

CONTROL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN PRADERAS A TRAVÉS DE LOS CICLOS DE NUTRIENTES.

Mercedes OYANARTE GUALLER¹, Gerardo BESGA SALAZAR², Marta RODRÍGUEZ JULIA³ y Margarita DOMINGO URIARTE⁴

¹ MENDIKOI - Escuela Agraria de Derio. Berreaga, 5. 48160 Derio (Bizkaia)

² NEIKER, Berreaga, 1 48160 Derio (Bizkaia)

³ Centro Comarcal de Salud Pública de Uribe Costa, Ikeaberri s/n 48190 Leioa (Bizkaia)

⁴ Dirección de Recursos Ambientales, D.O.T.V.M.A., LAKUA II, Duque de Wellington, 2. 01010 Victoria (Alava)

Abstract: A method for deriving fertilizer P and K requirements to maintain near-maximum production in permanent pastures based in nutrient cycles is proposed. Data from 17 dairy farms were used to obtain farm nutrient budgets and estimate fertilizer use efficiency. As pastures are not homogeneous a nutrient cycle at parcel level was developed to give fertilizer recommendations. The P and K pasture cycles were validated in 29 Basque Country pastures. It has to be pointed out the high inputs of nutrients to the farm through animal feed supplements (62.9 and 265 kg/ha of P and K, respectively) and an input of 30 kg K/ha from the soil. White clover N/P and N/K ratios come within the adequate critical ratio ranges when fertilizer recommendations are followed (in 1995, N/P, 11.99 and N/K, 1.70) showing the goodness of the fertilizer recommendation scheme developed.

Key words: Nutrient cycles, soil fertility, permanent pastures, phosphorus, potassium.

Resumen: Se propone un método para obtener las necesidades de fertilización de P y K basado en los ciclos de nutrientes con el objetivo de mantener niveles de producción cercanos al máximo en praderas permanentes. Se utilizaron datos de 17 explotaciones de vacuno de leche para obtener un balance de nutrientes a nivel de explotación y estimar la eficiencia en el uso de los fertilizantes. Dado que las praderas de una explotación no son homogéneas se ha elaborado un ciclo de parcela para dar recomendaciones de fertilización. Estos ciclos se validaron en 29 praderas del País Vasco. Destacan las fuertes entradas de nutrientes en la explotación a través de los suplementos (62.9 y 265 kg/ha de P y K, respectivamente) y un aporte de 30 kg K/ha por parte del suelo. Los cocientes N/P y N/K en trébol blanco entran dentro de los rangos críticos adecuados cuando se siguen las recomendaciones de fertilización dadas (en 1995, N/P, 11.99 y N/K, 1.70) indicando la bondad del sistema de fertilización desarrollado.

Palabras clave: Ciclos de nutrientes, fertilidad del suelo, praderas permanentes, fósforo, potasio.

INTRODUCCIÓN

Para alcanzar niveles altos de producción en praderas mejoradas de la Cornisa Cantábrica es necesario aplicar fósforo (P) y potasio (K),

así como nitrógeno (N). Para cuantificar la cantidad necesaria de fertilizantes que se deben aportar se pueden utilizar varias metodologías. La más usada es el análisis químico de los suelos para determinar el nivel de "nutrientes

disponibles" lo que ha llevado a muchos métodos empíricos que utilizan diversas soluciones extractantes (Andrew y Fergus, 1976). Este enfoque no ha sido totalmente satisfactorio en praderas pastadas, lo que no es una sorpresa ya que el aporte de fertilizantes es sólo una de las muchas fuentes de entradas al reservorio de nutrientes del suelo, y la absorción de nutrientes sólo uno de los procesos de extracción y salida de nutrientes del suelo. En Nueva Zelanda se utilizan los ciclos de nutrientes como base de las recomendaciones de mantenimiento de P y K en los pastos teniendo también en cuenta las condiciones climáticas, el manejo del pasto y del ganado, así como el historial de fertilización en el caso del P (Cornforth y Sinclair, 1982).

En la Cornisa Cantábrica el P es el elemento más limitante para el establecimiento de las praderas en terrenos de monte, si bien, se debe tener en cuenta su efecto residual para determinar las dosis de mantenimiento; el K da menores respuestas, pero la persistencia de las leguminosas depende en gran medida de la nutrición potásica de la pradera, y la fertilización nitrogenada se tiene que contemplar también desde este punto de vista (Gómez-Ibarlucea et al., 1981; Mombiela, 1986; Rodríguez y Domingo, 1987; Ruiz et al., 1974).

Hoy en día, la intensificación y especialización han llevado a un exceso de nutrientes en la agricultura y la fertilización se contempla tanto desde el punto de vista productivo como ambiental. Las pérdidas de N en praderas han recibido mucha atención (Jarvis et al., 1989) y se reconoce cada vez más que las pérdidas de P y K son también importantes. El principio de la fertilización equilibrada para aumentar la eficiencia de los fertilizantes empleados así como para disminuir el posible efecto ambiental de su aplicación en exceso se puede aplicar a nivel de explotación ganadera (Sinclair et al., 1993; van de Ham y Berghs, 1994) teniendo en cuenta todas las entradas y salidas de nutrientes en la explotación. En una situación desequilibrada se produce una acumulación o disminución de nutrientes en la explotación que se puede expresar en kg/ha por año. No obstante, en el País

Vasco, generalmente, las praderas de una explotación son poco homogéneas en cuanto a su productividad, manejo y, por supuesto, en cuanto a su situación geográfica. Por ello, es necesario elaborar ciclos específicos de nutrientes para las praderas consideradas de forma individual para calcular, de esta forma, las cantidades de nutrientes que son precisos aportar en la fertilización de mantenimiento. El objetivo de esta fertilización de mantenimiento es reemplazar los nutrientes perdidos y mantener el nivel adecuado de nutrientes del suelo para lograr un crecimiento óptimo de la hierba.

Si bien el concepto del ciclo de la pradera es sencillo, para llevar a cabo su cuantificación es necesario estimar una serie de parámetros para que sean de aplicación en las distintas zonas agroecológicas y para los distintos sistemas de manejo de las praderas. Es evidente que un sistema de fertilización de estas características debe ser validado para optimizar las estimaciones que se han debido adoptar en su desarrollo. En el presente artículo se describe el cálculo de los ciclos de la explotación y de la parcela, así como la validación llevada a cabo para comprobar la idoneidad de este esquema de fertilización.

MATERIAL Y MÉTODOS

Inicialmente se desarrollaron los ciclos de la explotación para el P y K en 17 explotaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV). Para ello se hizo un diagrama sencillo que permitiera cuantificar las transferencias de nutrientes en la explotación. En este ciclo se considera el área total de praderas de la explotación y las transferencias de nutrientes y las necesidades de fertilización se expresan en kg/ha (figura 1). Los nutrientes son extraídos del suelo por la hierba (A), y una pequeña parte vuelve al suelo a través de la hierba no usada (B). El resto lo comen los animales (D), ya sea en el pastoreo, o en la explotación. Esta D también incluye los nutrientes de los suplementos comprados fuera de la explotación (C). La leche contiene cantidades apreciables de P y K,

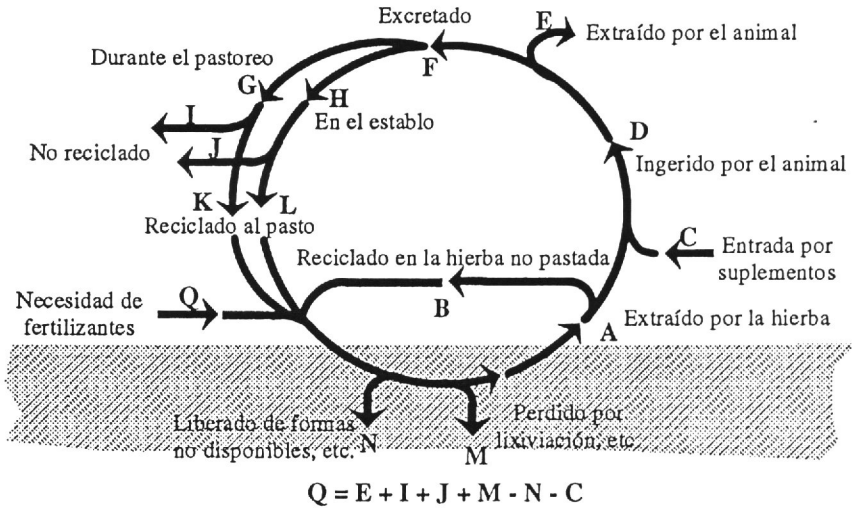


Fig. 1. Ciclo de nutrientes en explotación de vacuno de leche.

por lo tanto, representa una pérdida (E). El resto de los nutrientes ingeridos se excretan (F), ya sea cuando los animales están pastando (G) o cuando están en el establo (H). Una parte de estos nutrientes excretados se pierde efectivamente (I) porque se depositan en zonas de árboles, de majadal, etc. El resto (K) vuelve a la zona de pastos productiva y allí vuelve a utilizarse para el crecimiento de la hierba. Con respecto a los nutrientes excretados en el establo, la mayor parte vuelve al pasto en forma de estiércol o purín (L), pero algo se pierde (J) debido a la ineficiencia en el reciclaje. Una vez en el suelo, los nutrientes se pueden perder por lavado (como el K, que se excreta principalmente en la orina) o por cambios a formas no disponibles para las plantas (M). Por otra parte, se pueden liberar nutrientes de formas no directamente disponibles para las plantas (N). El fertilizante que hay que añadir al sistema para reemplazar las pérdidas netas es Q. Por lo tanto, para una fertilización de mantenimiento será necesario aplicar:

$$Q = E + I + J + M - N - C$$

Para estimar los parámetros del ciclo se controlaron las entradas, salidas y transferencias de nutrientes en 17 explotaciones del País Vasco.

Karlovsy (1983) definió la eficiencia en la utilización del P como el porcentaje del total de P aplicado anualmente (\bar{N}) absorbido por la hierba de la pradera (p.ej. $100 \times A/\bar{N}$) y determinó que en sistemas en equilibrio variaba entre el 70 y el 90%. De manera semejante se ha procedido con el K. Siguiendo esta metodología, los ciclos permiten hacer un balance de P y K en la explotación, estimar la eficiencia del fertilizante aplicado y los posibles aportes y pérdidas de P y K en suelo (Sinclair et al., 1991). Si todas las parcelas de la explotación fueran homogéneas en cuanto a su productividad, manejo y situación topográfica, se podría dar una recomendación de fertilización basada en el ciclo de la explotación. Dado que las distintas praderas tienen requerimientos específicos de nutrientes ha sido necesario elaborar un ciclo de nutrientes específico para cada pradera.

A continuación se muestra en la figura 2 el ciclo de nutrientes en una pradera individual. Los conceptos son relativamente semejantes a los del ciclo de la explotación pero los estiércoles y purines procedentes de los animales estabulados deben ser considerados como una fuente externa de nutrientes a la parcela. En este ciclo los nutrientes son extraídos por la hierba

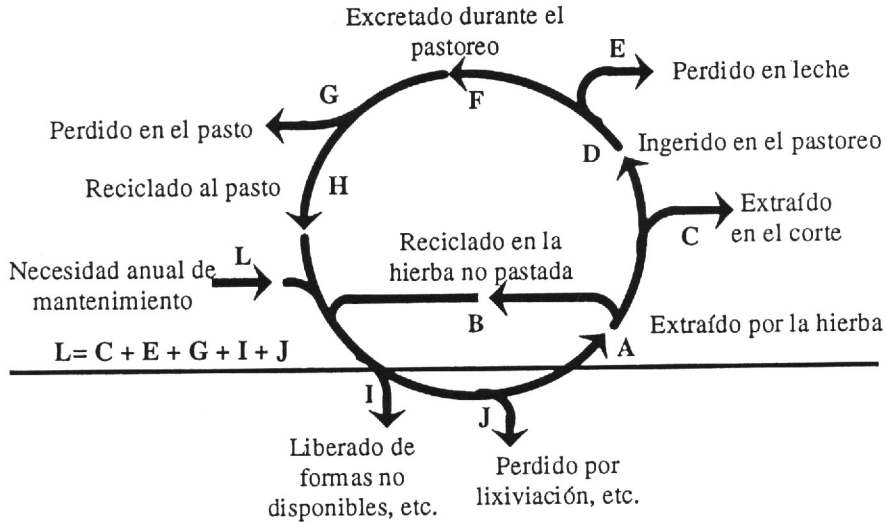


Fig. 2. Ciclo de nutrientes en praderas de explotaciones de vacuno de leche.

(A), parte vuelven al suelo procedentes del pasto no utilizado (B), otra parte son extraídos en el corte (C) y, finalmente, otra parte es ingerida durante el pastoreo (D). De los nutrientes ingeridos, una parte se pierde en la leche (E), y el resto se excreta en el campo (F). Una pequeña proporción de estos últimos se pierde al ser excretados en zonas no productivas (G), mientras que la parte restante se recicla efectivamente en la pradera (H), si bien en el suelo existen aportes a partir de formas no disponibles (I) y pérdidas por escorrentía y lixiviación (J).

Aunque los ciclos son de fácil cuantificación, para realizar su cálculo es necesario estimar varios parámetros para que sean de aplicación en las distintas zonas agroecológicas y para los distintos sistemas de manejo de las praderas: a) producción potencial de la pradera, b) producción destinada a corte y pastoreo, c) eficiencia en la distribución de excretas durante el pastoreo, y d) eficiencia en la utilización de la hierba. La información necesaria para estimar estos parámetros se obtuvo principalmente de los trabajos desarrollados

dentro de la CAPV por el Servicio de Investigación y Mejora Agraria (Rodríguez y Ascazibar, 1988) y por otros autores (Amella *et al.*, 1990; Maestre, 1992). Para facilitar la labor de cálculo y unificar criterios en la estimación de los parámetros citados se desarrolló el programa informático ADILUR (Oyanarte y Rodríguez, 1993). A este programa se le ha incorporado un ajuste de los niveles de fertilización de mantenimiento. Así, si el contenido de nutrientes del suelo es superior al considerado como adecuado (16 mg P/kg y 160 mg K/kg) será necesario menos fertilizante del calculado para el nivel de mantenimiento, y viceversa. Por tanto, en el programa una vez obtenida la fertilización de mantenimiento se utilizan los niveles de P y K en el suelo para ajustar la fertilización.

Una vez desarrollada la metodología para dar las recomendaciones de fertilización el siguiente paso es la validación del sistema (Oyanarte *et al.*, 1994). Para ello se han escogido 29 praderas distribuidas por la CAPV representativas de las distintas zonas edafoclimáticas y de los distintos sistemas de manejo. A finales de otoño de cada año (en el período 1992-1995)

se tomaban muestras de suelo y trébol blanco de las parcelas, y se recogía información sobre el manejo realizado ese año, tipo y cantidad de fertilizantes minerales y de estiércoles o purines aportados a la parcela. En la muestra de suelo se determinó el contenido de P Olsen (mg/kg) y K extraíble (mg/kg) con acetato amónico. En la muestra de trébol blanco se determinaron las concentraciones de N, P y K siguiendo los métodos del MAPA (MAPA, 1981). Los datos de la parcela y del análisis de suelo se introdujeron en el Programa ADILUR obteniéndose una recomendación de fertilización para el P y K. La fertilización recomendada por el programa se aportó a las parcelas bajo control. En el otoño siguiente se repite de nuevo todo el proceso obteniéndose de esta manera un historial

de fertilización de la parcela y un seguimiento de los valores de P y K en suelo, y de los cocientes de concentraciones N/P y N/K en trébol blanco. Por comparación de las concentraciones de estos elementos en suelo y en planta con valores considerados como óptimos se juzga la idoneidad de la recomendación y la necesidad de refinar las funciones, coeficientes y valores óptimos empleados en el programa ADILUR (Oyanarte *et al.*, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran las estimaciones de las transferencias anuales de P y K (kg P/ha y kg K/ha) en los ciclos de P y K para las 17

Tabla 1. Transferencia anual (kg/ha) de P y K y eficiencia en el uso de los fertilizantes fosfóricos y potásicos en 17 explotaciones del País Vasco agrupadas según el tiempo de pastoreo. (A) extraído por la hierba, (B) reciclado en la hierba no pastada, (C) entrada por suplementos, (D) ingerido por animal, (E) extraído por el animal, (F) excretado, (G) durante el pastoreo, (H) en el establo, (I) no reciclado en pastoreo, (J) no reciclado en estabulación, (K) reciclado durante el pastoreo, (L) reciclado de la estabulación, (Qest), fertilizante que se debe aportar estimado según el ciclo, (Qa), fertilizante aportado, (Ñ), cantidad total de P y K aportada al suelo, (A/Ñ), eficiencia en el uso del fertilizante de P y K. DE, desviación estándar.

Pastoreo		A	C	D	E	F	K	I	L	J	Q _{est}	Q _a	Ñ	A/Ñ
Ciclo del P														
< 8%	Media	46.9	26.2	65.5	9.8	55.7	1.0	0.3	41.7	12.8	8.4	20.1	70.2	70
	DE	8.7	14.1	20.1	3.7	16.8	0.7	0.2	12.0	5.2	4.6	13.2	19.8	14
8-41%	Media	40.2	25.9	59.8	10.5	49.3	8.1	2.1	30.2	8.8	5.6	10.3	54.9	75
	DE	3.3	0.0	3.4	1.8	5.1	4.2	0.1	3.9	2.8	5.1	10.6	2.6	11
> 41%	Media	43.9	25.4	62.7	8.5	54.3	25.2	5.4	17.3	6.3	5.9	10.3	59.4	76
	DE	16.3	10.3	23.3	2.5	20.7	7.3	0.1	18.8	9.3	7.9	19.7	34.6	14
Total	Media	43.8	25.9	62.9	9.8	53.1	9.2	2.1	31.9	9.9	6.8	14.3	62.3	73
	DE	9.6	11.1	16.9	2.8	15.1	10.1	2.3	14.1	5.4	5.5	12.5	19.3	11
Ciclo del K														
< 8%	Media	266	68	292	15	277	5	1	209	61	19	20	306	87
	DE	49	42	74	6	69	4	1	49	25	21	23	53	5
8-41%	Media	228	64	256	16	240	40	10	145	45	12	25	275	83
	DE	39	23	48	3	47	11	5	26	15	16	24	47	5
> 41%	Media	249	64	276	13	263	123	26	83	30	13	28	302	82
	DE	83	34	92	4	89	27	9	65	30	30	32	94	6
Total	Media	249	66	275	15	261	45	10	157	48	15	24	294	84
	DE	54	33	68	4	65	49	11	67	25	21	24	60	5

En la tabla no figuran las columnas B, G, H a pesar de que se definen en la cabecera de la misma y se citan en el texto. Dichos valores se obtienen según: B = A+C-D, G = K+I, H = L+J.

explotaciones estudiadas, agrupadas en función del tiempo de pastoreo del ganado (expresado como porcentaje sobre el total). La extracción media anual de P (A) asciende a 43.8 kg/ha. La absorción de P por el pasto es siempre mucho mayor que el aporte en el fertilizante (Q_a , 14.3 kg P/ha), lo que sólo es posible si los aportes de P en las excretas y en los restos vegetales se utilizan con una eficiencia relativamente alta, de hecho el parámetro A/\bar{N} alcanza valores del 70-80%. Las explotaciones en que se aportan cantidades excesivas de P mineral (entre 10.2 y 30.3 kg/ha en exceso del Q_{est}) son las que muestran una menor eficiencia en la utilización del P y los niveles de P del suelo pueden aumentar hasta niveles inadecuados para la producción de las praderas. Aún así, estos valores en exceso son inferiores a los dados para Holanda por Aarts *et al.* (1992) para explotaciones de vacuno lechero sobre suelos arcillosos (32 kg P/ha). Otro hecho destacable es que los suplementos utilizados para la alimentación del ganado proporcionan elevadas cantidades de P, reduciendo de esta manera las necesidades de fertilizante fosfórico e indicando la importancia de un buen reciclaje del P de las excretas (53.1 kg/ha).

En el caso del K, su absorción por el pasto (A) varía entre 163 y 365 kg/ha, con un valor medio de 249 kg/ha que es siempre mucho mayor que los aportes de K en el fertilizante (Q_a , 24 kg K/ha) lo que muestra que a largo plazo la eficiencia del K en el fertilizante y en el estiércol/purín es semejante (Smith y van Dijk, 1987). La mayor parte del K en las excretas se infiltra rápidamente en el suelo y puede ser reutilizado rápidamente, así que el potencial para un rápido reciclaje es alto, pero también lo es el riesgo de pérdidas por lixiviación (Till, 1981). Así, en las explotaciones controladas la pérdida máxima de K es de 93 kg/ha siendo la pérdida media de 58 kg K/ha. Este valor coincide con la entrada de K en los suplementos (66 kg/ha) e indica la importancia de un reciclaje eficiente de los residuos orgánicos de la explotación para reducir las necesidades de fertilizantes potásicos.

Por otra parte, a partir del ciclo de la pradera se ha estimado un aporte de K por parte del suelo de 30 kg/ha lo que se puede deber a la abundancia de illitas en la fracción arcilla de los suelos de la CAPV (Domingo, 1988).

En la figura 3 se representa para las 29 parcelas de seguimiento la relación entre el cociente N/P en trébol blanco y el contenido de P en suelo (Oyanarte *et al.*, 1994). Esta comparación permite estimar el contenido de P en suelo que se relaciona mejor con los cocientes críticos N/P en trébol blanco. De la misma forma se procedería con el K. Si las recomendaciones del programa ADILUR son adecuadas los valores de nutrientes tanto en planta como en suelo deben acercarse a los rangos óptimos definidos en función de los cocientes críticos y de los correspondientes valores en suelo. Si se toma el rango de cocientes críticos N/P y N/K en trébol blanco como la referencia base (Sinclair *et al.*, 1994), se pueden estimar los rangos de P y K adecuados en suelo y determinar la bondad de las recomendaciones dadas por el programa ADILUR. Se observa que el rango adecuado de P en suelo es de 16-25 mg P/kg, puesto que en este rango se obtienen cocientes críticos N/P adecuados (cociente crítico 11.5, rango 11-12); para valores de P del suelo inferiores, el cociente N/P es mayor que 12 indicando deficiencia de P y para valores superiores existen cocientes N/P inferiores a 11 indicando que el grado de disponibilidad del P es mayor que el del N. Aunque no se presenta la gráfica del K el comportamiento de este elemento es relativamente semejante determinando que para el rango de cocientes críticos 1.7-2.1 (cociente crítico, 1.9) los valores de K adecuados en suelo van de 120 a 180 mg/kg. Con estas premisas se observa (tabla 2) que los cocientes críticos N/P y N/K son más sensibles al efecto de la fertilización que los propios niveles de P y K en suelo. Existe una evolución favorable de los cocientes y niveles de nutrientes en suelo entre 1992 y 1994, y en 1995, aunque se produce un ligero distanciamiento de los valores adecuados, los cocientes críticos en planta y los valores de P y

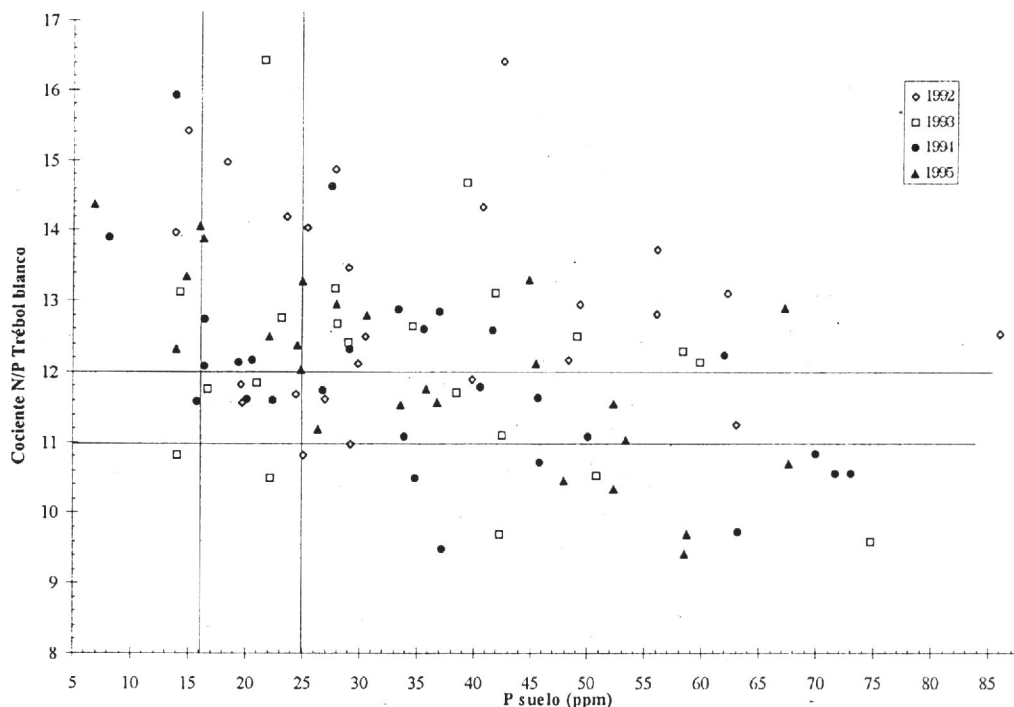


Fig. 3. Relación entre el cociente de concentraciones N/P en trébol blanco y el contenido de P Olsen en los años 1992-1995 para las 29 praderas estudiadas. Las líneas horizontales y verticales representan los rangos adecuados de estos parámetros.

Tabla 2. Valores medios de los cocientes críticos N/P y N/K en trébol blanco y de los contenidos de P Olsen (mg/-kg) y K extraíble (NH_4Ac) del suelo en las praderas estudiadas en el período 1992-1995.

Año	Trébol blanco		Suelo	
	N/P	N/K	P	K
1992	13.01 (1.49)	2.20 (0.52)	37.4 (17.7)	213 (84)
1993	12.16 (1.58)	2.20 (0.39)	34.5 (20.0)	191 (70)
1994	11.91 (1.39)	1.89 (0.42)	35.9 (18.2)	196 (84)
1995	11.99 (1.34)	1.70 (0.32)	36.1 (17.7)	233 (80)

K en suelo están más cercanos a los óptimos que en 1992. El nivel de P en suelo es más estable que el de K lo que es de esperar por el efecto residual del P en suelo, que hace que se necesiten varios años para disminuir sus niveles a valores adecuados (McCollum, 1991).

CONCLUSIONES

Las recomendaciones de fertilización que se obtienen con los ciclos de nutrientes acercan los valores de P y K en suelo y los cocientes de nutrientes en trébol blanco a los adecuados por lo que son útiles para el manejo de la fertilidad del suelo en praderas.

Los ciclos de nutrientes no sólo proporcionan una base mecánica y lógica para calcular las necesidades de mantenimiento de P y K de las praderas sino que también resaltan las mayores causas de pérdidas de nutrientes y permiten identificar posibilidades para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes.

Los resultados acentúan que para un manejo eficiente de la fertilidad del suelo en praderas permanentes es importante cuantificar las transferencias de nutrientes que tienen lugar por encima del suelo y que es esencial llevar a cabo investigaciones que permitan cuantificar los procesos que sufren los nutrientes en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT, proyecto AG93F-0166) y a las Diputaciones Forales de Alava, Bizkaia y Guipúzcoa su apoyo financiero para realizar este trabajo.

REFERENCIAS

Aarts, H.F.M.; Biewinga, E.E.; van Keulen, H. (1992). Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands*

Journal of Agricultural Science, **40**, 285-299.

- Amella, A.; Ferrer, C.; Maestro, M.; Ocaña, M. (1990). Posibilidades de su utilización por pastoreo. En: Amella, A.; Ferrer, C. (ed). *Explotación de pastos en caseríos guipuzcoanos.*, pp. 55-133. Departamento de Agricultura y Economía Agraria, Universidad de Zaragoza. Miguel Servet, 177. Zaragoza.
- Andrew, C.S.; Fergus, I.F. (1976). Plant nutrition and soil fertility. En: Shaw N.H.; Bryan W.W. (ed). *Tropical Pasture Research. Principles and methods. Bulletin 5*, pp. 101-133. Commonwealth Agricultural Bureau. Oxford: Alden Press. Reino Unido.
- Cornforth, I.S.; Sinclair, A.G. (1982). Model for calculating maintenance phosphate requirements for grazed pastures. *N.Z.J. Exp. Agric.* **10**, 53-61.
- Domingo, M. (1988). Estudio de suelos de Vizcaya. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia.
- Gómez-Ibarlucea, C.; García Gómez, A.; Prieto, V.; González Arráez, E. (1981). Fertilización fosfo-potásica en praderas naturales de Galicia y Asturias. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Agrícola*, **16**, 45-55.
- Jarvis, S.C.; MacDuff, J.H.; Williams, J.R.; Hatch, D.J. (1989). Balances of forms of mineral N in grazed grassland soils. Impacts of N losses. *Proceedings of XVI International Grassland Congress, 1989*, pp. 151-152. Nice, France.
- Karlovsky, J. (1983). Phosphorus utilization in grassland ecosystems. *Proceedings of the XIV International Grassland Congress*, Lexington, EEUU, pp. 279-282.
- Maestre, M.R. (1992). Evolución de la producción y calidad de la hierba en praderas naturales de la zona costera del País Vasco explotadas en pastoreo rotacional. *Actas de la XXXII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 207-213.

- MAPA. (1981). Métodos oficiales de análisis de suelos y plantas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- McCollum, R.E. (1991). Buildup and decline in soil phosphorus: 30-year trends on a Typic Umbraquult. *Agron. J.* **83**, 77-85.
- Mombiela, F.A. (1986). Importancia del abonado en la producción de los pastos de la zona húmeda española. *Actas de la XXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 213-242.
- Oyanarte, M.; Rodríguez, M. (1993). Programa integral de recomendación de abonado en praderas. *Actas de la XXXIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 653-661.
- Oyanarte, M.; Rodríguez, M.; Besga, G. (1994). Manejo eficiente de la fertilización en praderas. *Actas de la XXXIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 229-235.
- Rodríguez, M.; Ascazibar, M. (1988). Potencialidad productiva de las praderas del País Vasco. *Actas de la XXVIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 229-235.
- Rodríguez, M.; Domingo, M. (1987). Fertilización nitro-fosfo-potásica en praderas naturales del País Vasco. *Pastos*, **17**(1-2), 203-218.
- Ruiz, F.; Karlovsky, J.; Ratera, C. (1974). Fertilización nitrogenada en praderas. *Pastos*, **4**(1), 31-41.
- Sinclair, A.G.; Rodríguez, M.; Oyanarte, M. (1991). Modelo de recomendación de abono en base a los ciclos de nutrientes para las praderas de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe Técnico. Dpto. de Agricultura y Pesca. Servicio Central de Publicaciones, Gobierno Vasco. Vitoria - Gasteiz.
- Sinclair, A.G.; Rodríguez, M.; Besga, G.; Oyanarte, M. (1994). Determinación de cocientes críticos K/P en praderas a partir de un ensayo multifactorial de fertilización. *Pastos*, **24** (1), 69-80.
- Sinclair, A.G., Rodríguez, M., Oyanarte, M. and Besga, G. (1993). Fertilizer recommendation scheme for phosphorus based on nutrient cycling in permanent pastures in the Basque Country, Northern Spain. En: Fragoso, M.A.C.; van Beusichem, M.L. (ed). *Optimization of Plant Nutrition*, pp. 351-354. Kluwer Academic Publishers. Holanda.
- Smith, K.A.; van Dijk, T.A. (1987). Utilization of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. In: van der Meer, H.G.; Unwin, R.J.; van Dijk, T.A.; Ennik, G.C. (ed) *Animal Manure in Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?*, pp. 87-102. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Holanda.
- Till, A.R. (1981). Cycling of plant nutrients in pastures. En: Morley, F.H.W. (ed). *Grazing Animals*. World Animal Science B1. pp. 33-54. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Holanda.
- van den Ham, A.; Berghs, M.E.G. (1994). Balanced phosphorus fertilization on dairy farms in The Netherlands. *Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation*. Wageningen, Holanda, 443-446.