ■ **Figura 7.-** Balance de P (aportado – extraído), kg ha^{-1}



■ ■ **Figura 8.-** Relación entre el balance de fósforo y las aportaciones, (kg ha^{-1})



$$\text{Balance P, kg ha}^{-1} = -19.6 (3.86) + 0.968 (0.096) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ aplicado}; r^2 = 0.79 \pm 8.7$$

Para obtener producciones de pasto aceptables, es necesario que el suelo disponga de al menos 16 ppm de P asimilable. Si es inferior, como sucede en este experimento, además del P de mantenimiento (Q) es necesario aportar una cantidad extra para no perder fertilidad. Si es mayor a 16 ppm, las necesidades de mantenimiento son inferiores.

A partir de la metodología del ciclo de nutrientes en las explotaciones lecheras del País Vasco (Oyanarte *et al.*, 1997), Salcedo (2008) desarrolló una ecuación de ajuste para el abonado fosfórico de mantenimiento de praderas en régimen de pastoreo del tipo: $[Q = (-2.99 \text{ ppm suelo}) + 41]$, ligeramente diferente a $[Q = (-4.6 \text{ ppm suelo}) + 73]$

señalada por Rodríguez (1992). En el presente experimento, el factor de ajuste estimado para no perder fertilidad es de 28, 18.3, 9.2, 12.6, 20.2, 17.8 y 9.2 kg P_2O_5 ha⁻¹ año en el testigo sin purín, C80, C105, C130, I80, I105 y I130 kg purín ha⁻¹ respectivamente.

Entre sistemas de aplicación de purín, la concentración de P en el suelo no difiere, atribuido a que las pérdidas por volatilización no ocurren como en el caso del N, y $P < 0.05$ entre dosis Tabla 7. Por el contrario, disminuyó con la profundidad del suelo ($P < 0.05$) (Tabla 7). No obstante, las relaciones que se obtienen son bajas ($r^2 = 0.01$) pero, al incluir en el modelo la dosis, el coeficiente de determinación incrementa hasta $r^2 = 0.24$, con diferencias entre años ($r^2 = 0.21$ el primer año y $r^2 = 0.34$ el segundo), lo que representa una mejora del 64%, posiblemente debido a que parte del P aplicado permanece inmovilizado hasta en formas más solubles.



Equipo de inyección de purín

Tabla 5.- Composición físico-química del suelo

2007																						
Testigo				Convencional									Inyección									
Dosis, t ha ⁻¹		0			80			105			130			80			105			130		
Profundidad	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
pH	5.45	5.5	5.51	5.4	5.45	5.39	5.28	5.32	5.36	5.34	5.51	5.51	5.22	5.33	5.26	5.41	5.45	5.48	5.24	5.46	5.4	
MO _t , %	2.33	2.02	1.98	2.89	2.67	2.26	2.91	2.63	2.36	2.94	2.69	2.38	2.76	2.64	2.64	2.97	2.81	2.51	2.87	2.77	2.52	
MO _{ox} , %	1.79	1.56	1.53	2.22	2.06	1.74	2.24	2.03	1.82	2.27	2.07	1.83	2.13	2.03	2.03	2.17	2.16	1.93	2.21	2.13	1.94	
N _t , %	0.20	0.177	0.172	0.35	0.24	0.21	0.29	0.205	0.21	0.255	0.194	0.186	0.305	0.30	0.24	0.30	0.265	0.295	0.255	0.24	0.205	
P _{Olsen} , ppm	11.1	9.89	9.5	10.5	11.6	12.8	11.9	12.6	13.0	13.6	11.1	12.6	11.9	10.2	10.8	11.1	12.0	11.3	14.6	12.7	12.9	
2008																						
pH	5.59	5.33	5.66	5.49	5.64	5.51	5.42	5.48	5.59	5.46	5.63	5.62	5.17	5.32	5.2	5.51	5.49	5.54	5.56	5.38	5.44	
MO _t , %	2.12	2.05	1.97	3.25	3.03	2.61	3.28	3.0	2.5	3.25	2.98	2.73	3.16	2.99	2.75	3.5	3.33	2.93	3.28	3.14	2.81	
MO _{ox} , %	1.61	1.61	1.5	2.61	2.35	1.84	2.59	2.28	1.99	2.73	2.5	2.28	2.4	2.24	2.04	2.5	2.58	2.26	2.54	2.38	2.06	
N _t , %	0.206	0.192	0.165	0.355	0.31	0.25	0.39	0.30	0.265	0.365	0.285	0.215	0.435	0.385	0.295	0.415	0.345	0.305	0.355	0.305	0.205	
P _{Olsen} , ppm	11.8	8.18	7.91	12.3	10.1	8.5	13.1	11.8	11.6	12.1	8.9	12.7	12.3	9.2	9.8	9.97	11.2	10.8	12.1	10.2	11.4	

Profundidad (cm); MO_t: materia orgánica total; MO_{ox}: materia orgánica oxidable; N_t: nitrógeno total

Tabla 6.- Evolución de la composición físico-química del suelo (conjunto de las tres profundidades)

Dosis, t ha ⁻¹	Convencional							Inyección					
	0	80	105	130	et	L	C	80	105	130	et	L	C
pH	5.5	5.48	5.41	5.51	0.022	NS	NS	5.25	5.48	5.41	0.023	NS	NS
MO _t , %	2.07	2.79	2.78	2.83	0.064	***	NS	2.82	3.01	2.90	0.07	***	NS
MO _{ox} , %	1.60	2.14	2.16	2.28	0.054	***	NS	2.14	2.27	2.21	0.052	NS	NS
N _t , %	0.184	0.287	0.276	0.25	0.01	***	NS	0.32	0.32	0.26	0.011	***	***
P _{Olsen} , ppm	9.56	11.01	12.36	11.85	0.28	***	NS	10.73	11.09	12.3	0.27	***	NS

L: efecto lineal; C: efecto cuadrático; *** P<0.001; NS: no significativo; et: error típico de la media

Tabla 7.- Análisis de varianza

	pH	MOt	MOox	Nt	P
Año	*	***	***	***	***
Sistema	*	NS	NS	*	NS
Dosis	NS	NS	NS	**	*
Profundidad	NS	***	***	***	*
Año x Sistema	NS	NS	NS	NS	NS
Año x Dosis	NS	NS	NS	NS	NS
Año x Profundidad	NS	NS	NS	NS	NS
Sistema x Dosis	**	NS	NS	NS	NS
Sistema x Profundidad	NS	NS	NS	NS	NS
Dosis x Profundidad	NS	NS	NS	NS	NS
Año x Sistema x Dosis	NS	NS	NS	NS	NS
Año x Sistema x Profundidad	NS	NS	NS	NS	NS
Año x Sistema x Dosis x profundidad	NS	NS	NS	NS	NS

3.2. Nitrógeno

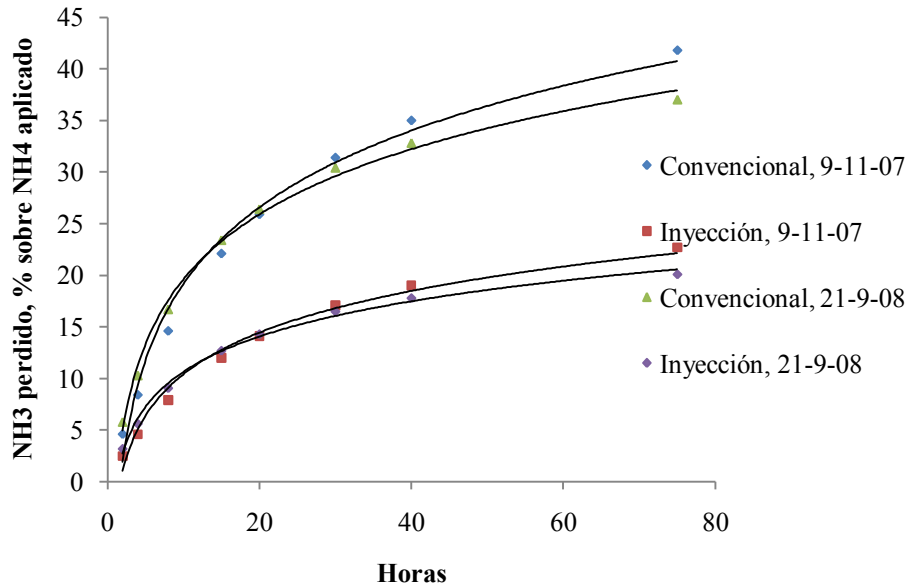
El aumento de la dosis de purín incrementó significativamente la concentración de nitrógeno en el suelo ($P < 0.01$) y, $P < 0.05$ el sistema de aplicación; disminuyendo en ambos casos ($P < 0.001$) con la profundidad. Sin diferencias significativas en la interacción año x sistema x dosis x profundidad (Tabla 7).

La concentración de N del suelo de la pradera no fertilizada se mantiene constante desde el inicio al final de la experiencia, con porcentajes medios de 0.167% a 0.175% en el primer y segundo año respectivamente. Por el contrario, aumentó un 70% en convencional y 75% en inyección con la aplicación de purín en ambos sistemas. Los mayores se registraron al final del primer año, tanto en convencional como en inyección, con aumentos medios del 42% y 75% respectivamente; mientras al inicio y final del segundo año son del 12% y 23%. Posiblemente, las diferencias entre sistemas tengan su origen en las pérdidas de amoníaco durante la aplicación en el convencional (Pain y Misselbrook, 1997). Así por ejemplo, para aplicaciones de 105 t ha^{-1} de purín en convencional o inyección, las pérdidas de NH_4^+ en forma de NH_3 en el tiempo vienen representadas en la Figura 9, observándose mayores pérdidas en convencional.

Las diferencias de amoníaco entre las dos aplicaciones en convencional (9-11-07 y 21-9-08) son atribuidas a la mayor exposición del purín al aire. Las superiores pérdidas de N se producen en las primeras 20-30 horas después de su aplicación en ambos sistemas, con valores medios de 26 y 31% en convencional y 14.2 y 16.8% en inyección respectivamente (Figura 9). Estos porcentajes representan diferencias del 45.6 y 45.8% entre sistemas a los mismos intervalos horarios. Autores como Reitz *et al.* (1999) señalan pérdidas de amoníaco de 1% al 100% del amonio aplicado. Otros como Sommer *et al.* (1991) y Thompson *et al.* (1990), han observado que la velocidad del

viento durante la aplicación incrementa las pérdidas de amoníaco, aumentando ampliamente por encima de 2.5 m s^{-1} (Sommer *et al.*, 1991).

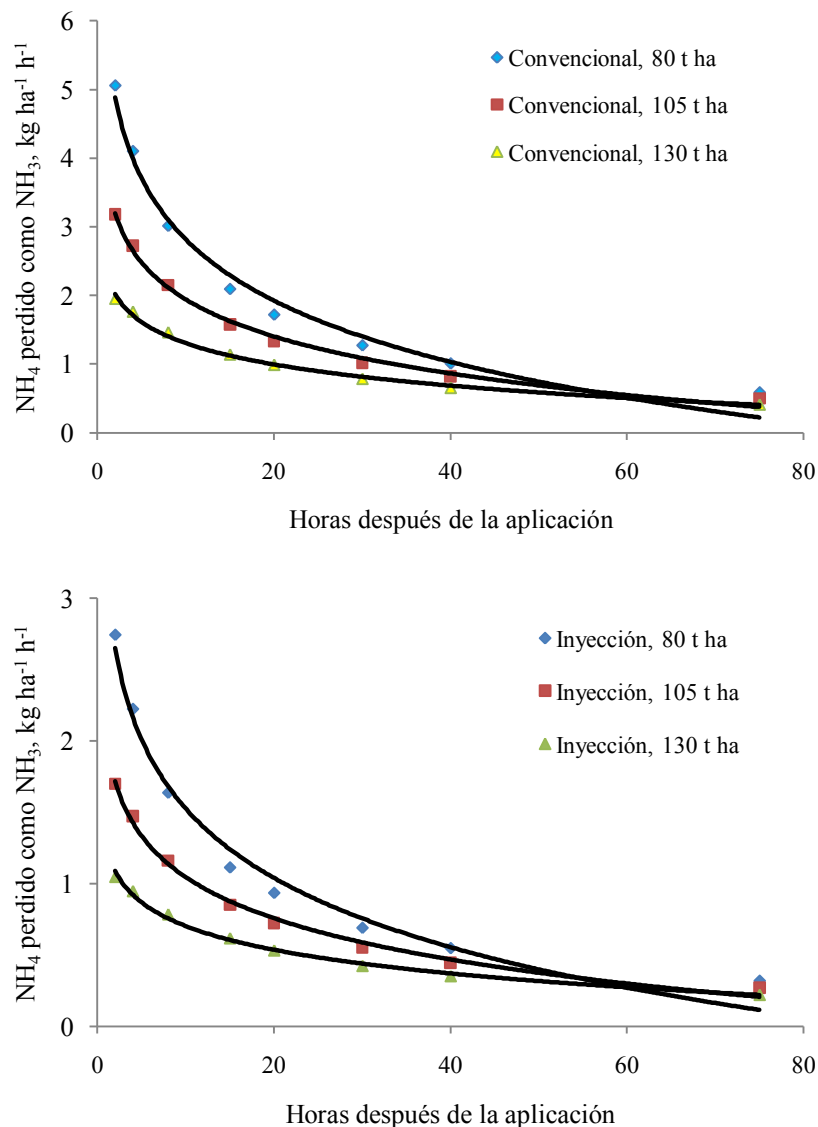
■ ■ ■ **Figura 9.- Pérdidas de amoníaco (%) en el tiempo**



	9-11-07	21-09-08
MS purín, %	6.5	4.33
N, g kg^{-1}	0.6	2.21
NH_4 , g kg^{-1}	0.228	0.92
Temperatura aire, $^{\circ}\text{C}$	12	17.4
Velocidad aire, m s^{-1}	1.8	2.2
Purín, t ha^{-1}	80, 105 y 130	80, 105 y 130
N, kg ha^{-1}	49, 65 y 80	168- 220 y 273

Thompson *et al.* (1990) señalan que el porcentaje de NH_4^+ perdido como NH_3 es inversamente proporcional a la dosis de aplicación. Semejantes relaciones son observadas en el presente trabajo para aplicaciones en convencional, Figura 10. En Holanda, aplicaciones de 30 a 90 t ha^{-1} la pérdida de NH_3 a lo largo de 4 días es del 57 y 36% del NH_4^+ aplicado (Lockyer *et al.*, 1989).

Figura 10.- Tasa de NH_4^+ perdido en forma de NH_3 por ha^{-1} y hora en convencional e inyección



El contenido de materia seca del purín es la variable más relacionada con la tasa de infiltración en el suelo (Sommer y Olesen, 1991; Smith y Chambers, 1995). Cuando el purín se reparte sobre la superficie, éste se seca aumentando el pH, convirtiéndose rápidamente el amonio (NH_4^+) en amoníaco (NH_3), fácilmente perdido a la atmósfera.

En el presente experimento el contenido de NH_4^+ del suelo medido durante tres días consecutivos de la segunda aplicación (21-9-08) en los tres tratamientos (testigo, convencional e inyección), se observó una mayor retención en el suelo cuando es aplicado mediante inyección (Figura 11). En términos porcentuales, representa aumentos de 12.4, 17.9 y 28.6% en convencional y 17.5, 41.3 y 81% en inyección para las dosis de 80, 105 y 130 t ha^{-1} de purín respectivamente (Figura 12). En cualquier

caso, la menor dosis en inyección es similar a la intermedia en convencional. Esto es interesante porque las plantas utilizan NH_4^+ y NO_3^- , permitiéndoles mayor disponibilidad de nitrógeno. Además, la planta puede reducir el NO_3^- absorbido a la forma de NH_4^+ , transformándose posteriormente en amino (NH_2), quedando así en una forma apropiada para la formación de proteínas o sustancias similares.

Figura 11.- Evolución en el tiempo del contenido en amonio del suelo

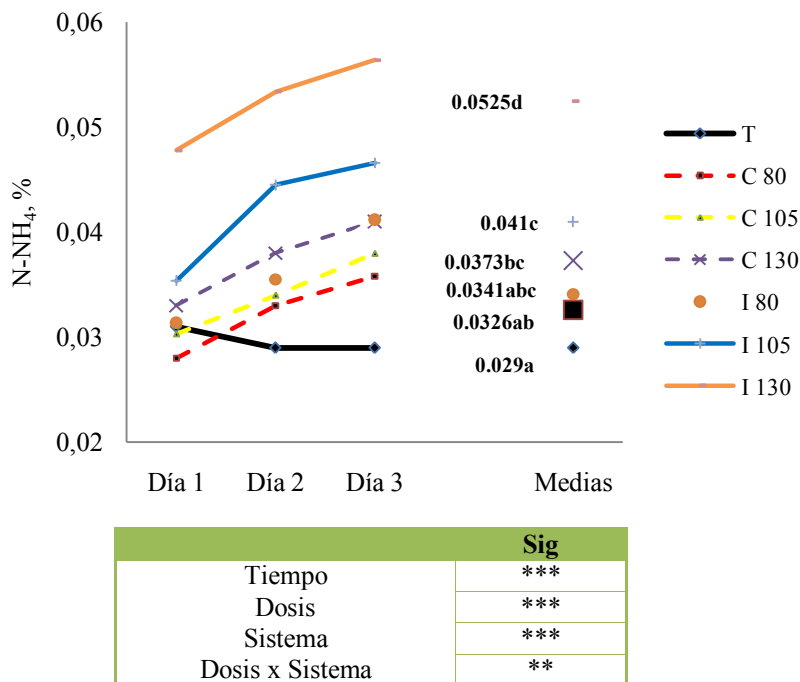
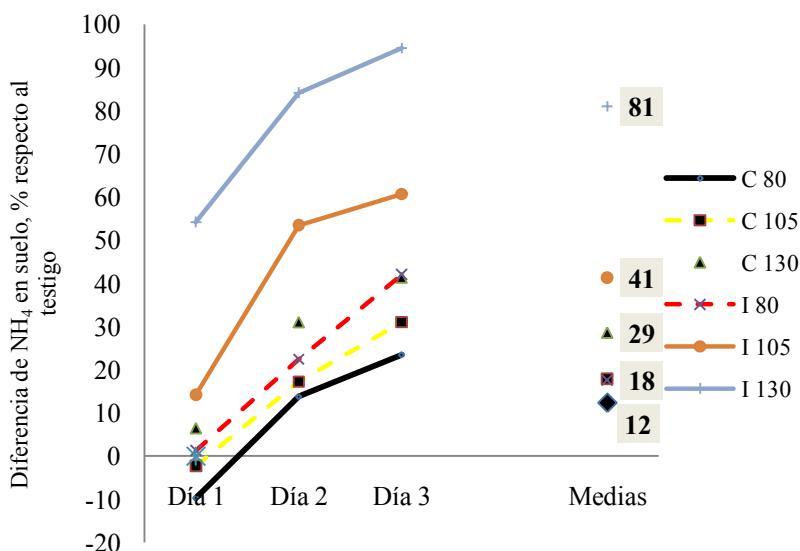


Figura 12.- Contenido en amonio del suelo respecto al testigo, %



Una de las propiedades que influyen sobre la infiltración del NH_4^+ en el suelo y, la posterior pérdida de NH_3 después de aplicar el purín, es la capacidad de intercambio catiónico (Sommer *et al.*, 2003). Esta se define como la suma de cationes cambiabiles que un suelo puede absorber (Brady y Weil, 2002). El NH_4^+ absorbe a las partículas de

carga negativa del suelo (principalmente arcillas), reduciendo el transporte de N en el suelo. El pH del purín y la humedad del suelo son otros factores que influyen sobre la pérdida de NH_3 (Sommer *et al.*, 2003).

La revisión de Sommer y Hutchings (2001) señalan entre otros, los factores más importantes que afectan a la volatilización del NH_3 : 1) la concentración de NH_3 del purín en superficie, 2) la transferencia de NH_3 a la atmósfera desde la superficie, 3) área de purín expuesto al aire y, 4) el momento que el purín se expone al aire. Con una buena inyección, la zona y tiempo de exposición del purín las pérdidas pueden minimizarse y, por lo tanto, la influencia de los grupos 1 y 2 también pueden ser reducidas. La concentración de NH_3 en la superficie del líquido es principalmente una función de la sustancia química y de las condiciones físicas del purín. Temperatura, contenido de materia seca, pH y NH_4^+ son factores importantes (Sommer *et al.*, 1991; Bussink *et al.*, 1994; Svensson, 1994 y Vandre y Clemens, 1997; Misselbrook, *et al.*, 2002). La transferencia de NH_3 al aire desde la superficie es básicamente una función de las condiciones meteorológicas locales, como velocidad del viento y temperatura (Sommer y Hutchings, 2001). La precipitación reduce las pérdidas de NH_3 en un 50%, porque el NH_4^+ se disuelve fácilmente en el agua. Sommer y Jacobsen (1999) estudiaron la influencia de la humedad del suelo la infiltración del NH_4^+ y volatilización del NH_3 en terrenos limosos con arena gruesa, concluyendo que los suelos con bajos contenidos de agua la infiltración de líquidos y lodos mejoran.

4. Conclusiones parciales

La aplicación de purín mejora el contenido de N y P del suelo. El sistema de inyección incrementa la concentración de N en el suelo, reduciendo las emisiones de amoníaco alrededor del 50%, aumentando el NH_4 retenido en el suelo, lo que proporciona mayor disponibilidad de N a las plantas.

Utilización del purín en praderas

Eficiencia de utilización del N y P

G. Salcedo



EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL N Y P

Salcedo, G.

Resumen

Abstract

1. Introducción

2. Resultados y discusión

2.1. Producción de materia seca, N y P

2.2. Eficiencias

2.2.1. Concentración de N en el forraje

2.2.2. Índice de nutrición nitrogenada

2.2.3. Utilización del N en praderas

2.2.4. Utilización del P en praderas

2.2.5. Relación N:P y valor crítico

2.3. Composición química de la hierba

2.3.1. Variaciones en el tiempo, sistema de aplicación y dosis de purín

2.3.2. Variaciones respecto a condiciones climáticas

3. Conclusiones

4. Bibliografía

Resumen

En este trabajo se estudian los efectos en el tiempo sobre la producción, eficiencia de utilización del N y P y composición química de la hierba de prado formada por *Lolium perenne* and *trifolium pratense*, fertilizada con purín a la dosis de 0, 80, 105 y 130 t ha⁻¹ con dos sistemas de aplicación (convencional e inyección superficial), de los dos primeros cortes para ensilado (mayo-junio y julio) aprovechada en cuatro momentos entre cortes, en un diseño experimental de parcelas divididas.

La producción final de materia seca (suma del primer y segundo corte) fue de 6668±2487, 8550±3105, 9273±3098 kg ha⁻¹ el testigo (T), convencional (C) e inyección (I) respectivamente, con diferencias significativas entre dosis de purín y años (P<0.001). Las extracciones de N y P difieren entre dosis, años y sistema de aplicación (P<0.001), con rendimientos medios entre sistemas de 99-16, 134-20.5 y 150-23.4 kg ha⁻¹ en T, C e I respectivamente.

El menor contenido de N y P del purín aplicado en el primer año (0.64 y 0.37 g kg⁻¹) y 2.13 y 0.44 g kg⁻¹ en el segundo año ocasionó aportes diferentes. Esto causó diferentes eficiencias de N y P, mayores en el primer año 1.47 y 1.51 kilogramos de N del forraje por kilogramo de N aplicado en el convencional e inyección y 0.064 y 0.041 kg kg⁻¹ el segundo en los mismos sistemas. De igual forma ocurrió con el fósforo, obteniéndose mayores respuestas en el primer año.

La extracción de N manifestó buena correlación con la del P (r²=0.88), tanto para el testigo (r²=0.92), convencional (r²=0.88) e inyección (r²=0.88). La concentración de N del forraje descendió al aumentar la producción de materia seca: N_{crítico} (g kg⁻¹) = 26.9 MS (t ha⁻¹)^{-0.296} r²=0.43.

Entre el N_{actual} (observado) y el N_{crítico} (estimado) a las dosis de purín ensayadas, no se observaron diferencias significativas con valores medios de 21.6, 21.8, 21.9, y 23.1, g N kg⁻¹ de materia seca el actual y 21.2, 22.5, 21.3 y 21.3 el crítico para aplicaciones de 0, 80, 105 y 130 t ha⁻¹ respectivamente, pero sí, P<0.001 entre años, con concentraciones medias de 24 y 20.2 g N kg⁻¹ de materia seca en el 2008 y 21.1 y 22.1 g N kg⁻¹ MS en el 2009. Las curvas de dilución del N respecto al sistema de aplicación presentan diferentes bases y exponentes:

$$\text{Testigo} = 24.4 \text{ MS}^{-0.344}, r^2=0.64$$

$$\text{Convencional} = 27.07 \text{ MS}^{-0.326}, r^2=0.45$$

$$\text{Inyección} = 28.5 \text{ MS}^{-0.294}, r^2=0.44$$

y diferente entre dosis:

$$80 \text{ t ha}^{-1} = 29.1 \text{ MS}^{-0.288}, r^2=0.40$$

$$105 \text{ t ha}^{-1} = 26.78 \text{ MS}^{-0.323}, r^2=0.51$$

$$150 \text{ t ha}^{-1} = 27.7 \text{ MS}^{-0.33}, r^2=0.45$$

El 3ndice de nutrici3n nitrogenada (INN) descendió al aumentar los d3as de cultivo ($P<0.001$), obteniéndose valores medios diarios de -0.004 para 0 y 130 t ha^{-1} de pur3n y -0.006 para 80 y 105 t ha^{-1} . En todos los casos el INN se mantuvo pr3ximo a 1, considerado como adecuado nivel nutricional.

La eficiencia del uso del N (NUE) increment3 en el tiempo ($P<0.001$), con valores medios de 8.3 y 26.6 kg de materia seca por kg^{-1} de N en el 1º y 4º aprovechamiento del primer corte y, diferentes entre sistemas de aplicaci3n, 22.9 y 7.7 en convencional y 30.4 y 9.01 la inyecci3n. Las extracciones de N y para las dosis ensayadas son de 24.2% , 29.2% y 51.5% en convencional y 32% , 42% y 77% en inyecci3n para aplicaciones de 80 , 105 y 130 t ha^{-1} de pur3n respectivamente. Estas eficiencias representan 34.9% en convencional y 50% en inyecci3n para aportaciones medias de 143 kg N ha^{-1} a3o.

La eficiencia de consumo de f3sforo (PUpE) tambi3n increment3 en el tiempo, con m3nimos de 0.036 kg kg^{-1} en el primer aprovechamiento a m3ximos de 0.087 kg kg^{-1} en el cuarto en convencional y 0.051 a 0.124 kg kg^{-1} en inyecci3n. En el segundo corte, la eficiencia es menor, 0.031 y 0.063 kg kg^{-1} en convencional e inyecci3n para el cuarto aprovechamiento respectivamente.

La composici3n qu3mica del forraje var3a conforme lo hace el tiempo, para todos los par3metros analizados y estimados.

A las dosis ensayadas, la aplicaci3n de 80 t ha^{-1} en inyecci3n se obtiene los mismos efectos que 130 t ha^{-1} en convencional.

Palabras clave: pur3n, convencional, inyecci3n, composici3n qu3mica, eficiencia, materia seca

Abstract

In this paper we study the temporal effects on production, utilization efficiency of N and P and chemical composition of meadow grass formed by *Lolium perenne* and *trifolium pratense*, fertilized with manure at a dose of 0, 80, 105 and 130 t ha⁻¹ and two application systems (conventional and superficial injection), the first two silage cuts (from May to June and July) harvested at four time between cuts, in an experimental design of split plot.

Final production of dry matter (sum of the first and second cut) was 6,668±2,487, 8,550±3,105, 9,273±3,098 kg ha⁻¹ the control (T), conventional (C) and injection (I) respectively, with significant differences between doses of manure and years (P<0.001). Samples of N and P differ between doses, years and enforcement system (P<0.001), with average yields between 99-16 systems, 134-20.5 and 150-23.4 kg ha⁻¹ in T, C and I.

The lower content of N and P in manure applied in the first year (0.64 and 0.37 g kg⁻¹) and 2.13 and 0.44 g kg⁻¹ in the second year resulted in different contributions. This led to efficiencies of N and P different, higher in the first year of 1.47 and 1.51 kg of N per kilogram of forage N applied in the conventional injection and 0.064 and 0.041 kg kg⁻¹ the second in the same systems. Likewise occurred with phosphorus, resulting in higher responses in the first year.

Removal of N indicated good correlation with that of P (r²=0.88) for both the control (r²=0.92), conventional (r²=0.88) and injection (r²=0.88). The forage N concentration decreased with increasing dry matter production: N critical (g kg⁻¹) = 26.9 MS (t ha⁻¹) -0,296 r²=0.43.

Between N_{present} (observed) and N_{critical} (estimated) at doses of liquid manure tested, no significant differences were observed with mean values of 21.6, 21.8, 21.9, and 23.1 g N kg⁻¹ dry matter and 21.2 the present, 22.5, 21.3 and 21.3 the critical applications of 0, 80, 105 and 130 t ha⁻¹ respectively, but yes, P <0.001 between years, with mean values of 24 and 20.2 g N kg⁻¹ dry matter in 2008 and 21.1 and 22.1 g N kg⁻¹ DM in 2009. Dilution curves of N application on the system have different bases and exponents:

$$Witness = 24.4 DM^{-0.344}, r^2 = 0.64$$

$$Conventional = 27.07 DM^{-0.326}, r^2 = 0.45$$

$$Injection = 28.5 DM^{-0.294}, r^2 = 0.44$$

and different between doses:

$$80 t ha^{-1} = 29.1 DM^{-0.288}, r^2 = 0.40$$

$$105 t ha^{-1} = 26.78 DM^{-0.323}, r^2 = 0.51$$

$$150 t ha^{-1} = 27.7 DM^{-0.33}, r^2 = 0.45$$

The nitrogen nutrition index (NNI) decreased with increasing days of culture (P<0.001), obtaining the daily average values of -0004 to 0 and 130 t ha⁻¹ of manure and -0006 for 80 and 105 t ha⁻¹. In all cases NNI remained close to 1, considered as adequate nutritional level.

The N use efficiency (NUE) increased over time (P<0.001), with mean values of 8.3 and 26.6 kg of dry matter per kg⁻¹ of N in the 1st and 4th use the first cut and between

different systems application, 22.9 and 7.7 in conventional injection 30.4 and 9.01. The amounts of N extracted by the meadow and the doses tested were 24.2%, 29.2% and 51.5% in conventional and 32%, 42% and 77% by injection for applications 80, 105 and 130 t ha⁻¹ manure respectively. These efficiencies represent 34.9% in conventional and 50% in average contributions injection to 143 kg N ha⁻¹ year.

The intake efficiency of phosphorus (PUPE) also increased over time, with minimum of 0.036 kg kg⁻¹ in the first use a maximum of 0.087 kg kg⁻¹ in the room in conventional and 0.051 to 0.124 kg kg⁻¹ injection. In the second cut, the efficiency is lower, 0.031 and 0.063 kg kg⁻¹ injection in conventional use for the fourth respectively. The chemical composition of forage varies as does the time for all parameters analyzed and estimated.

At the doses tested, application of 80 t ha⁻¹ injection is obtained the same effect as 130 t ha⁻¹ in conventional.

Keywords: slurry, conventional, injection, chemical composition, dry matter, efficiency.

1. Introducción

La distribución de purín en la superficie lleva consigo inevitables pérdidas de amoníaco, reduciéndose ampliamente cuando es inyectado (Thompson *et al.*, 1987). En comparación con el sistema convencional, la inyección minimiza las pérdidas por escorrentía (Ross *et al.*, 1979); mejora la calidad del forraje (Kempainen, 1986); el rechazo de forraje en pastoreo es menor (Pain y Broom, 1978); mejora la utilización del N por reducirse las pérdidas de amoníaco (Van Der Meer *et al.*, 1987; Huisman *et al.*, 1997) y disminuyen los olores (Philips *et al.*, 1990). Por el contrario, la inyección de purín en las praderas no siempre es posible, factores como tipo de suelos, topografía, inversión en equipos, etc., lo dificultan. Por ejemplo, en los Países Bajos que la inyección es solo factible en el 33% de los pastizales (Wadman, 1988).

La creciente importancia de reducir las pérdidas de amonio, dieron lugar a técnicas de aplicación del purín en bandas e inyección superficial con simple o doble disco que eviten los inconvenientes de la inyección profunda, garantizando un mínimo de amoníaco volatilizado.

El equipamiento, distribución y optimización del purín ha mejorado significativamente en los últimos años. Sin embargo, estudios recientes han señalado que la producción de praderas y la ganadería lechera intensiva particularmente presenta baja eficiencia en el uso del nitrógeno (Davies, 2000; Jarvis 2000; Jarvis y Aarts, 2000).

La utilización del N en praderas a siega suele ser mayor que los de pastoreo, e incluso con aplicaciones de hasta 400 kg ha⁻¹ (Prins, 1980) y menores pérdidas por lixiviados después de la siega (Simmelsgaard, 1998). En cambio, la gestión del pastoreo intensivo por vacas lecheras tiene un marcado efecto en el ciclo del N, aumentando la pérdida potencial de manera espectacular (Jarvis, 2000). Esto es debido a que los rumiantes excretan del 75 al 95% del N total ingerido (Whitehead, 1995), depositándose directamente en el campo durante el pastoreo, perdiéndose gran parte en forma de amoníaco.

El manejo del nitrógeno es esencial para el crecimiento de los cultivos, además, tiene el doble objetivo de mejorar la producción y minimizar el impacto medioambiental. El fósforo es otro macronutriente esencial en todos los organismos biológicos (Fox, 1993; Sharpley y Rekolainen, 1997). Su exceso, contribuye a incrementar los procesos de eutrofización en los sistemas acuáticos (Tanner *et al.*, 1995). La eutrofización se produce cuando las aguas de superficie están enriquecidas con nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, estimulando el crecimiento de

plantas y algas, que posteriormente mueren y durante los procesos de descomposición se reduce la concentración de oxígeno (Jeffrey, 1998). Desde el comienzo de la eutrofización, gran parte de la investigación se ha centrado en la comprensión de los procesos de regulación del P en los sistemas de agua dulce como lagos y ríos (Li *et al.*, 1972; Schindler 1977; Holdren y Armstrong, 1980; Fox, 1993; Goltermann, 2001). Posteriormente, tecnologías asociadas a sistemas de gestión han sido diseñadas para prevenir o mitigar la pérdida de fósforo, reduciendo los procesos de eutrofización en las aguas superficiales.

La inyección de purín reduce las pérdidas por volatilización de NH_3 , incrementando la utilización del N; pero también aumenta las pérdidas por desnitrificación (de Kelin *et al.*, 1996).

El manejo nutritivo de las plantas requiere conocer el N y P disponible proporcionado por la aplicación de purín. Recientes investigaciones han mostrado el interés de la utilización del N y P del purín como un subproducto, atribuido a factores económicos de los fertilizantes inorgánicos; incremento de la disponibilidad del N del purín; mayores beneficios medioambientales desde la pérdida de amoníaco y nitratos y mejores técnicas de equipamiento para su distribución.

El objetivo de este capítulo se centra en analizar las respuestas productivas, eficiencias de utilización del N y P del purín con dos sistemas de aplicación (convencional o inyección), así como la composición química del forraje.

2. Resultados y discusión

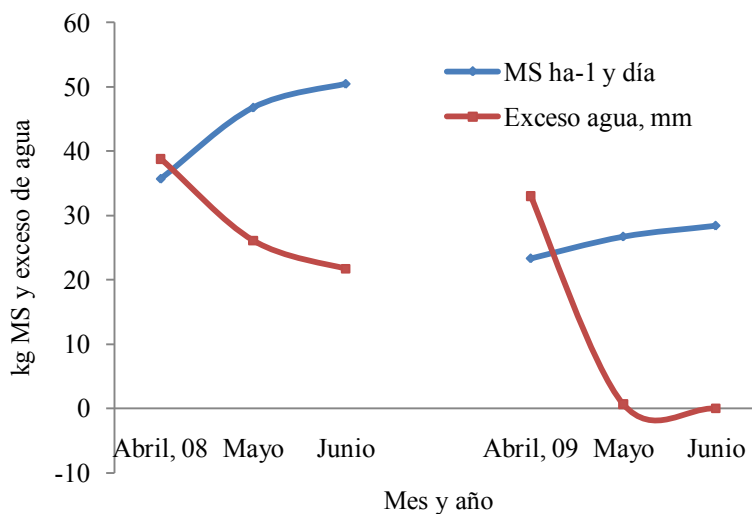
2.1. Producción de materia seca, nitrógeno y fósforo

El análisis de medidas repetidas en el tiempo (MRT) manifestó aumentos de producción de materia seca conforme avanza el estado de madurez ($P < 0.001$), observándose diferencias significativas entre sistemas de aplicación y dosis ($P < 0.001$). Por el contrario, la producción final (suma de los cortes, mayo-junio y julio) no difiere entre el sistema convencional e inyección y dosis de purín (Tabla 1), aunque numéricamente mayor en este último ($723 \text{ kg MS ha}^{-1}$), e independientemente de la dosis de purín aplicada. Este valor medio se distribuye entre 736, 638 y $795 \text{ kg MS ha}^{-1}$ para 80, 105 y 130 t ha^{-1} de purín respectivamente.

En cualquier caso, la producción media interanual en el testigo, convencional e inyección es de 6668 ± 2487 , 8550 ± 3105 y $9273 \pm 3098 \text{ kg MS ha}^{-1}$ respectivamente. Entre años, la mayor producción se registró en el primero, con rendimientos medios de 11408 ± 1261 y $5774 \pm 770 \text{ kg MS ha}^{-1}$ el segundo, independientemente del sistema de aplicación y dosis. Estas diferencias entre años son atribuidas al reparto desigual de las precipitaciones y temperatura.

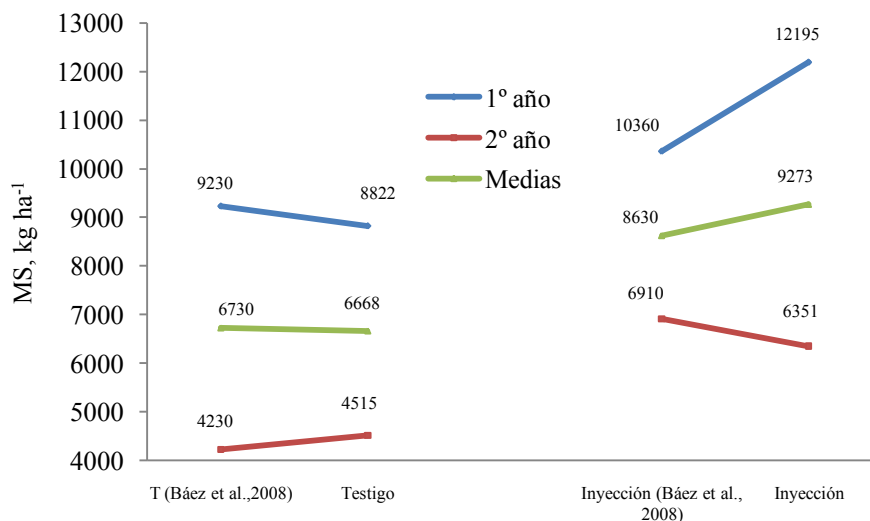
Durante los meses de septiembre a diciembre del año 2008 se acumuló un total de 781 L m^2 y una temperatura media de $9.24 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras, en el mismo período del 2007 fueron de 199 L m^2 y $13.3 \text{ }^\circ\text{C}$. La alta pluviometría y temperatura media inferior del año 2008, pudiera haber ocasionado pérdida de nutrientes por lixiviación. Además, la primavera del año 2008 fue más abundante en precipitaciones que la del 2009 (Figura 2, ver apartado material y métodos del Capítulo 13 “*Movimiento de N y P en el suelo*”), donde el exceso de agua en este último año fue negativo durante los meses de máximo crecimiento de hierba y positivo, en los mismos meses del año 2008. La Figura 1 representa la diferencia de crecimiento de la hierba ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}$) respecto al exceso de agua durante los meses de abril, mayo y junio del primer corte en ambos años.

Figura 1.- Diferencias en el crecimiento de la hierba respecto al balance de agua en el suelo



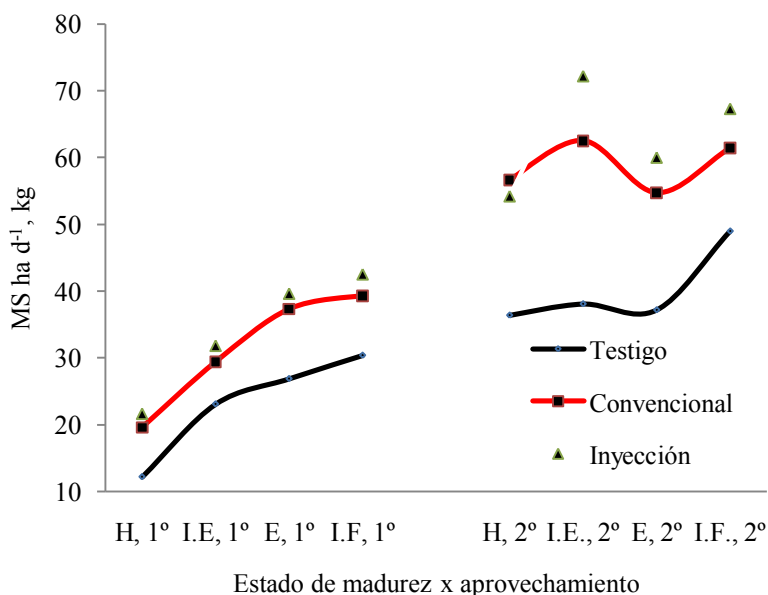
Los trabajos de fertilización en Galicia sobre praderas de nueva implantación sembradas de raigrás inglés, trébol blanco y trébol violeta (Báez *et al.*, 2008), con aportaciones de 260 y 220 kg de N ha⁻¹ de nitrato amónico cálcico o 299 y 259 kg N ha⁻¹ en forma de purín aplicado en bandas e inyección durante dos años y, repartidos en tres aplicaciones por año, obtienen producciones de materia seca anuales de 12.1-7.32; 15.4-13.6; 14.2-11.1 y 13.9-11.1 toneladas por hectárea para la pradera sin fertilizar, la fertilizada con nitrato amónico cálcico y con purín respectivamente. La suma de materia seca del primer corte (mayo-junio) y segundo (julio) es de 9.23-4.23 t ha⁻¹ sin fertilizante; 11.8-9.5 t ha⁻¹ con nitrato amónico cálcico; 10.5-6.74 t ha⁻¹ con purín aplicado en bandas y 10.3-6.9 t ha⁻¹ en inyección respectivamente (Figura 2).

Figura 2.- Diferencias de producción entre el testigo y la inyección (Báez *et al.*, 2008)



A los intervalos de tiempo muestreado, el crecimiento de materia seca para el testigo, convencional e inyección viene representado en la Figura 3, obteniéndose producciones medias de 23.1 ± 9.4 , 31.4 ± 11.6 ; 33.9 ± 12 kg MS ha⁻¹ día en el primer corte y 49 ± 23.5 , 61.4 ± 24 y 63.4 ± 21 kg el segundo, sin diferencias significativas entre estos dos últimos.

Figura 3.- Crecimiento de materia seca, kg ha⁻¹ día entre estados de madurez y cortes (1º y 2º)



H: hojoso; **I.E.:** inicio espigado; **E:** espigado; **I.F.:** Inicio floración

Independientemente de la dosis y sistema de aplicación, la máxima acumulación de materia seca por hectárea y día se registró entre los estados hojosos (H) e inicio del

espigado (IE), con valores medios de 10.1 kg MS; 7.26 kg entre el inicio del espigado y el espigado (E) y 2.65 kg MS ha⁻¹ día entre este último y floración (Figura 3).

La Figura 4 representa los crecimientos diarios de MS ha⁻¹ y día para cada uno de los cuatro aprovechamientos (Tabla 4, “*Capítulo Movimiento de N y P en el suelo*”) dentro de los dos cortes (mayo-junio y julio), según el sistema de aplicación y dosis de purín.

Figura 4.- Crecimientos de materia seca entre sistemas de aplicación y dosis

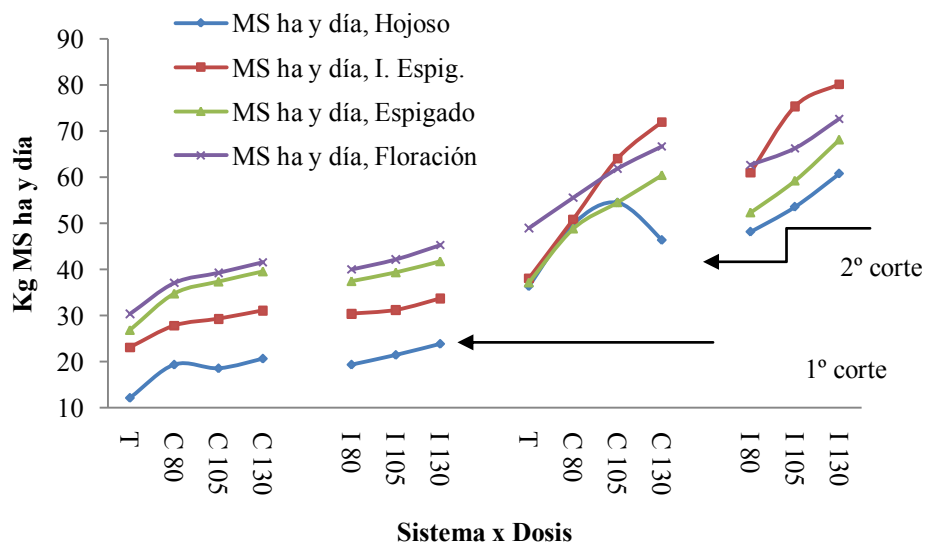


Tabla 1.- Producci3n de materia seca en el tiempo y final

	MS ₁	MS ₂	MS ₃	MS ₄	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	EM ₁	EM ₂	EM ₃	EM ₄	MOD ₁	MOD ₂	MOD ₃	MOD ₄
C80 ¹	2405	4077	6110	7964	69	94	102	123	7.3	11.7	14.5	19.3	25388	40032	59476	71420	1857	2501	3717	4465
C105 ¹	2360	4529	6647	8561	70	107	111	128	7.3	12.9	16.3	20.5	24598	44409	64309	78087	1539	2783	4017	4880
C130 ¹	2544	4894	7125	9126	72	118	136	150	7.6	12.8	18.3	21.7	26331	50270	69185	83478	1645	3141	4324	5218
L	NS	***	*	NS	***	NS	*	NS	***	***	**	NS	NS	***	*	NS	NS	***	*	NS
C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
I80 ¹	2309	4552	6584	8700	65	113	119	131	7.0	13.8	17.4	22.1	24330	46729	62999	80167	1512	2921	3937	5017
I105 ¹	2588	4935	7056	9199	75	127	126	141	7.9	13.5	19.1	21.8	26563	49669	67541	84068	1660	3104	4211	5254
I130 ¹	2916	5333	7693	9921	85	140	156	176	9.3	14.4	22.3	26.3	30087	54029	74935	90975	1880	3374	4648	5685
L	*	***	**	NS	***	**	***	**	***	***	***	NS	*	***	**	NS	**	***	**	NS
C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
T	1593	3256	4704	6668	46	75	80	99	4.9	8.8	11.2	15.8	16461	32670	45704	60031	1029	2042	2856	3752
et	137	131	317	617	1.28	6.25	5.29	7.7	0.31	0.48	0.98	1.58	1463	1148	2869	5436	91	31	179	340

	MS, kg ha ⁻¹	N, kg ha ⁻¹	P, kg ha ⁻¹	EM, MJ ha ⁻¹	MOD, kg ha ⁻¹
Tiempo	***	***	***	***	***
Dosis	***	***	***	***	***
Sistema	***	***	***	***	***
Año	***	***	***	***	***
S*A	***	NS	*	***	***
D*S	**	***	***	NS	NS
D*A	***	***	*	***	***
D*S*A	***	***	NS	***	***

C: convencional; **I:** inyecci3n; **T:** testigo; ¹: t ha⁻¹ de pur3n; **1,2,3,4:** hojoso, inicio espigado, espigado, inicio floraci3n; **MS:** materia seca, kg ha⁻¹; **N:** nitr3geno, kg ha⁻¹; **P:** f3sforo, kg ha⁻¹; **EM:** energ3a metabolizable, MJ ha⁻¹; **MOD:** materia org3nica digestible, kg ha⁻¹; **L:** efecto lineal; **C:** efecto cuadr3tico; **et:** error t3pico de la diferencia de medias; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; **NS:** no significativo

La producción de nitrógeno y fósforo por hectárea dentro de cada sistema de aplicación de los dos cortes para ensilado (mayo-junio y julio) son diferentes ($P < 0.001$), con extracciones medias de 99-16, 134-20.5 y 150-23.4 kg ha⁻¹ para el testigo, convencional e inyección respectivamente. En inyección, la mayor producción de N es atribuida a la menor pérdida de NH₃ discutido anteriormente. Los resultados de N aquí obtenidos son superiores a los señalados por Báez *et al.* (2008) en los mismos cortes (mayo-junio y julio), quienes señalan extracciones medias por hectárea de 73.2 kg de N para la pradera sin fertilizar y 92 kilogramos con purín inyectado. En cualquier caso, tanto en convencional como en inyección, e independientemente de la dosis de purín aplicada son similares a 136 kg de N ha⁻¹ cuando las praderas reciben 240 kg ha⁻¹ de nitrato amónico cálcico, frente a 143 kg en forma de purín como media de dos años en este experimento.

Entre dosis de purín, se observaron diferencias significativas de N y P, mayor a la dosis de 130 t ha⁻¹ ($P < 0.001$), con extracciones medias de 163-24 kg ha⁻¹, sin diferencias entre 80 y 105 t ha⁻¹ con rendimientos medios de 127-21 y 135-21 kg ha⁻¹ respectivamente.

La producción de nitrógeno y fósforo entre estados de madurez difiere según la dosis aportada y sistemas de aplicación. Para el N, la inyección manifestó mayor linealidad que en convencional (Tabla 1), sin efectos lineales el fósforo (Tabla 1) a partir del tercer aprovechamiento en ambos sistemas de aplicación. En cualquier caso, la mayor dosis de purín aplicado en convencional resultó similar a la intermedia (105 t ha⁻¹) en inyección para la producción final anual de N y P (Figura 5).

Para el conjunto de observaciones no se apreciaron relaciones significativas entre el aporte de N o P del purín y las extracciones de las plantas, imputable a la diferente concentración entre años (Tabla 2, material y métodos del Capítulo 13 “*Movimiento de N y P en el suelo*”). Sin embargo, dentro de cada año, las relaciones fueron significativas para el 4º aprovechamiento (Figuras 6 y 7), atribuidas a la diferente de producción, discutida anteriormente. No obstante, se observó una relación lineal entre las extracciones de N y P (kg ha⁻¹), con pendientes similares dentro de cada sistema de aplicación (Figura 8), aunque ligeramente superior en el testigo, posiblemente debido a la mayor proporción de leguminosas. En cualquier caso, cada kilogramo de N extraído en el forraje, son extraídos 0.20 kg de fósforo.

Figura 5.- Producci3n de N y P por hect3rea, sistema y dosis

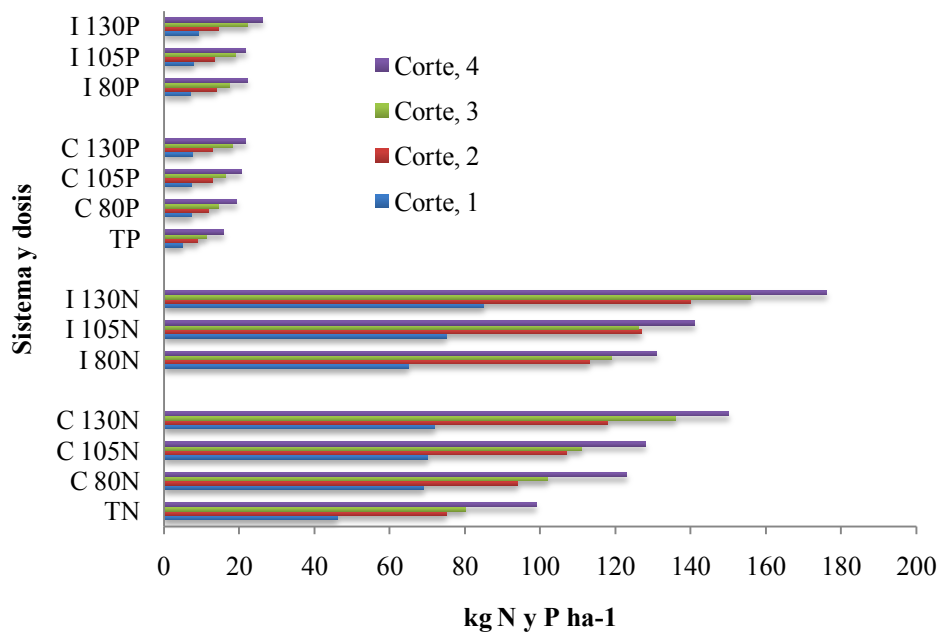
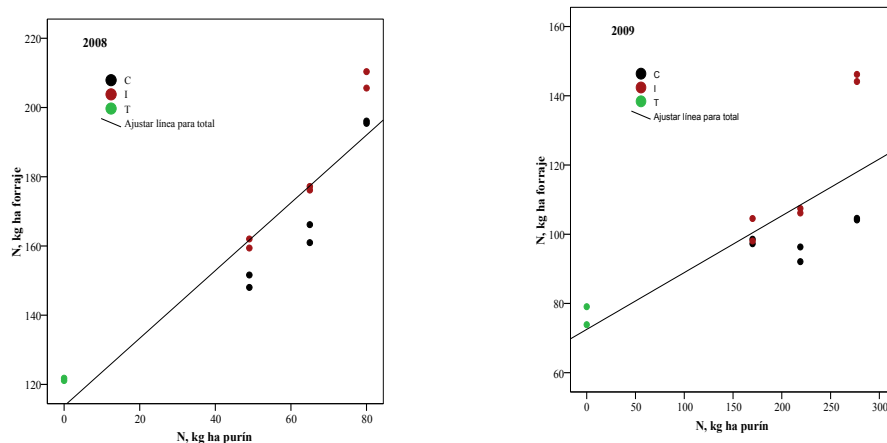


Figura 6.- Relaci3n entre las extracciones de N (kg ha^{-1}) y el aporte de N (kg ha^{-1}) (4º aprovechamiento)



Año 2008

$$N, \text{ kg ha}^{-1} (\text{Convencional}) = 74.3 (13.1) + 1.47 (0.19) \text{ kg N ha}^{-1} \text{ pur3n}; \pm 6.17 r^2=0.93$$

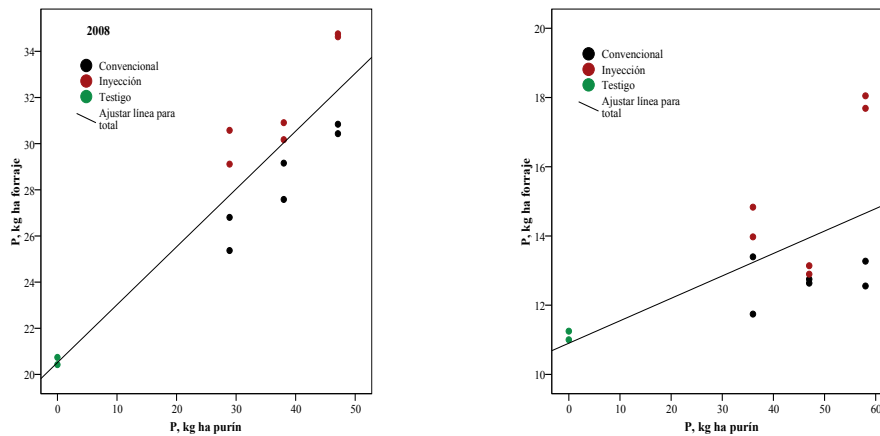
$$N, \text{ kg ha}^{-1} (\text{Inyecci3n}) = 83.5 (11.1) + 1.51 (0.16) \text{ kg N ha}^{-1} \text{ pur3n}; \pm 5.25 r^2=0.95$$

Año 2009

$$N, \text{ kg ha}^{-1} \text{ pur3n}; (\text{Convencional}) = 84.6 (8.7) + 0.064 (0.039) \text{ kg N ha}^{-1} \text{ pur3n}; \pm 4.15 r^2=0.40$$

$$N, \text{ kg ha}^{-1} \text{ pur3n}; (\text{Inyecci3n}) = 25.05 (18.5) + 0.41 (0.08) \text{ kg N ha}^{-1} \text{ pur3n}; \pm 8.7 r^2=0.86$$

Figura 7.- Relación entre las extracciones de P, kg ha⁻¹ y el aporte de P (4^o aprovechamiento)



Año 2008

$$P, \text{ kg ha}^{-1} (\text{Convencional}) = 18.8 (1.63) + 0.25 (0.04) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 0.76 \text{ } r^2=0.89$$

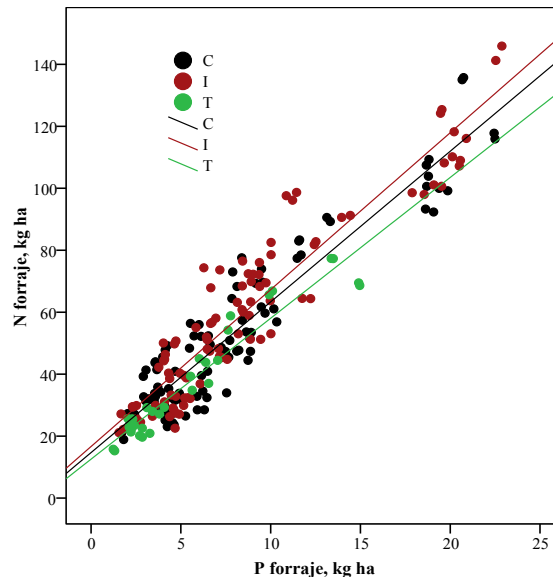
$$P, \text{ kg ha}^{-1} (\text{Inyección}) = 21.56 (2.45) + 0.266 (0.06) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 1.15 \text{ } r^2=0.81$$

Año 2009

$$P, \text{ kg ha}^{-1} \text{ purín}; (\text{Convencional}) = 11.9 (1.39) + 0.016 (0.029) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 0.63 \text{ } r^2=0.07$$

$$P, \text{ kg ha}^{-1} \text{ purín}; (\text{Inyección}) = 7.69 (3.9) + 0.158 (0.08) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 1.83 \text{ } r^2=0.47$$

Figura 8.- Relación entre la extracción de N y P, kg ha⁻¹



$$\text{Kg P forraje ha}^{-1} (\text{Conjunto}) = -1.62 (0.26) + 0.176 (0.004) \text{ Kg N forraje ha}^{-1}; \pm 1.82 \text{ } r^2=0.88$$

$$\text{Kg P forraje ha}^{-1} (\text{Testigo}) = -2.16 (0.43) + 0.20 (0.010) \text{ Kg N forraje ha}^{-1}; \pm 1.11 \text{ } r^2=0.92$$

$$\text{Kg P forraje ha}^{-1} (\text{Convencional}) = -1.7 (0.41) + 0.181 (0.007) \text{ Kg N forraje ha}^{-1}; \pm 1.84 \text{ } r^2=0.88$$

$$\text{Kg P forraje ha}^{-1} (\text{Inyección}) = -1.85 (0.44) + 0.174 (0.007) \text{ Kg N forraje ha}^{-1}; \pm 1.92 \text{ } r^2=0.88$$

2.2. Eficiencias

Maximizar la eficiencia del N aplicado representa reducir las pérdidas de N por lixiviación y desnitrificación (Adeli y Varco, 2001). El N recuperado en el forraje es un importante indicador de la eficiencia de utilización del N y refleja, el potencial relativo de N retenido o perdido en el suelo.

2.2.1. Concentración de N en el forraje

Como era de esperar la concentración de N disminuyó en el tiempo (Tabla 2), coincidente con Lamaire y Salette, (1984); Greenwood *et al.* (1990) y Marino *et al.* (2004). Sin embargo, la curva de dilución del nitrógeno (CDN) fue diferente entre años (Figuras 9 a, b), donde la ecuación general para el conjunto de datos es del tipo:

$$N_{crítico} (g\ kg^{-1}) = 26.9\ MS\ (t\ ha^{-1})^{-0.296}; \pm 0.22\ r^2=0.43 \quad [1]$$

Esta ecuación difiere de la señalada por Marino *et al.* (2004) en praderas jóvenes de $40.7\ MS\ (t\ ha^{-1})^{-0.379}$ y $37\ MS\ (t\ ha^{-1})^{-0.35}$ en praderas viejas (>4 años) (Gilles y Noura, 2008). Sin embargo, la concentración de N en el forraje presentó gran variabilidad a un nivel de materia seca acumulada, seleccionándose dos curvas para ilustrar dicha variación, $N_{mínimo} (<24)$ y $N_{máximo} >24\ g\ N\ kg^{-1}\ MS$:

$$N_{máx} (g\ kg^{-1}) = 23.3\ MS\ (t\ ha^{-1})^{-0.132}; \pm 0.13\ r^2=0.23 \quad [2]$$

$$N_{mín} (g\ kg^{-1}) = 31.6\ MS\ (t\ ha^{-1})^{-0.161}; \pm 0.13\ r^2=0.30 \quad [3]$$

Para las dosis de purín ensayadas, el análisis de varianza no manifestó diferencias significativas entre el N_{actual} (observado), 21.6, 21.8, 21.9 y 23.1 $g\ kg^{-1}\ MS$ y 21.2, 22.5, 21.3 y 21.3 $g\ kg^{-1}\ MS$ el $N_{crítico}$ para 0, 80, 105 y 130 $t\ ha^{-1}$; pero sí, ($P<0.001$) entre años el observado, con concentraciones medias de 24.0 y 20.2 $g\ N\ kg^{-1}\ MS$ y 21.1 y 22.1 $g\ N$ el estimado en los años 2008 y 2009 respectivamente, sin diferencias en la interacción año x dosis.

Las curvas de dilución del N entre sistemas de aplicación presentan diferentes bases y exponentes (Figura 10), lo que podría explicar el mayor contenido de N en inyección (Tabla 2) y producción de materia seca numérica, y la Figura 11 la concentración de N en relación a la producción de forraje según la dosis de purín aplicado referida a la curva de dilución del N crítico.

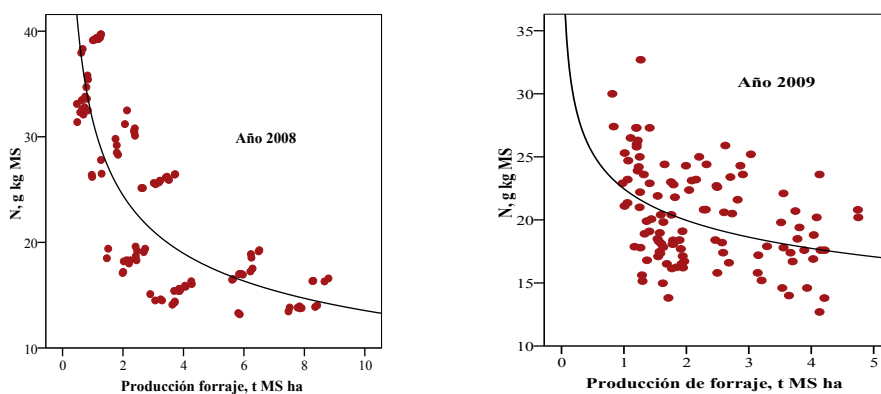
Tabla 2.- Concentración del N y P en el forraje, (% sobre materia seca)

	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
C80 ¹	3.07	2.38	1.67	1.64	0.318	0.287	0.238	0.242
C105 ¹	3.09	2.33	1.65	1.54	0.315	0.284	0.247	0.236
C130 ¹	2.98	2.34	1.91	1.66	0.31	0.262	0.255	0.232
L	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS
C	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS
I80 ¹	2.98	2.47	1.82	1.56	0.314	0.304	0.268	0.252
I105 ¹	3.06	2.52	1.79	1.58	0.318	0.274	0.271	0.23
I130 ¹	3.11	2.60	2.06	1.84	0.33	0.271	0.286	0.262
L	NS	NS	**	NS	NS	NS	***	NS
C	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
T	3.04	2.26	1.71	1.53	0.321	0.273	0.239	0.239
et	0.12	0.067	0.031	0.038	0.007	0.003	0.003	0.003

	Tiempo	Dosis	Sistema	Año	S*A	D*S	D*A	D*S*A
N, %	***	***	**	***	**	NS	NS	*
P, %	***	NS	***	***	NS	NS	NS	NS

C: convencional, I: inyección; T: testigo; ¹: t ha⁻¹ de purín; _{1,2,3,4}: hojoso, inicio espigado, espigado, inicio floración; MS: materia seca, kg ha⁻¹; N: nitrógeno, %; P: fósforo, %; L: efecto lineal; C: efecto cuadrático; et: error típico de la diferencia de medias; ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo;

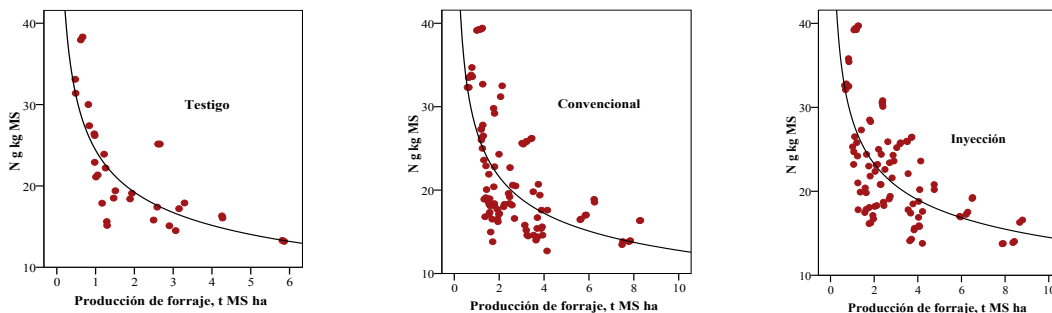
Figura 9.- Concentración de N en relación a la producción de forraje de cada año (2008, a y 2009, b) referidas a la curva de dilución del N crítico



$$2008, N_{\text{crítico}} (\text{g kg}^{-1}) = 31.5 \text{ MS } (\text{t ha}^{-1})^{-0.367}; \pm 0.21 \text{ } r^2=0.65$$

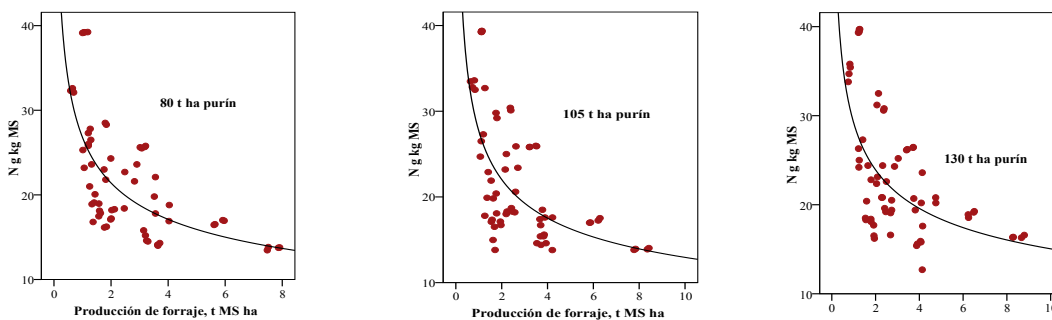
$$2009, N_{\text{crítico}} (\text{g kg}^{-1}) = 22.4 \text{ MS } (\text{t ha}^{-1})^{-0.16}; \pm 0.22 \text{ } r^2=0.43$$

Figura 10.- Concentración de N en relación a la producción de forraje según el tipo de aplicación referidas a la curva de dilución del N crítico



$$\begin{aligned} \text{Testigo, } N_{\text{crítico}} (\text{g kg}^{-1}) &= 24.4 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{-0.344}; \pm 0.17 \text{ } r^2=0.64 \\ \text{Convencional, } N_{\text{crítico}} (\text{g kg}^{-1}) &= 27.07 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{-0.326}; \pm 0.22 \text{ } r^2=0.45 \\ \text{Inyección, } N_{\text{crítico}} (\text{g kg}^{-1}) &= 28.5 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{-0.294}; \pm 0.21 \text{ } r^2=0.44 \end{aligned}$$

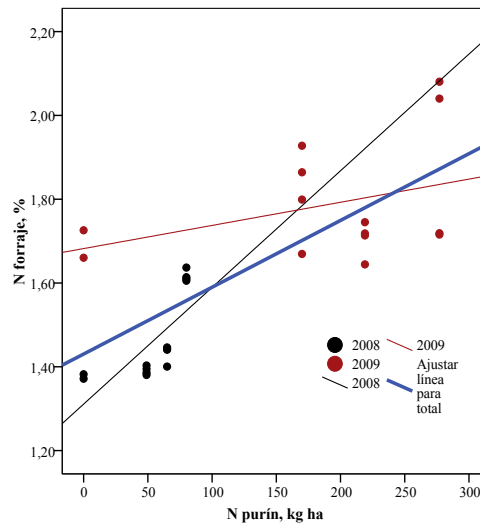
Figura 11.- Concentración de N en relación a la producción de forraje según la dosis de purín aplicado referida a la curva de dilución del N crítico



$$\begin{aligned} 80 \text{ t ha}^{-1}, N_{cr} (\text{g kg}^{-1}) &= 29.18 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{0.288}; \pm 0.21 \text{ } r^2=0.40 \\ 105 \text{ t ha}^{-1}, N_{cr} (\text{g kg}^{-1}) &= 26.78 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{-0.323}; \pm 0.20 \text{ } r^2=0.51 \\ 130 \text{ t ha}^{-1}, N_{cr} (\text{g kg}^{-1}) &= 27.7 \text{ MS } (t \text{ ha}^{-1})^{-0.33}; \pm 0.23 \text{ } r^2=0.45 \end{aligned}$$

Para el conjunto de datos, la concentración de N en el forraje del 4º aprovechamiento incrementó al aumentar la dosis de N con el purín ($r^2=0.55$), $r^2=0.52$ el primero y $r^2=0.13$ en el segundo año (Figura 12), con valores mínimos en el testigo 13.7 y 16.9 $\text{g N kg}^{-1} \text{ MS}$ en el año 2008 y máximos de 16.2 y 20.6 $\text{N kg}^{-1} \text{ MS}$ en el año 2009 con 130 t ha^{-1} purín.

Figura 12.- Variación entre años en el contenido de N del forraje respecto al aporte de N entre años



2.2.2. Índice de nutrición nitrogenada (INN)

El estatus nutricional de N en las plantas se considera adecuado cuando el *índice de nutrición nitrogenada* ($N_{\text{actual}} \div N_{\text{crítico}}$) es igual 1; limitante menor de 1 y excedente cuando es mayor de 1. El exceso de N puede almacenarse en el forraje bajo diferentes formas químicas (nitratos) o formando importantes complejos en el tejido de la planta (Millard, 1988). En consecuencia, con los fundamentos previos para varias especies (Lemaire *et al.*, 1996; Colnenne *et al.*, 1998), los INNs calculados para la hierba de pradera mostraron variaciones dentro de cada año y dosis de purín durante el período de crecimiento, registrándose los valores mayores a altos niveles de fertilización (Figura 13) y entre sistemas de aplicación (Figura 14).

Figura 13.- Evolución del índice de nutrición nitrogenada (INN) en el tiempo, corte y dosis de purín

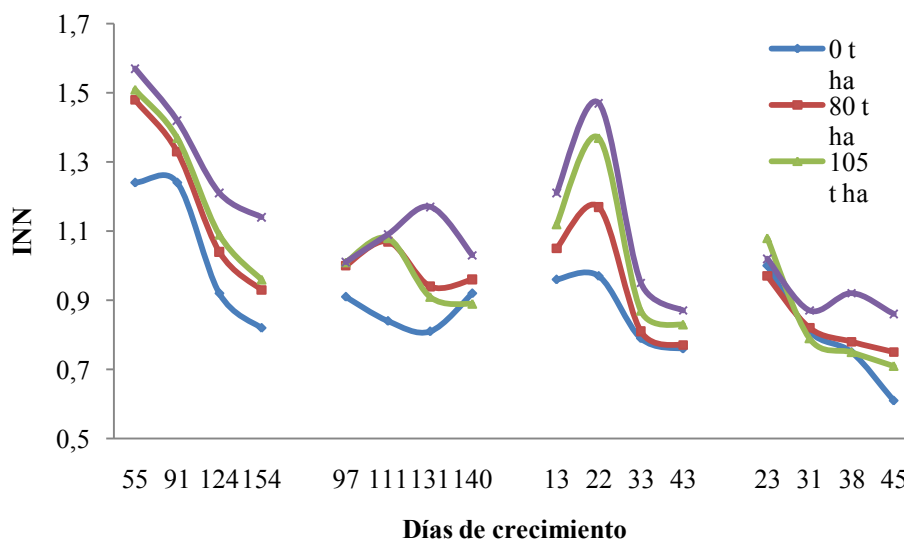
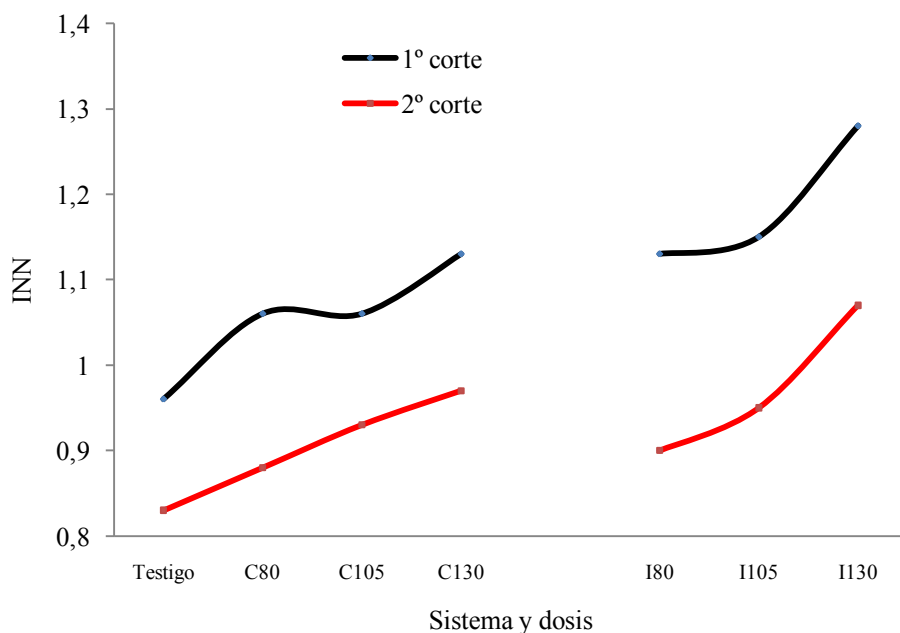


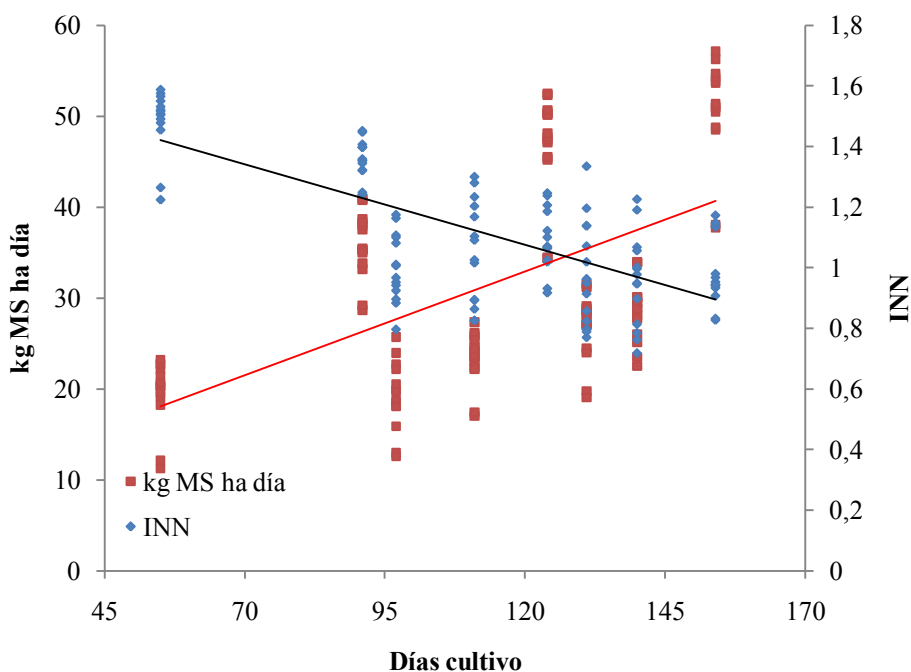
Figura 14.- Índice de nutrición nitrogenada (INN) según el sistema de aplicación y dosis de purín



Por definición, la mayor tasa de crecimiento del cultivo se registra cuando el INN es mayor o igual a 1 (Lemaire y Gastal, 1997). La Figura 15, ilustra la evolución del INN y el crecimiento de materia seca por hectárea y día en el tiempo (a contar desde el 1 de enero) del primer corte, observándose el mayor crecimiento de la hierba para INN iguales a 1 y 110 días, coincidente con el inicio del espigado. La Figura 16 representa el descenso del INN respecto a la dosis de purín y a diferentes intervalos de aprovechamiento, sin respuestas significativas más allá de 80 t ha^{-1} , aunque sí, de forma numérica al mayor aporte, como se discutió anteriormente. En cualquier caso, los

valores de INN del primer corte (4º aprovechamiento) son de 0.96 y 0.97 para las dosis de 80 y 105 t ha⁻¹ respectivamente y, 1.10 para 130 t ha⁻¹, lo que indicaría que esta dosis se sitúa al límite del exceso de nitrógeno. Por el contrario, en el segundo corte (4º aprovechamiento) se encuentra al límite (necesidad de fertilizante nitrogenado), con valores medios de 0.8, 0.83 y 0.89 para las dosis de 80, 105 y 130 t ha⁻¹ de purín.

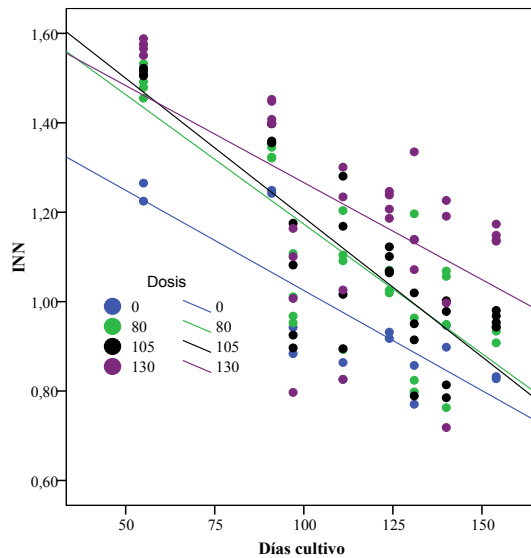
Figura 15.- Relación entre el índice de nutrición nitrogenada (INN) y el crecimiento de materia seca por hectárea y día del primer corte (a contar desde el 1 de enero) respecto a los días de cultivo



$$INN = 1.71 (0.06) - 0.0053 (0.001) \text{ días}; \pm 0.15 \text{ } r^2=0.49$$

$$Kg \text{ MS ha día} = 5.56 (3.7) + 0.228 (0.032) \text{ días}; \pm 9.9 \text{ } r^2=0.32$$

Figura 16.- Evolución del índice de nutrición nitrogenada (INN) respecto a los días de cultivo del primer corte (a contar desde el 1 de enero) y dosis de purín



$$\begin{aligned}
 \text{INN, } 0 \text{ t ha}^{-1} &= 1.47 (0.10) - 0.004 (0.001) \text{ días; } \pm 0.10 \text{ } r^2=0.62 \\
 \text{INN, } 80 \text{ t ha}^{-1} &= 1.75 (0.08) - 0.006 (0.001) \text{ días; } \pm 0.12 \text{ } r^2=0.67 \\
 \text{INN, } 105 \text{ t ha}^{-1} &= 1.85 (0.09) - 0.006 (0.001) \text{ días; } \pm 0.13 \text{ } r^2=0.67 \\
 \text{INN, } 130 \text{ t ha}^{-1} &= 1.7 (0.12) - 0.004 (0.001) \text{ días; } \pm 0.17 \text{ } r^2=0.35
 \end{aligned}$$

Las relaciones entre valores de INN <1 (condiciones de subalimentación nitrogenada) y la correspondiente acumulación relativa de materia seca, estimada como ($MS_{\text{crítico}} \text{ kg ha}^{-1} = 193.5 \text{ g N kg}^{-1} \text{ MS}^{1.46}$; $\pm 0.49 \text{ } r^2=0.43$, Figura 17 y la observada), se representa en la Figura 18. La línea de regresión obtenida es ligeramente diferente de la línea $Y=X$, mostrando una estrecha relación entre variables y la disponibilidad de INN a representar el nivel deficiente de nitrógeno.

Figura 17.- Acumulación de materia seca crítica en función de su contenido en N

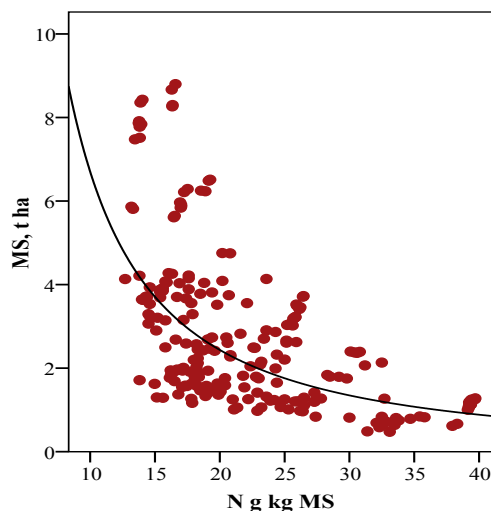
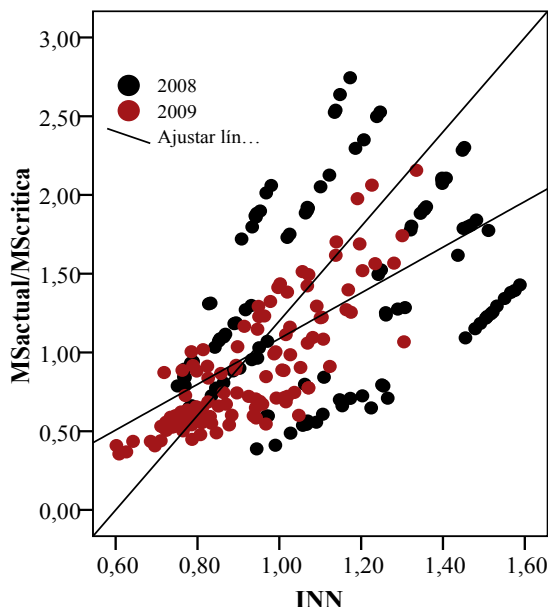


Figura 18.- Relación entre el índice de nutrición nitrogenada (INN) y la relativa acumulación de materia seca ($MS_{\text{actual}}/MS_{\text{crítica}}$) para los diferentes aportes de purín $Y=X$

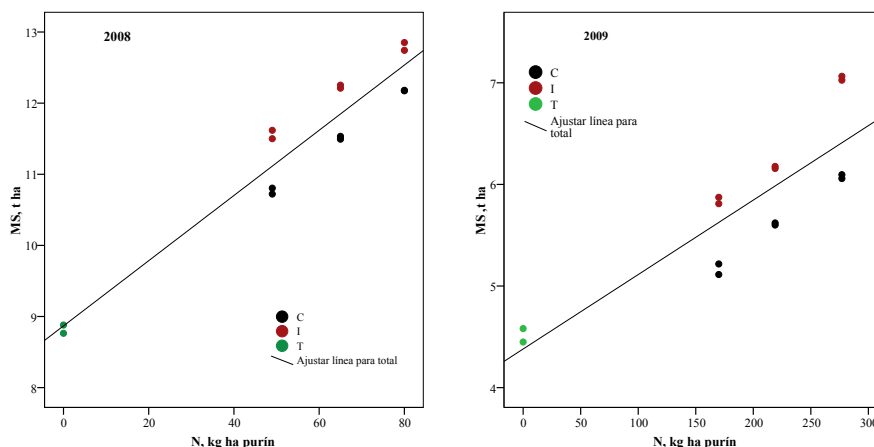


2.2.3. Utilización del N en praderas

La eficiencia nitrogenada del purín durante el primer año y aplicado en primavera varía del 30 al 65% (Sorensen y Amato, 2002; Sorensen y Jensen, 1995) y menor en otoño (Jensen *et al.*, 2000).

Independientemente del tipo de aplicación y dosis de purín, la eficiencia aparente del nitrógeno (NUE) incrementó en el tiempo ($P < 0.001$), como consecuencia del aumento de biomasa. Los valores mínimos se registran en marzo ($8.3 \text{ kg MS kg}^{-1} \text{ N}$) y máximos de 26.6 kg el cuarto (mayo-junio), con diferencias significativas entre sistemas de aplicación, 22.9 y 7.7 kg en convencional y 30.4 y 9.01 kg en inyección para el primer y cuarto aprovechamiento respectivamente (Tabla 3). La producción final de materia seca (4º aprovechamiento) aumentó al incrementar el aporte de N, con pendientes medias de 42 y 51 kg en convencional e inyección en el 2008 y 5 y 9 kg en el 2009 respectivamente (Figura 19).

Figura 19.- Producción final de materia seca ($t\ ha^{-1}$) entre sistemas y años a diferentes aportes de N ($kg\ ha^{-1}$)



Año 2008

$$MS, t\ ha^{-1} (Convencional) = 8.79 (0.04) + 0.042 (0.001) kg\ N\ ha^{-1}; \pm 0.06\ r^2=0.99$$

$$MS, t\ ha^{-1} (Inyección) = 8.90 (0.105) + 0.051 (0.002) kg\ N\ ha^{-1}; \pm 0.15\ r^2=0.99$$

Año 2009

$$MS, t\ ha^{-1} (Convencional) = 4.43 (0.10) + 0.005 (0.001) kg\ N\ ha^{-1}; \pm 0.15\ r^2=0.94$$

$$MS, t\ ha^{-1} (Inyección) = 4.44 (0.11) + 0.009 (0.001) kg\ N\ ha^{-1}; \pm 0.57\ r^2=0.97$$

El análisis de medidas repetidas en el tiempo no manifestó diferencias significativas entre dosis de purín aplicado y sí, $P < 0.001$ según el sistema de aplicación y año (Tabla 3), mayor en el primero, con eficiencias medias para el 4º aprovechamiento de 46.8 kilogramos en 2008 y 6.5 kilogramos en 2009. La desigual respuesta al aporte de N, cabe imputarla al diferente contenido de N del purín entre años y condiciones climatológicas. Unwin *et al.* (1986) señalan mayor disponibilidad del N para aplicaciones en primavera o verano que en invierno. De igual modo, Thompson *et al.* (1987) indican porcentajes de N recobrado en el forraje (25.5%) cuando se aplica en el mes de abril más que en diciembre, particularmente debido a las pérdidas de desnitrificación que ocurren después la aplicación.

El mayor aporte de N origina eficiencias más bajas, coincidente con Báez *et al.* (2008) en praderas de nueva implantación fertilizadas con purín de vacuno lechero o nitrógeno inorgánico (Marino *et al.*, 2004). Aquellos autores señalan eficiencias medias de 6.3 kg MS con aplicaciones de 299 kg de N en inyección durante el primer año y 13.7 kilogramos para aportaciones de 259 kg de N; mientras, en el presente trabajo, aportaciones de 64 kg N ha^{-1} en el primer año se obtienen eficiencias de 46.8 y 6.49 kg MS en el segundo año con aportes de 222 kg N ha^{-1} . Autores como (Ball *et al.*, 1982) señalan rangos variables de 7 a 33 kg MS kg^{-1} N aplicado. Respuestas variables (17-34 kg de MS kg^{-1} N) son indicadas por Lambert y Clark (1986) con aplicaciones de 50 kg

de N ha⁻¹ en forma de urea durante el otoño en praderas de Nueva Zelanda. Ledgard *et al.* (1983) señalan respuestas de 8 kg MS kg⁻¹ N con aplicaciones en otoño de 90 kg de N ha⁻¹. Lambert *et al.* (2003) aplicando 400 kg de N ha⁻¹ distribuido en ocho aportaciones obtienen 18 a 22 kg MS kg⁻¹ N aplicado. Esto sugiere que elevado aporte de abono nitrogenado puede no ser la opci3n econ3mica para muchas explotaciones. Dos ensayos desarrollados por Gillingham *et al.* (1998) y Gillingham *et al.* (2004 a,b) durante un periodo de siete años obtienen respuestas de 24 kg de MS kg⁻¹ N en suelos de baja concentraci3n de f3sforo, pero en suelos de menor contenido, las respuestas son s3lo de 16 kg de MS kg⁻¹ N aplicado. Ensayos de fertilizaci3n de larga duraci3n en praderas a pastoreo fertilizadas con dosis crecientes de N inorgánico (0, 50, 75, 100, 125, 150 y 175 kg N ha⁻¹) (Salcedo, 2008) obtiene eficiencias lineales desde 50 a 100 kg de N ha⁻¹ de 16.7 a 22.2 kg MS kg⁻¹ N, presentando una meseta de 24.7, 26.6 y 25.3 kg de MS kg⁻¹ N para dosis de 125, 150 y 175 kg de N ha⁻¹ respectivamente.

Conforme aument3 el aporte de N, increment3 el extra3do por la pradera (Tabla 1), con porcentajes medios de 24.2%, 29.2% y 51.5% en convencional y 32%, 42% y 77% en inyecci3n para las dosis de 80, 105 y 130 t ha⁻¹ de pur3n respectivamente. Para el conjunto de datos estos porcentajes representan 34.9% en convencional y 50% en inyecci3n (P<0.05), para aportaciones medias de 143 kg N ha⁻¹, valores superiores al 27% señalado por B3ez *et al.* (2008) en inyecci3n. En praderas del Reino Unido fertilizadas con pur3n (Thompson *et al.*, 1987), obtienen porcentajes de N recuperado en el forraje o NUpE de 19.8% y 33.4% para aplicaciones en convencional e inyecci3n durante el invierno y del 25.5% y 35.5% en primavera respectivamente. Estas diferencias son atribuidas a p3rdidas de NH₃, registrándose porcentajes medios de 30.8%-0.9% y 20.2%-0.9% en convencional e inyecci3n para aplicaciones de invierno y primavera respectivamente. Sin embargo, las debidas a desnitrificaci3n son mayores en inyecci3n, tanto en invierno como en primavera con porcentajes medios de 12.1-21.3% en convencional e inyecci3n para aportaciones de invierno y 6.8-1.7% en primavera.

Motavalli *et al.* (1989) señalan porcentajes de N recobrado en el forraje del 12%, cuando las praderas son fertilizadas con pur3n de vacuno lechero, incrementándose hasta 63% con abonos nitrogenados de origen sint3tico. El menor consumo de N del pur3n comparado con los fertilizantes nitrogenados inorgánicos es atribuido al reparto porcentual de su N. La mitad del N est3 en forma de N amoniacal y la otra en forma orgánica. Eghball *et al.* (2002) señalan valores medios del 21% del N orgánico del pur3n est3 disponible durante el primer año de aplicaci3n.

Conforme avanzó el estado de madurez, las eficiencias en el consumo de nitrógeno (NUpE), son diferentes ($P < 0.001$) Tabla 3, sin diferencias entre dosis de purín. Para el conjunto de datos, la máxima eficiencia se registró entre el 1º y 2º aprovechamiento (55-93 días en 2008 y 98-112 días en 2009), coincidiendo entre los estados hojosos e inicio del espigado. Después, hasta el inicio de floración, la NUpE mostró relaciones no lineales (Figura 20). La máxima capacidad de absorción de nutrientes en las plantas es mayor que la requerida para obtener la máxima producción (Jarvis y Macduff, 1989 y Jeuffroy y Meynard, 1997). En cualquier caso, los valores medios de NUpE dentro de cada fecha para los dos sistemas de aplicación e independientemente de la dosis de purín son de 0.26, 0.36, 0.40 y 0.41 kg de N por kg de N aplicado en convencional y 0.30, 0.58, 0.55 y 0.54 kg kg⁻¹ en inyección. Estos coeficientes obtenidos con purín son inferiores a 0.55 y 0.79 con abonos nitrogenados para dosis de 50 a 100 kg de N ha⁻¹, sin respuestas para aplicaciones de 125, 150 y 175 kg N ha⁻¹, con eficiencias medias de 0.9, 0.96 y 0.96 kg N kg⁻¹ N aplicado (Salcedo, 2008).

Valores de NUpE superiores a 1 indican un consumo de N extra procedente de la materia orgánica del suelo. Esta circunstancia no se refleja en el presente trabajo, puesto que en todos los casos, el contenido de materia orgánica incrementó numéricamente con el aporte de purín; por el contrario, sí lo hizo el contenido de N total del suelo (Tabla 7 del Capítulo 13, *"Movimiento de N y P en el suelo"*).

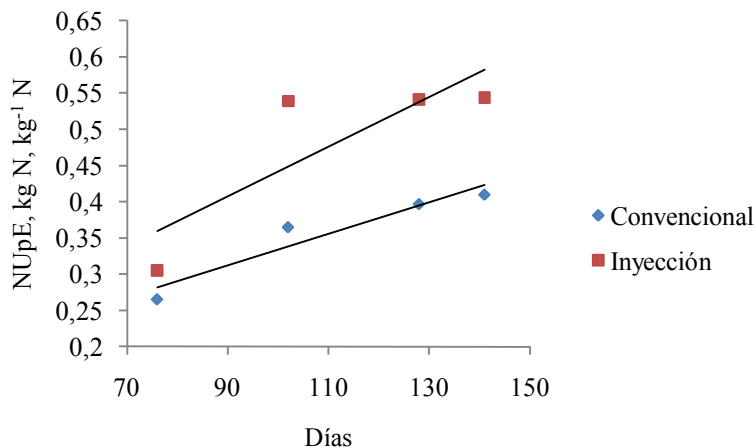
Tabla 3.- Coeficientes de utilizaci3n del nitr3geno y f3sforo del pur3n

	NUE				NUpE				PUpE				NUE _{EM}				NUE _{MOD}				NCE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
C80 ¹	8.57	10.0	22.1	21.7	0.28	0.26	0.32	0.35	0.07	0.09	0.10	0.11	95	92	211	202	5.9	7.3	15.8	16.7	33.4	52.1	67.4	49.6
C105 ¹	7.37	13.3	21.6	23.2	0.26	0.38	0.37	0.36	0.05	0.09	0.12	0.11	81	119	207	229	5.1	8.7	14.9	17.4	34.1	44.1	71.3	62.7
C130 ¹	7.32	14.4	21.9	23.7	0.24	0.44	0.49	0.51	0.05	0.09	0.14	0.12	73	158	205	236	4.5	10.8	14.4	17.2	45.4	51.3	43.3	50.5
L	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
I80 ¹	9.1	17.8	27.7	31.8	0.30	0.52	0.52	0.47	0.06	0.15	0.19	0.20	103	196	240	333	5.1	11.4	14.6	20.3	42.5	33.4	49.2	61
I105 ¹	8.8	20.0	26.8	29.9	0.29	0.54	0.51	0.49	0.06	0.11	0.18	0.14	89	204	247	304	5.5	13.9	17.5	22.1	34.8	33	51.2	58
I130 ¹	9.1	18.5	26.3	29.4	0.32	0.55	0.63	0.66	0.08	0.11	0.22	0.20	96	188	250	292	6.0	12.7	17.2	20.7	33.9	32.1	39.1	41.3
L	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***
C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
et	0.83	2.5	3.8	4.7	0.04	0.07	0.07	0.07	0.003	0.01	0.015	0.02	9.3	26	36	51	0.51	1.2	1.6	2.2	3.11	4.09	3.17	2.53

	MS, kg ha ⁻¹	N, kg ha ⁻¹	P, kg ha ⁻¹	EM, MJ ha ⁻¹	MOD, kg ha ⁻¹	CUN _{MS}	CUN _N	CU _P	CU _{EM}	CU _{MOD}	ECN
Tiempo	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Dosis	***	***	***	***	***	NS	NS	***	NS	***	NS
Sistema	***	***	***	***	***	***	*	***	***	***	**
Año	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
S*A	***	NS	*	***	***	***	***	***	***	***	*
D*S	**	***	***	NS	NS	***	NS	*	***	***	NS
D*A	***	***	*	***	***	**	***	NS	NS	***	NS
D*S*A	***	***	NS	***	***	***	NS	NS	***	***	NS

C: convencional, I: inyecci3n; T: testigo; ¹: t ha⁻¹ de pur3n; ^{1,2,3,4}: hojoso, inicio espigado, espigado, inicio floraci3n; NUE: coeficiente de utilizaci3n del N, kg MS kg⁻¹ N; NUpE: eficiencia de consumo de N, kg N kg N⁻¹; PUpE: eficiencia de consumo de P kg P kg⁻¹ P; NUE_{EM}: eficiencia de consumo de EM: MJ de energ3a metabolizable kg⁻¹ N; NUE_{MOD}: coeficiente de utilizaci3n del N, kg MOD kg N⁻¹; ECN: eficiencia de conversi3n del N; L: efecto lineal; C: efecto cuadr3tico; et: error t3pico de la diferencia de medias; S: sistema aplicaci3n (convencional vs. inyecci3n); A: a3o; D: dosis pur3n, kg ha⁻¹; * P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; NS: no significativo

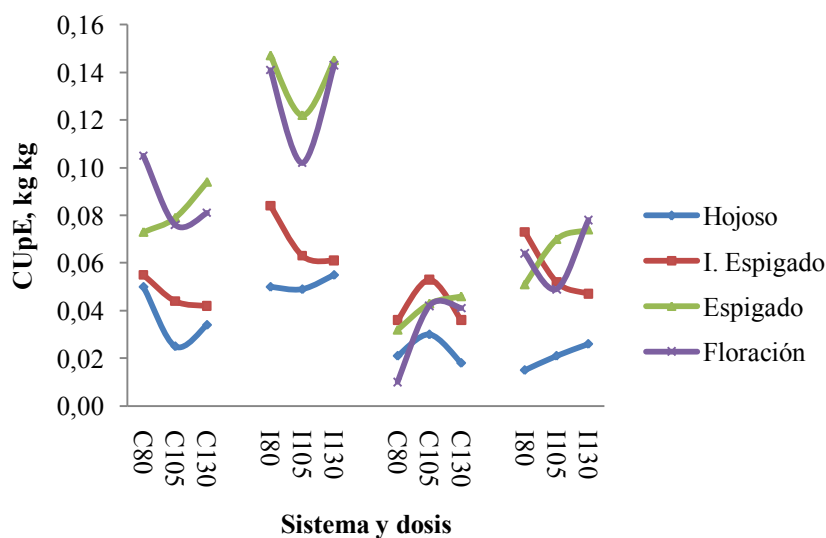
Figura 20.- Tendencia de NUpE en el tiempo entre sistemas de aplicación y dosis de purín



2.2.4. Utilización del P en praderas

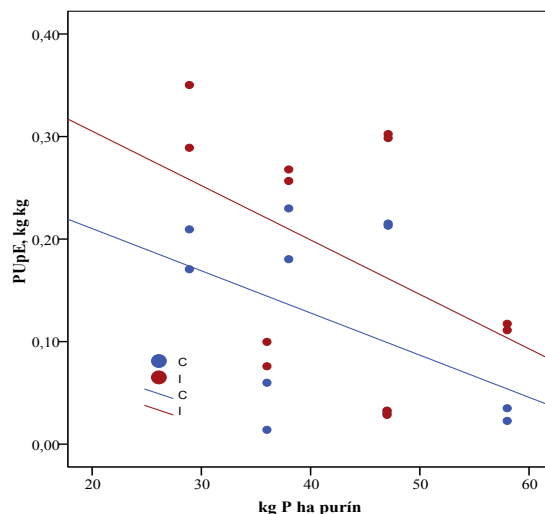
La eficiencia en el consumo de fósforo (PUpE) incrementó con el tiempo, con mínimos de 0.036 kg kg^{-1} en el primer aprovechamiento y máximos de 0.087 kg kg^{-1} el cuarto, para aplicaciones en convencional y 0.051 a 0.124 kg kg^{-1} en inyección en los mismos aprovechamientos e independientemente de la dosis de purín aplicado. En el segundo corte, PUpE presenta eficiencias menores, 0.023 y 0.031 kg kg^{-1} en convencional y 0.021 y 0.063 kg kg^{-1} en inyección para el primer y cuarto aprovechamiento respectivamente. En cualquier caso y entre aprovechamientos, PUpE difiere respecto a la dosis de purín aplicada, Figura 21 y Tabla 3.

Figura 21.- Eficiencia de consumo del fósforo entre sistemas de aplicación y dosis



Como era de esperar y coincidente con Adeli y Varco (2001), la eficiencia del P disminuyeron al incrementar el aporte de P, con medias de 0.005 kg de P en el forraje por kg de P aplicado (Figura 22).

Figura 22.- Relación entre el aporte de P (kg ha^{-1}) y PUpE según el sistema de aplicación



$$\begin{aligned}
 PUpE (\text{Conjunto}) &= 0.352 (0.09) - 0.005 (0.002) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 0.10 \text{ } r^2=0.172 \\
 PUpE (\text{Convencional}) &= 0.292 (0.115) - 0.004 (0.003) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 0.08 \text{ } r^2=0.196 \\
 PUpE (\text{Inyección}) &= 0.411 (0.149) - 0.005 (0.003) \text{ kg P ha}^{-1} \text{ purín}; \pm 0.11 \text{ } r^2=0.194
 \end{aligned}$$

2.2.5. Relación N:P y valor crítico limitante

El crecimiento de la vegetación herbácea de climas templados se encuentra limitada por nitrógeno y fósforo, creando condiciones favorables para aumentar la diversidad botánica. Un nuevo indicador de esta limitación en la vegetación es la relación N:P (Verhoeven *et al.*, 1996). A menudo, la relación N:P del forraje es estimada como un simple índice en la limitación de N y P (Penning de Vries *et al.*, 1980; Koerselman y Meuleman, 1996; Tessier y Raynal, 2003; Güsewell, 2004) y usado para describir patrones geográficos de la limitación nutritiva (Reich y Oleksyn, 2004; Wassen *et al.*, 2005). Empíricamente, esta herramienta muestra predicción en la limitación nutritiva. Cuando la relación N:P del forraje es <14 , el N actúa como limitante para el crecimiento. Relaciones >16 , el limitante es el P y valores de $14 < \text{N:P} < 16$ colimitación de N y P. Valores iguales o próximos a 10 son considerados como crecimientos óptimos.

El análisis de medidas repetidas en el tiempo (Tabla 4) mostró descensos lineales ($P < 0.001$) en la relación N:P conforme avanza el estado de madurez, con valores medios para el conjunto de datos de 7.6; 7.8 y 8.09 en convencional, inyección y testigo y 7.6; 7.8 y 7.7

para la dosis de 80, 105 y 130 t ha⁻¹ respectivamente. Estos resultados est3n pr3ximos a 10.7 se3alado por Salcedo (2008) en un experimento de fertilizaci3n de praderas a pastoreo para aportaciones crecientes de nitr3geno y f3sforo. En todos los casos, el factor limitante es el N, con relaciones inferiores a 14 (G3sewell y Koerselman, 2002), sin diferencias entre sistemas de aplicaci3n, dosis y a3os. No obstante, se observan relaciones cuadr3ticas entre la eficiencia de consumo del f3sforo (PUpE) y la relaci3n N:P (Figura 23), coincidiendo la mayor eficiencia de consumo de P con la menor relaci3n N:P, sin relaciones para NUPE (Figura 24).

La Figura 25 se3ala la relaci3n entre ambas metodolog3as (INN) y la relaci3n N:P del forraje para cada sistema de aplicaci3n de pur3n, observ3ndose ligera relaci3n entre ellas. No obstante, para el INN los resultados son aceptables desde la fertilizaci3n nitrogenada y la relaci3n N:P se3ala deficiencias de N. Por lo tanto estas relaciones hay que interpretarlas con precauci3n, posiblemente la deficiencia en f3sforo sea la causa de esta baja relaci3n obtenida.

Tabla 4.- Relaci3n N:P del forraje entre a3os

	2008				2009			
	N:P ₁	N:P ₂	N:P ₃	N:P ₄	N:P ₁	N:P ₂	N:P ₃	N:P ₄
C80 ¹	10.1	8.6	7.1	5.7	9.0	7.2	6.8	7.8
C105 ¹	10.7	9.3	7.2	5.7	8.6	7.0	6.1	7.4
C130 ¹	10.6	10.5	7.2	6.3	8.3	7.3	7.8	8.0
L	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
C	NS	**	NS	NS	NS	NS	*	NS
I80 ¹	10.4	8.6	6.6	5.3	8.3	7.5	7.0	7.0
I105 ¹	10.1	10.0	6.5	5.7	8.9	8.3	6.7	8.2
I130 ¹	10.1	10.5	6.3	5.9	8.4	8.6	8.2	8.1
L	NS	*	**	NS	NS	NS	NS	*
C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>et</i>	<i>0.30</i>	<i>0.80</i>	<i>0.45</i>	<i>0.31</i>	<i>0.45</i>	<i>0.98</i>	<i>0.75</i>	<i>0.59</i>

C: convencional, I: inyecci3n; T: testigo; ¹: t ha⁻¹ de pur3n; 1,2,3,4: hojoso, inicio espigado, espigado, inicio floraci3n

Tiempo	Dosis	Sistema	A3o	S*A	D*S	D*A	D*S*A
***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

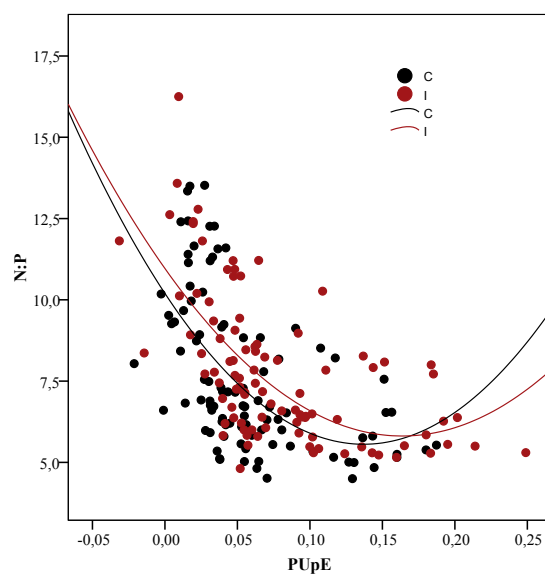
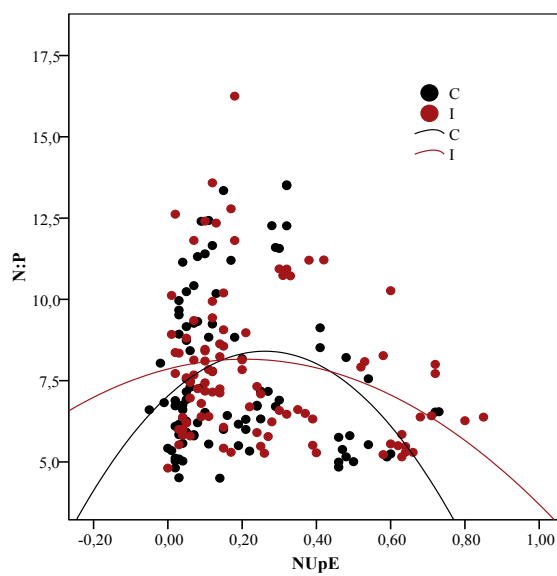
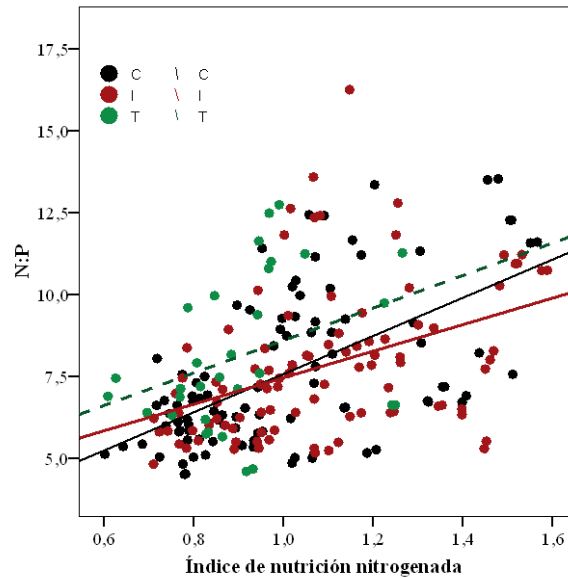
Figura 23.- Relaci3n entre PUpE y N:P**Figura 24.-** Relaci3n entre NUpE y N:P

Figura 25.- Relaci3n entre el 3ndice de nutrici3n nitrogenada (NNI) y la relaci3n N:P




$$\begin{aligned}
 \text{Conjunto} &= 0.66 (0.049) + 0.046 (0.006) N:P; \pm 0.20 \ r^2=0.021 \\
 \text{Testigo} &= 0.68 (0.104) + 0.026 (0.012) N:P; \pm 0.15 \ r^2=0.13 \\
 \text{Convencional} &= 0.56 (0.067) + 0.058 (0.008) N:P; \pm 0.19 \ r^2=0.34 \\
 \text{Inyecci3n} &= 0.76 (0.07) + 0.042 (0.01) N:P; \pm 0.20 \ r^2=0.17
 \end{aligned}$$

Composici3n qu3mico-bromatol3gica de la hierba

2.3.1. Variaciones en el tiempo, sistema de aplicaci3n y dosis de pur3n

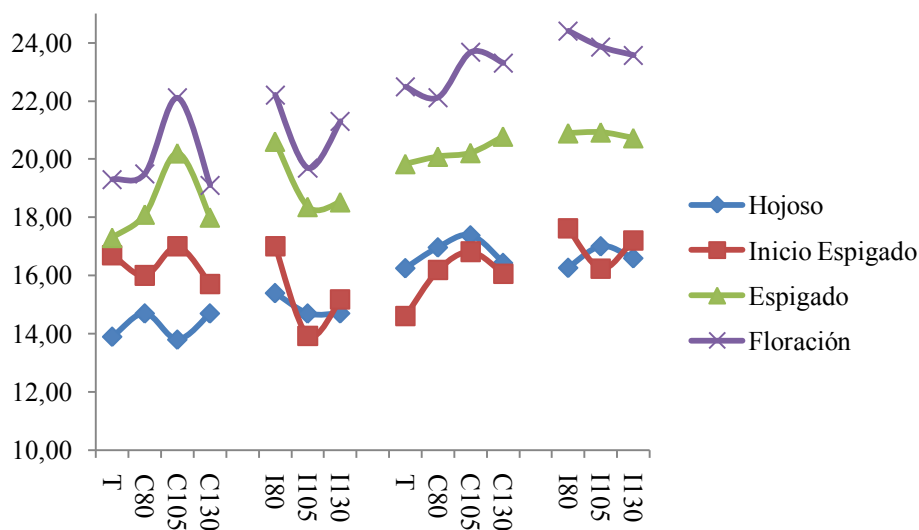
La concentraci3n de materia seca en ambos cortes (mayo-junio y julio) increment3 conforme lo hace el estado de madurez ($P < 0.001$), a un ritmo de 0.094 ($r^2=0.69$) y 0.052 ($r^2=0.37$) unidades porcentuales y d3a de cultivo en el primer y segundo corte respectivamente; sin diferencias significativas entre sistemas de aplicaci3n, con valores medios de 16.8%, 17.4% y 17.6% en el primer corte y 18.7%, 19.1% y 19.6% en el segundo para el testigo, convencional e inyecci3n respectivamente. Por el contrario, seg3n la dosis de pur3n aplicada en ambos cortes es menor ($P < 0.05$) en el testigo (Tabla 5), sin diferencias significativas en el segundo para las dosis de pur3n, y ($P < 0.05$) el testigo, atribuido a estados vegetativos m3s inmaduros, como fue discutido en el apartado a) sobre la producci3n de materia seca. De forma gr3fica la Figura 26 representa la evoluci3n en el tiempo para cada sistema de aplicaci3n y dosis de pur3n por hect3rea.

 **Tabla 5.- Composición química de la hierba**

	1° corte															
	Tiempo				Dosis				Sistema			Año				
	1	2	3	4	0	80	105	130	T	C	I	2008	2009			
MS	14.5d	15.9d	18.8b	20.5a	16.8a	18.0c	17.4b	17.1ab	16.8a	17.4b	17.6b	16.4a	18.4b			
Cen	10.1a	10.1a	8.44c	8.8b	8.99a	9.4bc	9.22ab	9.6c	8.99a	9.07a	9.75b	9.52a	9.2b			
FAD	23.3d	27.3c	31.7b	34.6a	29.0a	28.9a	29.9a	29.1a	29.0a	29.3a	29.2a	28.6a	29.9b			
FND	44.5d	53.9c	57.1b	62.8a	54.0a	54.6ab	55.8b	53.5a	54.0a	54.9a	54.4a	57.1b	52.2a			
MOD	66.7a	63.5b	60.9c	57.3d	61.9a	62.1ab	61.7a	62.6b	61.9a	62.1a	62.2a	60.8a	63.4b			
PB	19.2a	14.7b	11.1c	9.9d	13.3a	13.5a	13.6a	14.3b	13.3a	13.3a	14.3b	15.1a	12.3b			
P	0.29c	0.34a	0.28b	0.23d	0.29a	0.28a	0.28a	0.30a	0.29a	0.28a	0.29a	0.33a	0.25b			
EM	10.6a	10.1b	9.76c	9.17d	9.9a	9.93ab	9.85a	10.02b	9.9a	9.94a	9.95a	9.74b	10.1a			
CNF	22.6a	17.7c	19.7b	14.9d	20.1b	18.8ab	17.8a	18.9ab	20.1b	19.1ab	17.9a	14.7b	22.8a			
aPB	47.1a	40.8b	38.7c	34.9d	40.7b	40.4ab	39.5a	41.1b	40.7a	40.1a	40.5a	38.7b	42.1a			
bPB	46.7a	43.1b	41.8c	39.7d	43.0b	42.8ab	42.3a	43.2b	43a	42.7a	42.9a	41.8b	43.8a			
De	81.8a	63.7d	72.2b	69.0c	72.1b	71.6ab	70.3a	72.7b	72.1a	71.2a	71.8a	69.1b	74.1a			
Dp	93.6a	83.7b	80.4c	74.4d	83.6b	83ab	81.7a	84.1b	83.6a	82.6a	83.2a	80.4b	85.6a			
	2° corte															
	1	2	3	4	0	80	105	130	T	C	I	2008	2009			
	1	2	3	4	0	80	105	130	T	C	I	2008	2009			
MS	16.7c	16.6c	20.4b	23.3a	18.7a	19.3ab	19.5ab	19.3ab	18.7a	19.1ab	19.6b	20.6b	17.9a			
Cen	10.7a	9.25b	8.78c	8.11d	8.77a	9.22ab	9.04ab	9.62b	8.77a	9.04ab	9.54b	9.82b	8.91a			
FAD	30.5d	33.6c	35.2b	36.0a	33.4a	33.6a	34.4b	33.8ab	33.4a	33.5a	34.4b	31.6a	36.1b			
FND	56.8d	59.6c	62.4b	64.4a	61.3b	60.3a	62.2b	59.3a	61.3b	61.3b	60.1a	60.1a	61.4b			
MOD	61.7a	62.1b	59.7c	57d	60.4ab	60.6b	59.7ab	59.8a	60.4a	60.1a	60.1a	59.9a	60.4b			
PB	18.7a	15.4b	11.7c	10.0d	13.9a	13.7a	13.8a	14.4b	13.9a	13.8a	14.2b	15.0a	12.9b			
P	0.27c	0.33a	0.31b	0.25d	0.24a	0.29b	0.29b	0.31c	0.24a	0.30b	0.29b	0.29a	0.29a			
EM	9.9a	9.74b	9.56c	9.12d	9.66ab	9.72a	9.58a	9.57a	9.66a	9.61a	9.64a	9.6a	9.65a			
CNF	10.2d	12.1c	13.5b	13.9a	12.4ab	13.2b	11.4a	12.6ab	12.4a	12.2a	12.6a	11.4b	13.4a			
aPB	38.9a	37.0b	35.1c	33.8d	35.8a	36.6b	35.3a	36.9b	35.8a	35.8a	36.7b	36.6b	35.7a			
bPB	42.0a	40.9b	39.8c	39.1d	40.2a	40.6b	39.9a	40.8b	40.2a	40.2a	40.7b	40.7a	40.2b			
De	69.4a	61.7d	66.5b	63.7c	64.8a	65.9b	63.9a	66.4b	64.8a	64.8a	66.0b	66.0a	64.7b			
Dp	80.7a	77.7b	74.8c	72.7d	75.9a	77.1b	75.1a	77.6b	75.9 ^a	75.9a	77.2b	77.2a	75.8b			
	1° Corte								2° Corte							
	T	S	D	A	S*D	S*A	S*D*A	T	S	D	A	S*D	S*A	S*D*A		
	***	NS	***	***	***	NS	***	***	NS	NS	***	NS	NS	NS		
MS	***	NS	***	***	***	NS	***	***	NS	NS	***	NS	NS	NS		
CEN	***	***	*	**	NS	NS	NS	***	*	NS	***	NS	NS	NS		
FAD	***	NS	NS	***	*	NS	*	***	***	***	***	***	***	NS		
FND	***	NS	**	***	NS	***	NS	***	***	***	***	***	**	***		
MOD	***	NS	*	***	NS	***	NS	***	NS	*	***	NS	***	***		
PB	***	***	**	***	NS	***	NS	***	*	***	***	*	NS	NS		
P	***	**	NS	***	NS	NS	NS	***	NS	***	NS	NS	NS	NS		
EM	***	NS	*	***	NS	NS	NS	***	NS	*	NS	**	NS	***		
CNF	***	NS	NS	***	NS	***	NS	***	NS	**	***	***	NS	***		
aPB	***	NS	**	***	NS	***	NS	***	***	***	***	**	***	***		
bPB	***	NS	**	***	NS	***	NS	***	***	***	***	**	***	***		
De	***	NS	**	***	NS	***	NS	***	***	***	***	**	***	***		
DP	***	NS	**	***	NS	***	NS	***	***	***	***	**	***	***		

T: tiempo (1: hojoso; 2: inicio espigado; 3: espigado y 4: inicio floración); **S:** sistema de aplicación (Convencional vs. Inyección); **D:** dosis (0, 80, 105 y 130 t ha⁻¹); **A:** año (2008 y 2009); **MS:** materia seca, %; **Cen:** cenizas, %; **FAD:** fibra ácido detergente, %; **FND:** fibra neutro detergente, %; **MOD:** materia orgánica digestible, %; **PB:** proteína bruta, %; **P:** fósforo, %; **EM:** energía metabolizable, MJ kg⁻¹ MS; **CNF:** carbohidratos no fibrosos; **aPB:** fracción rápidamente degradable de la PB; **bPB:** fracción potencialmente degradable de la proteína; **De:** degradabilidad efectiva de la proteína; **Dp:** degradabilidad potencial de la proteína.

Figura 26.- Concentración de materia seca en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), según el sistema de aplicación de purín y dosis



Los carbohidratos estructurales (FAD y FND) también aumentan en el tiempo conforme avanza el estado de madurez ($P < 0.001$), Tabla 5 y Figuras 27 y 28. Entre cortes, el incremento diario en unidades porcentuales es más acusado en el segundo (FAD: $+0.257$, $r^2=0.55$; FND: $+0.29$, $r^2=0.54$) que en el primero, (FAD: $+0.133$, $r^2=0.64$; FND: $+0.167$, $r^2=0.36$). El porcentaje de FAD del primer corte no es diferente entre sistemas de aplicación y dosis de purín, con valores medios de 29.2%, y sí, ($P < 0.001$) en el segundo para el sistema de aplicación y dosis ($P < 0.05$), mayor con 105 t ha⁻¹ de purín (Tabla 5). Por el contrario, la fibra neutro detergente no difiere en el primer corte entre sistemas de aplicación de purín y, $P < 0.01$ entre dosis, mayor con 105 t ha⁻¹ (Tabla 5), obteniéndose valores medios de 55.8%. En el segundo corte, la concentración de FND es menor en inyección ($P < 0.001$) con porcentajes medios de 60.1%, sin diferencias entre el convencional y el testigo (61.3%) respectivamente.

Figura 27.- Concentraci3n de fibra 3cido detergente en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), seg3n el sistema de aplicaci3n de pur3n y dosis

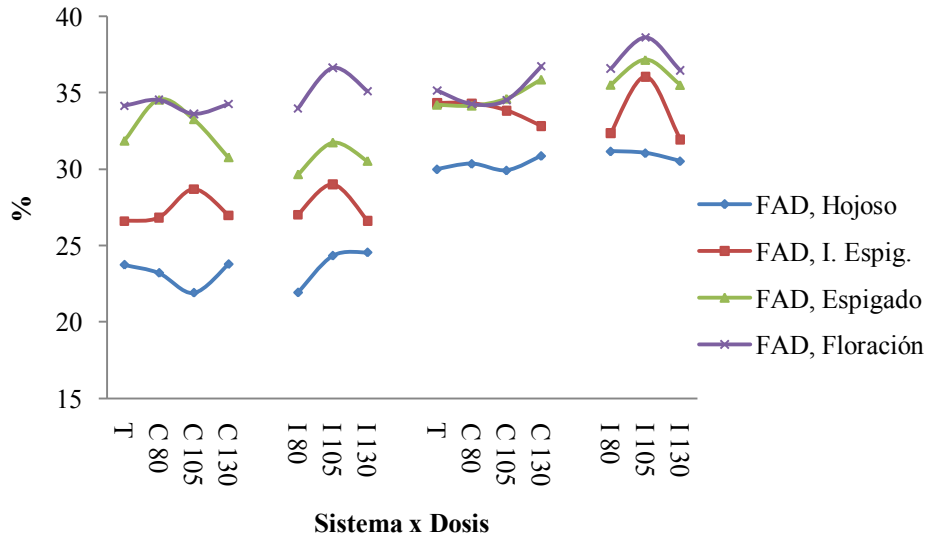
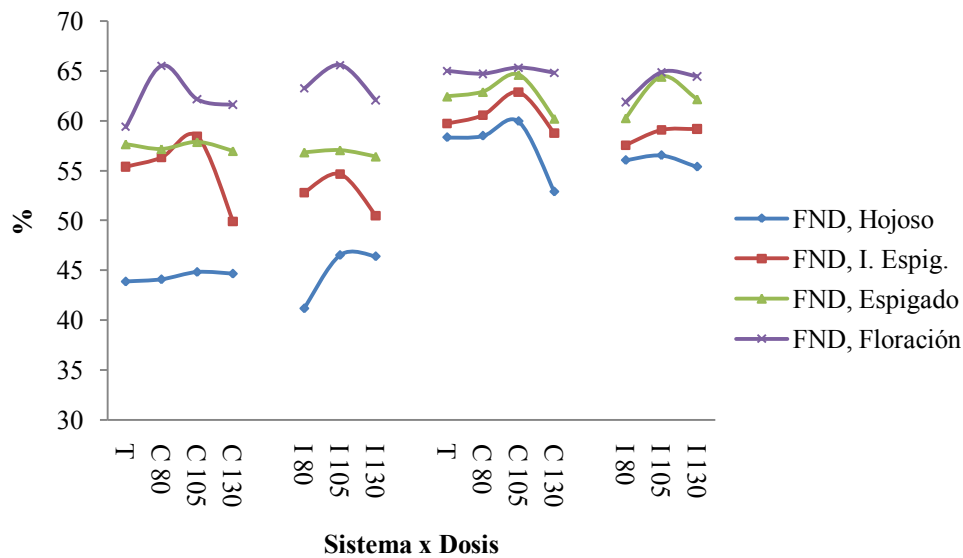
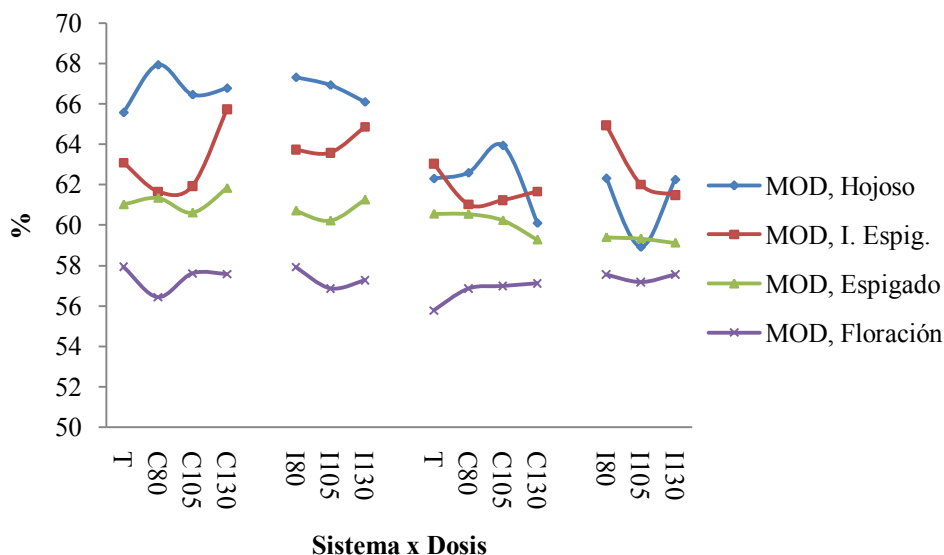


Figura 28.- Concentraci3n de fibra neutro detergente (%) en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), seg3n el sistema de aplicaci3n de pur3n y dosis



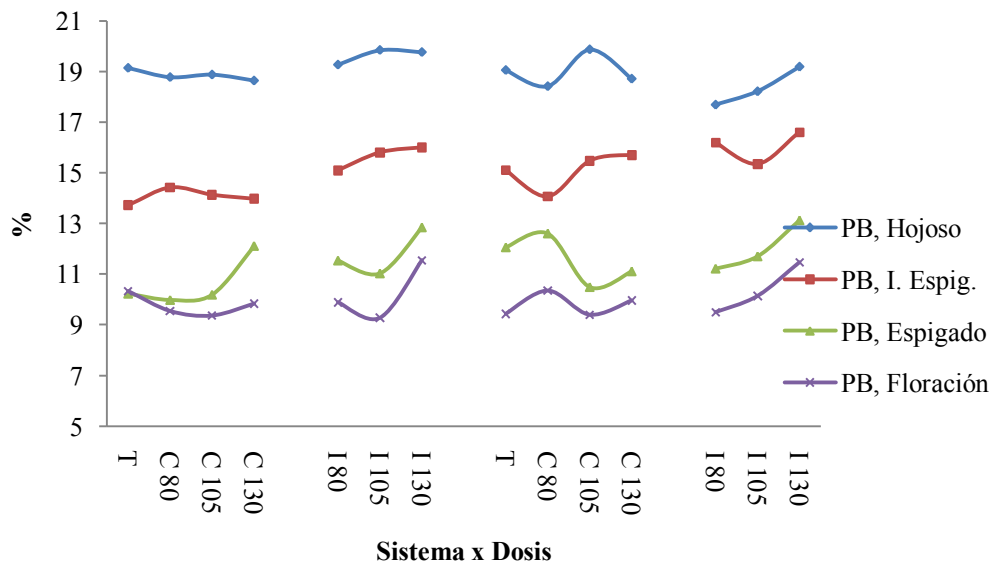
La materia org3nica digerible (Tabla 5) disminuy3 en el tiempo ($P < 0.001$) a un ritmo de 0.09 ($r^2 = 0.48$) y 0.16 ($r^2 = 0.38$) unidades porcentuales por d3a en el primer y segundo corte. Tanto en el primero como en el segundo corte, no se obtienen diferencias significativas entre el sistema de aplicaci3n y $P < 0.05$ la dosis de pur3n (Figura 29).

Figura 29.- Concentración de materia orgánica digestible en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), según el sistema de aplicación de purín y dosis



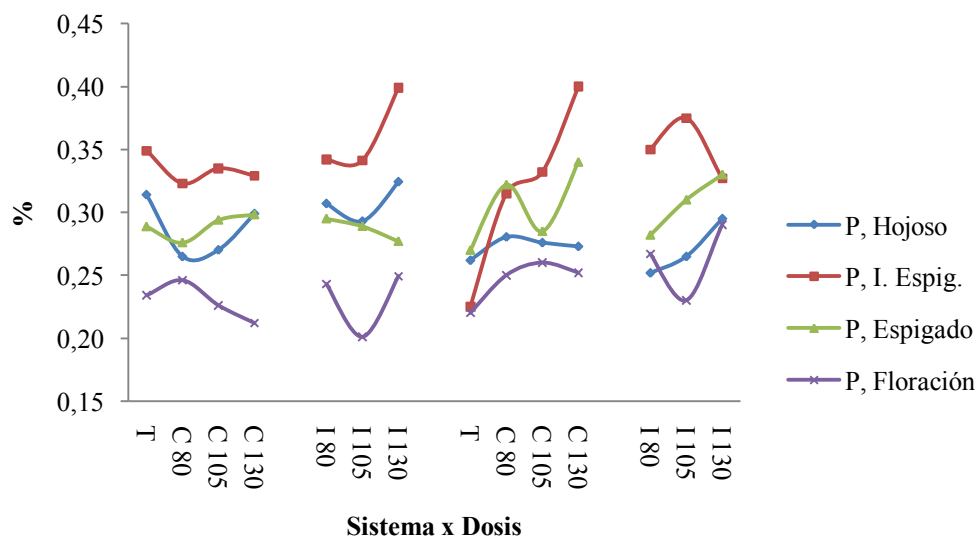
La proteína bruta también descendió conforme avanza el tiempo ($P < 0.001$), mayor en el primer corte que en el segundo (Figura 30), con descensos diarios de 0.14 ($r^2 = 0.84$) y 0.35 ($r^2 = 0.84$) respectivamente. Para cada uno de los cortes, se observan diferencias significativas según el sistema de aplicación ($P < 0.001$) en el primero y $P < 0.05$ el segundo; en ambos casos, mayor con la inyección, sin diferencias significativas en el testigo y convencional (Tabla 5).

Figura 30.- Concentraci3n de prote3na bruta en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), seg3n el sistema de aplicaci3n de pur3n y dosis



El contenido en f3sforo de la hierba difiere entre sistemas de aplicaci3n para el primer corte ($P < 0.01$), pero no en el segundo (Tabla 5), al contrario que la dosis, donde se apreciaron diferencias entre cortes ($P < 0.001$). En cualquier caso, la concentraci3n media de P interanual es de 0.33 y 0.25% en el primer corte y 0.29% en el segundo para los a3os 2008 y 2009 respectivamente. La Figura 31 representa la concentraci3n de P en el tiempo, sistema de aplicaci3n y dosis de pur3n.

Figura 31.- Concentraci3n de f3sforo en el tiempo entre estados de madurez (1, 2, 3 y 4), seg3n el sistema de aplicaci3n de pur3n y dosis



2.3.2. Variaciones respecto a condiciones climáticas

La concentraci3n de azúcares solubles incrementa a temperaturas por debajo del óptimo de crecimiento, porque la fotosíntesis se reduce menos a las temperaturas subóptimas más que por crecimiento. A temperaturas superiores, los carbohidratos solubles en agua tienden a descender, pero no consistentemente a temperaturas bajas. La temperatura óptima de crecimiento para especies de climas fríos está cercana a 20°C (Cooper y Tainton, 1968).

La temperatura ejerce un gran efecto sobre la calidad del forraje, más que cualquier otra variable medioambiental. Las diferencias de digestibilidad son principalmente debidas a las variaciones de digestibilidad del tallo y a veces, en las hojas (Deinum y Dirven, 1974), atribuido a incrementos de pared celular (Ford *et al.*, 1979; Fales, 1986). También cuando la temperatura es superior a la óptima de crecimiento, la relaci3n hoja:tallo desciende, reduciéndose el diámetro del tallo e incrementándose la lignina (Fick *et al.*, 1988).

A partir de las horas de calor acumuladas, temperatura media y evapotranspiraci3n potencial dentro de cada corte, se estimó la composici3n química del forraje (Tabla 6). Para el primer aprovechamiento, la variable climática mejor relacionada con la materia seca, fibra ácido detergente y la materia orgánica digestible es el número de horas de calor acumuladas (HdC), con pendientes medias de 0.008, 0.013 y 0.012 unidades porcentuales por incremento de una hora de calor acumulada respectivamente. Estas pendientes resultan similares a 0.022, 0.017 y 0.01 para las mismas determinaciones obtenidas en trigo por Salcedo (2004). Por el contrario, la temperatura media es la variable que más explica la variaci3n de fibra neutro detergente y proteína bruta (Tabla 6). Por su parte, Deinum *et al.* (1968) desarrollaron una ecuaci3n para estimar la digestibilidad de la hierba a partir de la temperatura media del tipo: $D=91.5-1.14 T^a \text{ media}$, $r=0.89$. La pendiente de esta ecuaci3n es inferior a -1.93 obtenida en el presente trabajo (Tabla 6).

En el segundo corte, las variables climáticas mejor relacionadas para FAD y FND son las horas de calor, y la evapotranspiraci3n potencial para las concentraciones de materia seca, materia orgánica digestible y proteína bruta (Tabla 6).

Tabla 6.- Estimaci3n de la composici3n qu3mica de la hierba a partir de los par3metros clim3ticos

Horas de calor (HdC)				
Variable dependiente	Y = a + bx	R²	ES	n
MS				
1º corte	11.3 + 0.008 HdC	0.42	2.5	112
2º corte	NS	-	-	112
FAD				
1º corte	18.6 + 0.013 HdC	0.59	3.1	112
2º corte	26.1 + 0.014 HdC	0.73	1.8	112
FND				
1º corte	36.6 + 0.022 HdC	0.59	5.3	112
2º corte	54.5 + 0.012 HdC	0.37	3.2	112
MOD				
1º corte	72.0 - 0.012 HdC	0.76	1.9	112
2º corte	63.0 - 0.005 HdC	0.15	2.6	112
PB				
1º corte	23.4 - 0.012 HdC	0.53	3.2	112
2º corte	21.8 - 0.015 HdC	0.61	2.4	112
Temperatura media (Tm)				
MS				
1º corte	5.46 + 0.97 Tm	0.25	2.9	112
2º corte	NS	-	-	112
FAD				
1º corte	3.84 + 2.06 Tm	0.52	3.3	112
2º corte	NS	-	-	112
FND				
1º corte	7.78 + 3.79 Tm	0.62	5.1	112
2º corte	NS	-	-	112
MOD				
1º corte	85.9 - 1.93 Tm	0.68	2.2	112
2º corte	NS	-	-	112
PB				
1º corte	29.01 - 1.22 Tm	0.69	4.2	112
2º corte	NS	-	-	112
Evapotranspiraci3n potencial (ETP)				
MS				
1º corte	7.32 + 0.202 ETP	0.36	2.6	112
2º corte	69.7 + 1.2 ETP	0.62	2.4	112
FAD				
1º corte	12.4 + 0.33 ETP	0.47	3.5	112
2º corte	-14.1 + 0.65 ETP	0.21	3.1	112
FND				
1º corte	25.7 + 0.57 ETP	0.48	5.9	112
2º corte	-8.08 + 0.92 ETP	0.34	3.3	112
MOD				
1º corte	78.4 - 0.326 ETP	0.65	2.3	112
2º corte	104.1 - 0.59 ETP	0.28	2.4	112
PB				
1º corte	28.4 - 0.29 ETP	0.38	3.7	112
2º corte	107.7 - 1.26 ETP	0.66	2.3	112

3. Conclusiones parciales

La producción de materia seca incrementó con el aporte de purín y entre sistemas, a la misma dosis, la inyección es numéricamente mayor. Las extracciones de N y P mejoran sensiblemente con la inyección. Las eficiencias de utilización del N ($\text{kg MS kg}^{-1} \text{ N}$; $\text{kg N kg}^{-1} \text{ N aplicado}$) y P ($\text{kg P kg}^{-1} \text{ P aplicado}$), disminuyen al incrementar los aportes de purín, mejorando con la inyección. En todos los casos, el índice de nutrición nitrogenada es mayor en el primer corte, incrementando con el aporte de N. La concentración de N y P del forraje son superiores en inyección, mientras con la dosis de purín, algunos parámetros analíticos sufren ligeras modificaciones. A las dosis ensayadas, la aplicación de 80 t ha^{-1} en inyección se obtiene los mismos efectos que 130 t ha^{-1} en convencional.

4. Bibliografía

AARTS, H.; BIEWINGA, M.; VAN KEULEN, H. 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **40** (3), 285-299.

ADELI, A.; VARCO, J. 2001. Swine lagoon effluent as a source of nitrogen and phosphorus for summer forage grasses. *Agronomy Journal*, **93**, (5), 1174-1181.

BAEZ, M.D.; CASTRO, J.; GARCIA, M.; VALLADARES, J. 2008. Producción de biomasa y extracción de nitrógeno en una pradera fertilizada con purines de vacuno y porcino. Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas. Córdoba (España), 207-294.

BALL, P.; LUSCOMBE, P.; GRANT, D. 1982. Nitrogen on Hill Country. "Nitrogen Fertilisers in New Zealand Agriculture" ed. P.B. Lynch *New Zealand Institute of Agricultural Sciences*, 133-147.

BELANGER, G.; ZIADI, N. 2008. Phosphorus and Nitrogen Relationships during Spring Growth of an Aging Timothy Sward. *Agron J.* **100**, 1757-1762.

BRADY, N.; WEIL, R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13th ed. New Jersey, USA. ISBN 0-13-016763-0.

BUSSINK, D.; HUIJSMANS, J.; KETELAARS, J. 1994. Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry surface applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **42** (4), 293-309.

COLMENNE, C.; MEYNARD, R.; REAN, E.; JUSTES, E.; MERRIEN, A.; 1998. Determination of a critical nitrogen utilization vurce for winter oilseed rape. *Ann. Bot* (London) **81**, 311-317.

COOPER, J.; TAINTON, N. 1968. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. *Herbage Abstr.* **38**, 167-176.

CUTTLE, S.; SCHOLEFIELD, D. 1995. Management options to limit nitrate leaching from grassland. *Journal of Contaminant Hydrology* **20**, 299-312.

DAVIES, D. 2000. The nitrate issue in England and Wales. *Soil Use and Management* **16**, 142-144.

DEINUM, B., VAN EST, A.; VAN SOEST, P. 1968. Climate and grass. 2. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on in vitro digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures. *Neth. J. Agric. Sci.* **16**, 211-233.

DEINUM, B.; DIRVEN, J. 1974. A model for the description of the effects different environmental factors on the nutritive value of forages, pp. 338-346. In V.G. Iglovikov and A.P. Moscajants (eds), Proc. 12th Int. Grassl. Congr. Moscow, U.S.S.R. 11-20. Izd-vo MIR, Moscow.

- de KLEIN C.; van LOGGTESTIJN, R.; van de MEER, H.; GEURINK, J. 1996. Nitrogen losses due to denitrification from cattle slurry injected into grassland soil with and without a nitrification inhibitor. *Plant and Soil*, Vol. **183**, Number 2, 161-170.
- FALES, S. 1986. Effects of temperature on fiber concentration, composition and in vitro digestion kinetics of tall fescue. *Agron. J.* **78**, 963-966.
- FICK, G.; HOLT, D.; LUGG, D. 1988. Environmental physiology and crop growth. Pp. 163-194. In A.A. Hanson, D.K. Barnes, and R.R. Hill, Jr. (eds), *Alfalfa and alfalfa improvement. American Society of Agronomy Monograph Series*. Madison, W.I.
- FORD, C.; MORRISON, I.; WILSON, J. 1979. Temperature effects on lignin, hemicelluloses and cellulose in tropical and temperate grasses. *Ant. J. Agri. Res.* **30**, 621-634.
- GALLOWAY, J.; COWLING, E.; SEITZINGER, S.; SOCOLOW, R. 2002. Reactive nitrogen: Too much of a good thing? *Ambio*. **31**, 60-63.
- GILLINGHAM, A.; GRAY, M.; SMITH, D. 1998. Pasture responses to phosphorus and nitrogen fertilisers on dry hill country. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* **60**, 135-140.
- GOLTERMANN, H. 2001. Phosphate release from anoxic sediments or "what did Mortimer really write?" *Hydrobiologia*. **450**, 99-106.
- EGHBALL, B.; WIENHOLD, B.; GILLEY, J.; EIGENBERG, R. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.* **57**, 470-473.
- FOX, L. 1993. The chemistry of aquatic phosphate: inorganic processes in rivers. *Hydrobiologia*. **253**, 1-16.
- GILLINGHAM, A.; GRAY, M.; MORTON, J. 2004a. Animal production, economic results, and lessons from nitrogen fertiliser use on dry hill country. *Proceedings of the New Zealand Grassland Society* **66**, 35-39.
- GILLINGHAM, A.; GRAY, M.; MACMILLAN, S. 2004b. Fertiliser nitrogen effects on hill pasture and on grazing ewes. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* **66**, 163-169.
- GREENWOOD, D.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOOT, A.; MILLARD, P.; NEETESON, J. 1991. Growth rate and % N of field grown crops: Theory and experiments. *Ann. Bot. (London)* **67**, 181-190.
- GÜSEWELL, S.; KOERSELMAN, W. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **5**, 37-61.
- GÜSEWELL, S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* **164**, 243-266.

HENKENS, P.; VAN KEULEN, H. 2001. Mineral policy in the Netherlands and nitrate policy within the European community. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **49** (2/3), 117-134.

HUIJSMANS, J.; HOL, J.; BUSSINK, B. 1997. Reduction of Ammonia Emission by New Slurry Application Techniques on Grassland. In: S.C. Jarvis & B.F. Pain, (Eds.) *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. CAB International, Wallingford, 281-285.

HOLDREN, Jr., G.; ARMSTRONG, D. 1980. Factors affecting phosphorus release from intact lake sediment cores. *Environment Science and Technology*. **14**, 79-87.

JARVIS, S.; MACDUFF. 1989. Nitrate nutrition of grasses from steady-state supplies in following solution culture following nitrate deprivation and/or defoliation: I Recovery of uptake and growth and their interactions. *J. Exp. Bot.* **40** (218), 965-975.

JARVIS, S. 2000. Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils. *Soil Use and Management* **16**, 152-156.

JARVIS, S.; SCHOLEFIELD, D.; PAIN, B. 1995. Nitrogen cycling in grazing systems. In: Bacon, P.E. ed. *Nitrogen fertilization in the environment*. Marcel Dekker, New York, 381-419.

JARVIS, S.; AARTS, H. 2000. Nutrient management from a farming systems perspective. *Grassland Science in Europe* **5**, 363-373.

JEFFREY, D. 1998. General concepts in eutrophication. pp. 1-9. In Wilson, J.G. (ed.). *Eutrophication in Irish waters*. Royal Irish Academy, Dublin.

JENSEN, L.; PEDERSEN, I.; HANSEN, T.; NIELSEN, N. 2000. Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *European Journal of Agronomy*, **12**, 23-35.

JEUFFROY, M.; MEYNARD, J. 1997. Azote: Production agricole et environnement: p. 370-380. In Jean-François Morot-Gaudry (ed.) *Assimilation de l'azote chez les plantes: Aspects physiologique, biochimique et moléculaire*. INRA. Paris.

KEMPPAINEN, E. 1986. Effect of cattle slurry injection on the quantity and quality of barley and grass yield. In: A. Dam Kofoed, J.H. Williams & P. L'Hermite (Eds.): *Efficient land use of sludge and manure*. London, Elsevier Applied Science Publishers, 64-72.

KOERSELMAN, W.; MEULEMAN, A. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* **33**, 144-1450.

LAMBERT, M.; CLARK, D. 1986. Effects of late-autumn nitrogen application on hill country pastures and sheep production. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* **47**, 211-215.

- LAMBERT, M.; MACKAY, A.; DEVANTIER, B.; MCDOUGALL, D.; BARKER, D.; PARK-NG, Z. 2003. Redefining the production potential of hill pastures using fertiliser nitrogen. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 65, 35-40.
- LEDGARD, S.; BRIER, G.; GILLINGHAM AND, A.; SHEATH, G. 1983. Influence of some soil and pasture components on the growth of hill country pastures 2. Response to nitrogen fertilizer. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 11, 251-256.
- LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de pr6l6vement d'azote pour un peuplement de gramin6es fourrag6res: I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie (Paris)* 4 (5), 423-430.
- LEMAIRE, G.; F. GASTAL. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. P. 3-44. In G. Lemaire (ed) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer. Verlag. Berlin, Germany.
- LEMAIRE, G.; CHARRIER, X.; HERBERT, Y. 1996. Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. *Agronomie (Paris)* 16, 231-246.
- LI, W.; ARMSTRONG, D.; WILLIAMS, J.; HARRIS, R.; SYERS, J. 1972. Rate and extent of inorganic phosphate exchange in lake sediments. *Soil Science Society of America Proceedings*. 36, 279-285.
- LOCKYER, D.; PAIN, B.; KLARENBECK, J. 1989 Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environ. Poll.* 56, 19-30.
- MARINO, M.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S.; GASTAL, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agron. J.* 96, 601-607.
- MARSCHNER, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd. Academic Press, London.
- MILLARD, P. 1988. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. *Plant Cell. Environ.* 11, 1-8.
- MINSON, D.; McLEOD, M. 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. *Proc. XI Int. Grassl. Congr.*, Surfers Paradise, Queensland, Australia. 719-722.
- MISSELBROOK, T.; NICHOLSON, F.; JOHNSON, R.; GOODLASS, G. 2001. Development of a simple predictive model for ammonia volatilization following land application of manures. *Proceedings, NJF-Seminar n° 320*, Denmark, 16-19 January. *Sustainable handling and utilization of livestock manure from animals to plants*.
- MOTAVALLI, P.; KELLING, K.; CONVERSE, J. 1989. First-year nutrient availability from injected dairy manure. *J. Environ. Qual.* 18, 180-185.
- OENEMA, O.; PIETRZAK, S. 2002. Nutrient management in food production: achieving agronomic and environmental targets. *Ambio*, 31 (2), 159-168.

OENEMA, O.; BERENTSEN, P. 2005. *Manure policy and MINAS: regulating nitrogen and phosphorus surpluses in agriculture of the Netherlands*. OECD, Paris. OECD Report no. COM/ENV/EPOC/CTPA/CFA(2004)67/FINAL.

OYANARTE, M.; BESGA, G.; RODRIGUEZ, M.; DOMINGO, M.; SINCLAIR, A. 1997. Balanced pasture fertilization in the Basque Country: I. Phosphorus and potassium budgets on dairy farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **47**, 261-269.

PAIN, B.; Broom, D. 1978. The effects of injected and surface-spread slurry on the intake and grazing behaviour of dairy cows. *Animal Production* **26**, 75-83.

PENNING DE VRIES F.; KRUL, J.; VAN KEULEN, H. 1980. Productivity of Sahelian rangelands in relation to the availability of nitrogen and phosphorus from the soil. In: Rosswall T, eds. *Nitrogen cycling in West African ecosystems*. Uppsala, Sweden: SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit, Royal Swedish Academy of Sciences, 95-113.

PHILIPS, V.; PAIN, B.; CLARKSON, C.; KLARENBECK, J. 1990. Studies on reducing the odour and ammonia emissions during and after landspreading of animal slurries. *Farm Buildings and Engineering* **7**, 17-23.

PRINS, W. 1980. Changes in quantity of mineral nitrogen in three grassland soils as affected by intensity of nitrogen fertilization. *Fertilizer Research* **1**, 51-63.

REES, Y.; PAIN, B.; PHILIPS, V.; KLARENBECK, J. 1992. The influence of surface and subsurface methods for pig slurry application on herbage yields and nitrogen recovery. *Grass and Forage Science* **48**, 38-44.

REICH, P.; OLEKSYN, J. 2004. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **101**, 11001-11006.

REITZ, P.; GALLMANN, E.; KUTZBACH, H. 1999. Measurement of ammonia emissions after slurry application to grassland: influence of application techniques. *Int. Agrophysics* **13**, 149-155.

RODR3GUEZ, M. 1992. Recomendaci3n de abonado para las praderas en base al ciclo de mantenimiento de los nutrientes. *II Xornadas Pratenses*. Lugo 25 al 28 de abril, 61-80.

SALCEDO, G. 2000. Degradabilidad ruminal de la hierba en praderas aprovechadas bajo pastoreo rotacional, en la zona costera de Cantabria. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* Vol. **15** (3), 125-135.

SALCEDO, G. 2004. El trigo (*Triticum aestivum*) utilizado como forraje en la zona costera de Cantabria: (2) Predicci3n de la producci3n, valor nutritivo y degradabilidad ruminal. *XLIV R.C. de la SEEP.*, 309-315. Salamanca (Espa1a).

SALCEDO, G. 2008. Interpretaci3n de an3lisis y recomendaciones de abonado en praderas. Jornada T3cnica Suelos Agr3colas en Cantabria. (CIFA), 10-11-08.

SCHINDLER, D. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes: natural mechanisms compensate for deficiencies of nitrogen and carbon in eutrophied lakes. *Science*. **195**, 260-262.

SHARPLEY, A.; REKOLAINEN, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. pp. 1-54. In Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C., and Johnston, A.E. (eds.). Phosphorus loss from soil to water. CAB (Centre of agriculture and biosciences) International. Oxon.

SIMMELSGAARD, S. 1998. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management* **14**, 30-36.

SMITH, K.; CHAMBERS, B. 1995. Muck from waste to resource - utilization: the impacts and implications. *Agricultural Engineering*: 33-88.

SOMMER, S.; OLESEN, J. 1991. Effects of dry-matter content and temperature on ammonia loss from surface-applied cattle slurry. *Journal of Environmental Quality* **20**, 679-683.

SOMMER, S.; OLESEN, J.; CHRISTENSEN, B. 1991. Effects of temperature, wind-speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *Journal of Agricultural Science* **117**, 91-100

SOMMER, S.; G3NERMONT, S.; CELLIER, P.; HUTCHINGS, N.; OLESEN, J.; MORVAN, T. 2003. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy* **19**, 465-486.

SOMMER, S.; HUTCHINGS N. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. *European Journal of Agronomy* **15**, 1-15.

SORENSEN, P.; JENSEN, E. 1995. Mineralization-immobilization and plant uptake of nitrogen as influenced by the spatial distribution of cattle slurry in soils of different texture. *Plant and Soil*, **173**, 283-291.

SORENSEN, P.; AMATO, M. 2002. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, **16**, 81-95.

SVENSSON, L. 1994. Ammonia volatilization following application of livestock manure to arable land. *Journal of Agricultural Engineering Research* **58** (4), 241-260.

TAMMINGA, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science*, **74** (12), 3112-3124.

TAMMINGA, S. 2003. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. *Livestock Production Science*, **84** (2), 101-111.

TANNER, C.; CLAYTON, J.; UPSDELL, M. 1995. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands - I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. *Water Resources*. **29**, 17-26.

- TESSIER, J. RAYNAL, D. 2003. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology* **40**, 523-534.
- THOMPSON, R. ; RYDEN, J.; LOCKYER, D. 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *J. Soil Sci.* **38**, 689–700.
- THOMPSON, R.; PAIN, B.; REES, Y. 1990. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. 2. Influence of application rate, wind- speed and applying slurry in narrow bands. *Plant and Soil* **125**, 119-128.
- UNWIN, R.; PAIN, B.; WHINHAM, W. 1986. The effect of rate and time of application of nitrogen in cow slurry on grass cut for silage. *Agric. Wastes* **15**, 253–268.
- VAN DER MEER, H.; THOMPSON, R.; SNIJDERS, P.; GEURINK, P. 1987. Utilization of nitrogen from injected and surface spread cattle slurry applied to grassland. In: H.G. Van Der Meer, R.J. Unwin, T.A. Van Dijk & G.C. Ennik (Eds.), *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences Vol. 30*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 47-71.
- VANDRÉ, R.; CLEMENS, J. 1997. Studies on the relationship between slurry pH, volatilization processes and the influence of acidifying additives. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **47**, 157-165.
- VAN BREEMEN, N.; BURROUGH, P.; VELTHORST, E.; VAN DOBBEN, H.; DE WIT, T.; RIDDER, T.; REIJNDERS, H. 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* **299**, 548–550.
- VERHOEVEN, J.; KOERSELMAN, W.; MEULEMAN, A. 1996. Nitrogen or phosphorus limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes. *Trends in Ecology & Evolution*, Volume **11**, Issue 12, 494-497.
- WADMAN, W. 1988. Slurry injection. Suitability, advantages and problems. Mestinjectie. Mogelijkheden, voordelen en problemen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 1. Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), Wageningen, 64 pp (in Dutch).
- WASSEN, M.; VENTERINK, H.; LAPSHINA, E.; TANNEBERGER, F. 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* **437**, 547-550
- WHITEHEAD, D. 1995. *Grassland nitrogen*. Wallingford, Oxon, UK. CAB International.

Conclusiones finales

1. Para producciones medias diaras de 30 kg⁻¹ vaca y día, los excesos de proteína metabolizable varían desde +3.3% a 11.9%, equivalentes a 117 gramos por día.
2. En los sistemas de producción lechera estudiados el exceso en la ingesta de fósforo es una práctica habitual, con valores medios de 0.40% sobre materia seca.
3. La variable más influyente que afecta a la excreción de N y P es el consumo de ambos. Ingestiones de N superiores a 600 gramos vaca y día no se optimiza la eficiencia de utilización del N, pero sí, incrementa la excreción a través de las heces y orina, sin efectos sobre la producción y digestibilidad de la dieta.
4. La compra de materia seca, nitrógeno, energía neta leche y fósforo en las explotaciones lecheras de Cantabria representa el 73%, 73.4%, 68% y 70.3% respectivamente. La diferencia a 100 corresponde a los nutrientes producidos en la explotación.
5. El aumento de producción de leche reduce el metano. En términos absolutos, los sistemas intensivos producen más metano por vaca lechera que los semiintensivos, pero menos por litro de leche. Mejoras de carácter alimenticio como la adición de semillas oleaginosas, aumentos de digestibilidad en los forrajes (mayor formación de propiónico a nivel ruminal); entre otros, contribuyen a reducirlo.
6. La eficiencia en la gestión del estiércol, reduce las emisiones de CH₄ y N₂O. Para ello, el tipo de fosa (dimensionado, abierta o cerrada); tiempo de almacenaje (al aumentar la maduración del estiércol se reduce la fase acidogénica en campo); sistema de aplicación (con el actual se pierde mucho NH₄ que escapa a la atmósfera en forma de NH₃).
7. Medioambientalmente, las explotaciones presentan bajos índices de acidificación y elevados índices de eutrofización por litro de leche, atribuido al aporte de purín, alta carga ganadera y elevado contenido en fósforo.

8. La composición química del purín es similar a otras zonas del norte de España.
9. La carga ganadera en las explotaciones de Cantabria es elevada, dando lugar a excedentes de N y P, como la diferencia entre entradas y salidas, equivalentes a 435 y 68 kg ha⁻¹; bajas eficiencias globales de la explotación, con porcentajes medios de 27.5 para el N y altas para el fósforo.
10. A nivel de suelo, aportes de 40 toneladas de purín por hectárea, incrementa la concentración de N, sin efectos relevantes sobre su composición físico-química y parecen dosis razonables para obtener producciones de 7000 a 8000 kg MS ha⁻¹ en asociaciones de triticale x guisantes o triticale x habines, dando lugar a eficiencias de utilización (kg MS kg⁻¹ N aplicado; kg N kg⁻¹ N aplicado; kg P kg⁻¹ P aplicado).
11. En cultivos forrajeros de invierno (triticale, habines, guisantes y veza-avena), la concentración de N en el forraje disminuye al incrementar la producción. A las dosis de N ensayadas, el índice de nutrición nitrogenada (INN) se mantiene próximo a 1, señalado en la bibliografía como fertilización adecuada desde el punto de vista medioambiental.
12. La rotación más interesante para las condiciones edafoclimáticas de Cantabria es la integrada por triticale x guisantes o o triticale x habines y maíz.
13. Aplicaciones de purín mediante el sistema de inyección, mejora sustancialmente las extracciones de N y P, por añadidura su concentración en la hierba; reduciéndose significativamente las emisiones de amoníaco. Aplicaciones anuales de 80 t ha⁻¹ se obtienen los mismos efectos que a dosis de 130 t ha⁻¹.

Actuaciones futuras

Transferir y sensibilizar mediante campañas de formación al subsector productor de leche (ganaderos, técnicos, cooperativas, empresas de servicio, etc.), la importancia medioambiental y económica que representa **la minimización en origen** de los efectos que el MANEJO de NUTRIENTES ejerce sobre los gases de efecto invernadero en las explotaciones lecheras de Cantabria.

Desarrollo de aplicaciones informáticas orientadas a minimizar el balance de nutrientes que optimicen los recursos propios de la explotación, integrado en cuatro áreas:

1. Plan de alimentación del ganado
2. Plan de fertilización de praderas y cultivos forrajeros
3. Plan forrajero
4. Coste medioambiental

Son necesarios más estudios a nivel de campo (praderas y cultivos forrajeros), de cómo afecta la aplicación del purín y el sistema de aplicación sobre los lixiados de nitratos y nitritos en el agua de las capas profundas del suelo.

