

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARA NAVARRA (2010). *Navarra en datos. Principales indicadores económicos, demográficos y de empleo*. http://www.camaranavarra.com/userfiles/informacion_economica/A_presentacion
- CORNELL UNIVERSITY (2009). *Plants poisonous to livestock. Glucosinolates*. <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/glucosin.html#symptoms>
- GOBIERNO DE NAVARRA (2011). Superficies y producciones agrícolas. *Coyuntura agraria*. <http://www.cfnavarra.es/agricultura/COYUNTURA/coyuntura.htm>
- ITG GANADERO S.A. (2011). *La ganadería en Navarra. Pasado y presente*. Pamplona: Ed. Gobierno de Navarra.

Análisis de las variables que influyen en la eutrofización de las explotaciones lecheras en Cantabria

Analysis of the variables influencing eutrophication in Cantabria dairy farms

G. SALCEDO

I.E.S. La Granja, Departamento de Tecnología Agraria. Heras 39792, Cantabria
gregoriosalce@ono.com

Resumen: Este trabajo analiza las variables más relacionadas del impacto ambiental mediante la estimación del potencial de eutrofización (EP, $\text{kg PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$) y su predicción en 13 explotaciones lecheras (4 semiintensivas -S- y 9 intensivas -I-) de Cantabria, durante los años 2007 y 2008. Los resultados mostraron mayor EP por hectárea, por tonelada de leche y por UGM en las granjas I ($P < 0,001$), con valores medios para el conjunto de explotaciones de 309, 10,3 y 71 kg respectivamente para los parámetros citados anteriormente. El modelo elegido para estimar el EP considera el N del purín+fertilizantes (kg ha^{-1}), la eficiencia de P_2O_5 de la explotación (%), el P_2O_5 comprado en forma de alimentos y fertilizantes (kg ha^{-1}) y la leche producida (kg ha^{-1}). En las granjas I, el N del purín+fertilizantes; la eficiencia; la producción de leche y la compra de P_2O_5 son las variables más relevantes, mientras que en las granjas S las variables de mayor relevancia son el N del purín+fertilizante, la eficiencia y la compra de fertilizantes y alimentos.

Palabras clave: Impacto ambiental, alimentación, regresión lineal múltiple.

Abstract: This work analyzes the variables related to the environmental impact by estimating the potential for eutrophication potential (EP, PO_4^- , kg ha^{-1}) and its prediction in 13 dairy farms (4 semiintensive -S- and 9 intensive -I-) of Cantabria, in the years 2007 and 2008. The results showed higher EP per hectare, per ton of milk and LSU in the I farms ($P < 0.001$), with mean values for all farms of 309, 10.3 and 71 kg for the parameters above mention, respectively. The model chosen to estimate the EP considers: *N manure + fertilizer* (kg ha^{-1}); *efficiency P_2O_5 of farm, %*; *P_2O_5 as feed and fertilizer purchased, kg ha^{-1} and milk* (kg ha^{-1}). In the intensive farm *N manure + fertilizer, milk production and purchase of P_2O_5* are the most relevant variables. Meanwhile, in the semiintensive, the manure + fertilizer, the efficiency and the purchase of fertilizers and food are very relevant.

Key words: environmental impact, feeding, multiple linear regression.

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera conlleva un elevado consumo de alimentos por parte de los animales y de fertilizantes, acumulándose parte del N y P en el suelo. Estos compuestos pueden ser arrastrados a los ríos, lagos o emitidos en forma de gases a la atmósfera en un elevado porcentaje. La armonía entre las entradas y salidas de nutrientes en el sistema productivo contribuye a reajustar los desequilibrios nutritivos, ambientales y económicos. A nivel de explotación el surplus es la diferencia entre las entradas de N y P en forma de fertilizantes, alimentos y animales principalmente y las salidas en leche, carne, estiércol y cultivos. La producción animal tiene un importante papel en la eutrofización por N, principalmente NO_x , NH_x , NO_3^- , y sus principales efectos son: a) cambio en la vegetación hacia especies nitrófilas; b) cambios del balance nutritivo en el suelo, poniendo en riesgo la vegetación y c) incrementos de nitrato en aguas profundas por lixiviados (Lekkerkerk *et al.*, 1995). La eutrofización por fósforo

(PO_4^-) causa crecimiento excesivo de algas y plantas superiores. Cuando abundan y tras su muerte, consumen el oxígeno disuelto en el agua, como consecuencia de la degradación microbiana, reduciendo la capacidad de vida de los animales acuáticos. El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos de regresión múltiple que estimen el potencial de eutrofización de explotaciones lecheras con diferente sistema de producción en Cantabria

MATERIAL Y MÉTODOS

Trece explotaciones lecheras fueron seleccionadas y clasificadas en función del grado de intensificación: 4 *semiintensivas* (alimentación disociada) y 9 *intensivas* (alimentación unifeed). El número total de animales fue de 1653 UGM; de las cuales, 1040 son vacas lecheras, representado el 1% de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Las principales características técnico-productivas de los sistemas estudiados vienen reflejadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características técnico-productivas de las explotaciones.

	Intensivas			Semiintensivas		
	Medias	Mín.	Máx	Medias	Mín.	Máx
ST, ha ⁻¹	35,5	15	70	20,7	13	26
SP, ha ⁻¹	20,3	0	34	16,5	4	26
SM, ha ⁻¹	14	0	65	4	5	16
UGM	147	65	300	81	48	123
UGM ha ⁻¹	4,43	1,92	8,04	3,97	2,13	5,95
Nº VL	91	37	172	53	26	90
Leche, L VL ⁻¹ año ⁻¹	11986	7386	16757	9584	6310	15957
Cuota, t ¹	945	365	2050	395	210	566
Forraje, kg MS VL ⁻¹ año ⁻¹	3790	1919	5088	4233	3226	6059
Concentrado, kg MS VL ⁻¹ año ⁻¹	4095	2409	5427	3270	2317	4212
Fertilizante, kg N ha ⁻¹	32	0	133	30	0	92
Fertilizante, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	1,26	0	63	2,99	0	96

ST: superficie total; SP: superficie pradera; SM: superficie maíz; UGM: Unidad Ganado Mayor; VL: vacas lecheras

El consumo de alimentos, producción de leche, compra y venta de animales y entrada de fertilizantes fue monitorizada mensualmente durante los años 2007 y 2008. El N y P₂O₅ de alimentos, fertilizantes y compra de animales, N fijado por las leguminosas y el N atmosférico son considerados como entradas y la venta de leche y animales las salidas. La eficiencia como: [(Entradas-Salidas) X 100] / Entradas. Las excretas de N y P fueron estimadas a partir de trabajos previos desarrollados en nave metabólica con vacas lecheras (Salcedo, 2006 y 2007). Las emisiones de NO del estiércol se estimaron según Payraudeau *et al.* (2006). Los coeficientes de caracterización del *potencial de eu-*

trofización son los indicados por Heijungs *et al.* (1992) como: NO_x = 0,13; N = 0,42 y P = 3,06 expresados en kilos de PO₄⁻. El N y P proceden del Surplus en kg ha⁻¹.

Los resultados del balance de N, P₂O₅ y la EP se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor (sistema de producción) con el paquete estadístico SPSS (11,0). Previo al análisis de regresión se realizó una exploración de correlaciones de Pearson entre las variables más influyentes que actúan sobre la variable dependiente a analizar. Más tarde se desarrolló un análisis de regresión paso a paso, diagnosticando el estadístico de colinealidad de las variables independientes utilizando el factor de incremento de la varianza (FIV). Se consideró 10 como factor de corte. Por último, el modelo mejor considerado se analizó para cada uno de los sistemas de producción: “intensivos vs semiintensivos”. Los criterios para seleccionar el modelo fueron: a) que las variables independientes elegidas sean fácilmente medibles, o al menos, se disponga de información en la explotación; b) que las variables independientes elegidas estén señaladas en la literatura como relevantes sobre la “Eficiencia, %”; c) que las variables incluidas en los modelos sean significativas; d) controlar la mayoría de las variables y evitar estimadores sesgados; e) cumplir todas las hipótesis de regresión múltiple; f) que el coeficiente de determinación (R²) sea moderado (<0,2 y >0,5) y el error estándar bajo; g) lograr un bajo grado de multicolinealidad y h) obtener modelos con una máxima capacidad de predicción.

Se estudiaron dos coeficientes diferentes en orden a evaluar el impacto de cada variable independiente en la variable dependiente y la relativa importancia de aquellas variables independientes: a) los coeficientes no estandarizados y b) estandarizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance de N, P y EP

El surplus de N (S_N) para el conjunto de explotaciones es de 435 kg ha⁻¹ año (tabla 2), presentando diferencias entre los sistemas de producción estudiados, aunque en ambos casos el surplus fue superior al observado en explotaciones lecheras de Flandes (238 kg N ha⁻¹, Nevens *et al.*, 2006) y del País Vasco (257 kg N ha⁻¹, del Hierro *et al.*, 2007). También en ambos casos fue inferior a los 502 kg N ha⁻¹ observados en sistemas intensivos del norte de Portugal (Raison *et al.*, 2006). El surplus de P₂O₅ (S_P) para el conjunto de explotaciones es inferior a los 109 kg ha⁻¹ señalados por del Hierro *et al.* (2007) en explotaciones del País Vasco, Galicia y Norte de Portugal y diferentes entre sistemas de producción (tabla 2). La eutrofización potencial por hectárea (EP ha⁻¹); t⁻¹ de leche y UGM⁻¹ estimada es superior en las explotaciones intensivas (tabla 2). La EP estimada en los sistemas lecheros de Cantabria considerados es mayor que los valores publicados por Haas *et al.* (2001) para explotaciones intensivas (54 kg PO₄⁻), extensivas (31 kg PO₄⁻) y ecológicas (14) y 31,4 y 19 en las explotaciones convencionales y ecológicas de Suecia (Caderberg y Mattson, 2000), imputable al mayor grado de intensificación. Los semiintensivos presentan una menor EP por tonelada de leche que los

intensivos (tabla 2), pero superior a 7,5 kg señalado por Basset-Mens *et al.* (2005) en explotaciones convencionales de Suecia y a 6 g señalado por el Boletín de la Federación Internacional Lechera (Bruselas, 2009).

El contenido medio de P en los piensos de las vacas lecheras es de 0,55% y el de la dieta de 0,43% en los intensivos y 0,36% en los semiintensivos. El contenido de N medio de los ensilados de hierba en Cantabria es de 21 g kg⁻¹ MS (Salcedo, 2010), ligeramente superior a 18 g (Sarmiento *et al.*, 1996) también en Cantabria. De la misma forma que puede reducirse el P de los concentrados, se puede incrementar el N de los ensilados (reducirá el surplus de N), porque EP está formada mayoritariamente por el surplus de N y P ha⁻¹.

Tabla 2. Balance de Nitrógeno y Fósforo (kg N y P₂O₅ ha⁻¹ año) y Potencial de Eutrofización (kg PO₄).

	Conjunto		Intensivos		Semiintensivos		P	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
Entradas	587	148	653	162	439	118	***	***
Alimentos	549	147	615	161	400	117	***	***
Salidas	152	80	163	86	125	66	***	***
Surplus	435	68	489	76	314	52	***	***
Eficiencia global, %	27,5	60,7	25,5	55,9	31,8	71	***	***
Potencial de Eutrofización								
NO _x	1,66		1,72		1,5		***	
N	183		205		132		***	
P	92		102		70		***	
EP ha ⁻¹	276		309		203		***	
EP t ⁻¹ leche	9,8		10,3		8,5		***	
EP UGM ⁻¹	64		71		47		***	

P: nivel de significación, *** P<0,001

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre el “Potencial de Eutrofización, kg PO₄ ha⁻¹” y las variables independientes ordenadas de mayor a menor.

Variable independiente	kg PO ₄ ha ⁻¹	Variable independiente	kg PO ₄ ha ⁻¹
^a Surplus N, kg ha ⁻¹	0,93**	Leche, kg ha ⁻¹ (4)	0,66**
^a Surplus P, kg ha ⁻¹	0,89**	N ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0,65**
Purín + fertilizante, kg N ha ⁻¹ (1)	0,80**	UGM, ha ⁻¹ (3)	0,65**
P excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0,72**	Eficiencia global P, % (5)	-0,65**
N excretado, kg ha ⁻¹ (1)	0,69**	UGM totales (3)	0,64**
Vacas ordeño (3)	0,68**	P ingerido, kg ha ⁻¹ (2)	0,62**
P comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0,68**	Eficiencia global N, % (5)	-0,56**
N comprado, kg ha ⁻¹ (2)	0,68**	N explotación, kg ha ⁻¹ (2)	0,42**

(1) Grupo fertilizantes; (2) Grupo alimentos; (3) Grupo carga ganadera; (4) Grupo producción de leche; (5) Grupo eficiencia; **P<0,01; *: no incluida en los modelos por formar parte del método utilizado.

La tabla 3 señala las variables más influyentes sobre la EP, asignándose a diferentes grupos: *fertilizantes, alimentos, carga ganadera, producción de leche y eficiencia*. Los modelos desarrollados paso a paso y tomados como candidatos, que incluyen las variables independientes de los diferentes grupos vienen indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Desarrollo de diferentes modelos paso a paso con variables de todos los grupos.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Diagnóstico de colinealidad		±	R ²
	B	ET	β	Tolerancia	FIV			
Modelo 1a							56	0,85
Constante	200,8***	13,4						
N 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						
N 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						
N 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 comprado ha ⁻¹	0,409***	0,050	0,191	0,542	1,84			
Modelo 4a							42,5	0,91
Constante	157,3***	10,48						
N 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 comprado 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			

FIV: índice inflación de la varianza; ET: error típico de la estimación; *** P<0,001

El modelo aceptado como candidato para estimar el “Potencial de Eutrofización (kg PO₄ ha⁻¹)” es el [3a] (tabla 4). Las variables utilizadas son fácilmente medibles, los coeficientes de correlación son similares y el error estándar respecto al modelo [4a] son bajos, sin manifestar colinealidad. Las variables “Purín+fertilizante” y “Eficiencia de P, %” aparecen en todos los modelos con un coeficiente β no estandarizado similar al modelo [3a], explicando juntas más del 90% de la variabilidad de la eutrofización potencial por hectárea. El signo negativo del coeficiente no estandarizado de la “Eficiencia de P, %” es debido a la existencia de una relación inversa con la compra de alimentos, principalmente concentrados (tabla 3). De la compra de P y la eficiencia de utilización por parte del animal, dependerá la mayor o menor excreción de P en el

purín, por añadidura PO_4^- . Los coeficientes no estandarizados del modelo [3a] (tabla 4), indican que descensos de 1 kg de N del purín + fertilizantes, puede reducir la EP en 0,33 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$; aumentos de una unidad porcentual en la eficiencia global del P de la explotación pueden disminuir el EP en 2,41 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$, incremento de 1 kg de leche producido ha^{-1} y 1 kg de P comprado pueden aumentar el EP en 0,002 y 0,409 kg de $\text{PO}_4^- \text{ ha}^{-1}$ respectivamente.

A partir del modelo [3a] se seleccionó uno para explotaciones intensivas:

$EP = 204,6 (12) + 0,32 (0,018) \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 3,41 (0,16) \text{ Eficiencia P} + 0,003 (0,0003) \text{ Leche ha}^{-1} + 0,308 (0,049) \text{ P comprado ha}^{-1}$; $R^2 = 0,94$; $et = 39,8$

y otro para semi-intensivas:

$EP = 37,38 (25,4) + 0,42 (0,24) \text{ kg N purín+fertilizante, ha}^{-1} - 1,23 (0,18) \text{ Eficiencia P} + 1,51 (0,21) \text{ P comprado ha}^{-1}$; $R^2 = 0,93$; $et = 36,7$

Las diferencias en el orden de prioridad para las variables incluidas de cada modelo según el sistema de producción vienen indicadas en la tabla 5. En ambos modelos, la variable que puede descender los kg de PO_4^- , es la “Eficiencia de P” en la explotación, atribuible principalmente a la compra de alimentos. El “N purín+fertilizante” es la primera variable que incrementa la eutrofización potencial por hectárea de la explotación, atribuido al mayor consumo de N alimenticio respecto a las necesidades teóricas de los animales (NRC, 2001) en función de la producción de leche obtenida. El menor coeficiente estandarizado de la variable “Eficiencia de P” en los semi-intensivos es atribuido a la menor dependencia de fósforo alimenticio, como lo corrobora la mayor eficiencia global de la explotación (tabla 2).

Tabla 6. Orden de acción para descender o incrementar la EP, seguido de los coeficientes beta entre paréntesis obtenidos de cada sistema de producción a partir del modelo [3a].

Orden de acción: INTENSIVOS	Incrementa	Decrece
1		Eficiencia P (-0,467)
2	N Purín + fertilizante (0,499)	
3	Leche hectárea (0,268)	
4	Compra de P hectárea (0,17)	
Orden de acción: SEMINTENSIVOS		
1		Eficiencia P (-0,306)
2	N Purín + fertilizante (0,556)	
3	Compra de P hectárea (0,304)	

CONCLUSIONES

La compra de N y P en forma de alimentos representan los mayores *input*. El impacto ambiental estimado a partir del potencial de eutrofización es mayor en las explotaciones lecheras intensivas de Cantabria. Reducir la concentración de P y N en los concentrados y aprovechar la hierba joven para ensilado puede reducir la dependencia

externa, aumentando la eficiencia de la explotación. Se han desarrollado diferentes modelos matemáticos para ser incluidos en los programas de manejo del ganado lechero como una herramienta rápida y rentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASSET-MENS C., LEDGARD S. Y BOYES M. (2009). Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecol Econ.*, **68**, 1615-1625.
- CEDERBERG C. Y MATTSON B. (2000). Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming. *J. of Cleaner Production*, **8**, 49-60.
- DALGAARD T., HEIDMANN T. Y 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.
- HAAS G., WETTERICH F. Y KÖPKE U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **83**, 43-53.
- HeijUNGS, R., GUINÉE J. HUPPES G. LANKREIJER R. UDO DE HAES H. WEGENER SLEESWIJK A. ANSEMS A. EGGELS P. VAN DUIN R. Y DE GOEDE H. (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds*. Report N° 9266, Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, Leiden.
- HIERRO, O., ARTETXE, A. Y PINTO M. 2007. Proyecto Green Dairy: balances de N-P y márgenes económicos a nivel de explotación. En: *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*, pp 360-366. Vitoria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- LEKKERKERK L., HEIJ G. Y HOOTSMANS M. (1995). *Ammonia: the facts*. Report N° 300-06 Dutch priority program on acidification. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- NEVENS F., VERBRUGGER I. REHEUL K. Y HOFMAN G. (2006). Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flandes: Evolution and future goals. *Agricultural Systems*, **88**, 142-155.
- PAYRAUDEAU S., VAN DER WERF H. Y VERTES F. (2006). A method for estimating of emissions of nitrogen compounds for a group of farms. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, **5** (2-3) 224-246.
- RAISON C., PFLIMLIN A. Y LE GALL A. (2006). Optimisation of environmental practices in a network of dairy farms of the Atlantic Area. Dairy Systems and Environment in the Atlantic Area. *Proceedings of the Final Seminar of the Green Dairy Project*, pp 43-67. Institute of de l’Elevage, Rennes, France.
- SALCEDO DIAZ 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.
- 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. En: *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*, pp 409-414. Vitoria, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- SALCEDO DIAZ G. (2010). *Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria*. Documentos Técnicos de Medio Ambiente.
- SARMIENTO, M. SALCEDO G. Y GONZÁLEZ L.M. (1997). Calidad de los ensilados de hierba en la Comunidad Autónoma de Cantabria. *Actas de la XXXVI R.C. de la SEEP*. pp. 337-340. La Rioja, España: SEEP.
- SSPS 11 (2002). *Guía para análisis de datos*. Ed. McGraw-Hill.