

CICLAJE DE FÓSFORO POR ANIMALES BAJO PASTOREO EN CAMPO NATURAL Y MEJORAMIENTOS CON LEGUMINOSAS SOBRE SUELOS DE BASALTO

Del Pino, A.¹, Hernández, J¹.

Recibido: 09/08/01 Aceptado: 26/09/02

RESUMEN

La mayor parte del P consumido por los animales en pastoreo es reciclada a través de las heces. El objetivo del trabajo fue estudiar el ciclaje potencial de P a través de las heces de terneros en pasturas naturales (PN) y mejoramientos con leguminosas en Uruguay. Se evaluaron dos mejoramientos con siembra en cobertura de lotus (*Lotus corniculatus* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.), los que se fertilizaron anualmente con dosis de 30 y 60 kg de P_2O_5 ha⁻¹ (P1 y P2 respectivamente). Las evaluaciones se realizaron desde junio de 1997 hasta julio de 1999. Se encontró una estrecha relación entre la concentración de P en las pasturas y en las heces ($P_{heces} = 1,28 P_{pastura} + 0,08$, $r^2 = 0,77$; $P = 0,001$). En todos los muestreos la concentración de P de las heces de los mejoramientos fue mayor que las del PN. La proporción de P orgánico en el total fue 62 % en PN, 51 % en P1 y 47 % en P2. Se encontraron mayores correlaciones entre la fracción de P inorgánica y P total ($r = 0,95$), que entre la fracción orgánica y P total ($r = 0,87$). El 61 % del P inorgánico fue soluble en agua. Los mayores contenidos de P en las heces se observaron en los períodos de fines de invierno y principios de primavera y los menores hacia el fin del verano. Se concluye que en los mejoramientos las cantidades de P cicladas son mayores en tanto que en el campo natural este proceso es muy poco eficiente debido a la menor cantidad de P y a la mayor proporción de P orgánico de las heces.

PALABRAS CLAVE: reciclaje de P, P en heces.

SUMMARY

PHOSPHORUS CYCLING IN GRAZED NATIVE AND FERTILISED PASTURES OVERSOWN WITH LEGUMES ON BASALTIC SOILS

The majority of the total amount of P taken up by the animals under grazing is recycled mainly through faeces. We studied the potential cycling of P through the faeces of calves grazing natural pastures (PN) and pastures oversown with legumes in Uruguay. The pastures oversown with lotus corniculatus (*Lotus corniculatus* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.) were fertilized with 30 and 60 kg of P_2O_5 ha⁻¹ annually (P1 and P2 respectively). The evaluation was performed from June 1997 to July 1999. We found a close relationship between the P concentration in pasture and faeces ($P_{faeces} = 1.28 P_{pasture} + 0.08$, $r^2 = 0.77$, $P = 0.001$). The P concentration of faeces from the fertilized pastures was greater than that from natural pastures in all sampling times. The proportion of organic P was higher in PN than in P1 and P2. Higher correlation was found between inorganic and total P in faeces than between organic and total P. The inorganic P was mostly water soluble (61 %). The highest P contents of faeces were observed at the end of the winter-early spring, and the lowest towards the end of the summer. It is concluded that the amount of P cycled were higher in fertilized pastures meanwhile in natural pastures this process was rather inefficient due to smaller amounts of P and higher proportion of organic P in the faeces.

KEY WORDS: recycled P, P in faeces.

¹Facultad de Agronomía. Av. E. Garzón 780. CP 12900. Montevideo. Uruguay.

INTRODUCCIÓN

El potencial de producción del campo natural en Uruguay está limitado principalmente por la disponibilidad de nutrientes, especialmente N y P. La baja disponibilidad de nutrientes limita además el valor nutritivo del forraje para los animales. Dadas estas condiciones de escasez de nutrientes, el reciclaje de los mismos a través de las heces y orina de los animales en pastoreo cobra una gran importancia para la sustentabilidad del sistema en el largo plazo.

La concentración de P en las pasturas depende de muchos factores, entre ellos a) estado fisiológico (mayores concentraciones en plantas jóvenes) y b) parte de la planta considerada (mayores concentraciones en los tejidos en crecimiento). También existen diferencias entre especies, que estarían relacionadas a su habilidad para absorber P (Berreta, 1997). En general las diferencias de contenido entre especies son menores que las diferencias debidas a disponibilidad de nutrientes en el suelo donde están creciendo, o a los factores mencionados anteriormente (Loneragan y Asher, 1967; Ozzane *et al.*, 1969). Las especies de las pasturas naturales de nuestro país están adaptadas a suelos pobres en P. Hernández (datos no publicados) encontró que el contenido de este nutriente en la parte aérea de pasturas naturales variaba en el rango de 0,8 a 1,5 g kg⁻¹ de P para 10 suelos de Uruguay. Se han observado también variaciones estacionales relacionadas a ciclos fisiológicos de las diferentes especies, encontrándose frecuentemente menores contenidos de P en las pasturas durante el verano. El aporte de P para el mejoramiento de pasturas con inclusión de leguminosas, debe hacerse exclusivamente por fertilización, siendo la abundancia de este elemento imprescindible para el desarrollo de las leguminosas, que están en desventaja con respecto a las gramíneas para absorber P del suelo debido a su menor desarrollo radicular. Las pasturas mejoradas fertilizadas presentan en general mayores concentraciones de P que el campo natural, tanto en leguminosas como en gramíneas (Martínez Haedo y Mastropiero, 1993; Marchesi y Elhordoy, 1993).

Los animales en pastoreo retienen una proporción muy pequeña de los nutrientes consumidos. Por otra parte, las cantidades de nutrientes exportadas en productos animales varían con la intensidad y tipo de producción, aunque generalmente también representan una pequeña proporción. Consecuentemente, la mayor parte (por lo menos dos tercios) de los nutrientes consumidos son potencialmente reciclados a través de heces y orina (During, 1984). También se reciclan los nutrientes provenientes de restos de plantas no consumidos que son descompuestos por los microorganismos y la fauna del suelo.

El ciclaje de P por los animales, se hace fundamentalmente a través de las heces, ya que las cantidades de P encontradas en la orina son muy pequeñas. La concentración de P de las heces es normalmente mayor que la concentración de P de la pastura que pastorean los animales (Gillingham, 1980, Rowarth *et al.*, 1988). Una parte del P en las heces se encuentra formando compuestos orgánicos, que requieren del proceso de mineralización para que éste se haga disponible para las plantas, el resto se encuentra formando compuestos inorgánicos, principalmente fosfatos de diverso grado de solubilidad (Bromfield, 1961). Respecto a la disponibilidad del P reciclado, se ha observado un aumento en P disponible en el suelo debajo y alrededor de las heces (Weeda, 1977; Rowarth *et al.*, 1985). Sin embargo en la recuperación de P proveniente de las heces se reportan valores bajos. Haynes y Williams (1993) observaron que aproximadamente 15 % del P de heces fue recuperado en el primer año y tasas menores en años posteriores. Esta residualidad dependerá del tipo de suelo considerado. Por otra parte se requerirán varios años para que toda la superficie de pastoreo haya recibido un aporte de nutrientes reciclados, lo que aumenta la ineficiencia del proceso.

La mayoría de la información de ciclaje de nutrientes bajo pastoreo proviene del exterior (Nueva Zelanda, Australia, y Reino Unido), por lo que sería de esperar ciertas diferencias en el ciclaje de nutrientes en las condiciones de Uruguay. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación del ciclaje potencial de P a través de las heces de animales en pastoreo en pasturas naturales y mejoramientos con leguminosas en Uruguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un experimento de fertilización de pasturas bajo pastoreo sobre un suelo formado a partir de materiales cuaternarios derivados de la alteración de basalto. El experimento se encuentra en la localidad de Valentín del departamento de Salto, ruta 31 km (Latitud 31° 15' 25,5" S, Longitud 57° 08' 39,6" W) El suelo corresponde a un Vertisol de la unidad Itapebí-Tres Árboles (Typic Hapludert), con 39,4 g kg⁻¹ de C orgánico, 49,5 g kg⁻¹ de arcilla, y 3 mg kg⁻¹ de P asimilable (Bray N° 1). Los tratamientos evaluados fueron: Pastura Natural (PN) y dos coberturas de lotus (*Lotus corniculatus* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.), con refertilizaciones anuales de 30 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (P1) y 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (P2), respectivamente. El fertilizante fue agregado como superfosfato de calcio común (0-21-23-0) en cobertura al voleo a fines de otoño o principios de invierno (meses de junio y julio). El diseño estadístico del experimento fue de bloques dispues-

tos al azar con cinco repeticiones de los tratamientos PN, P1 y P2. El pastoreo se realizaba con tres grupos de animales. Cada grupo pastoreaba el mismo tratamiento en forma rotativa a través de los cinco bloques. En cada bloque los terneros permanecían promedialmente 10 días. Esto implicó que se usara solamente un grupo de terneros por tratamiento, no existiendo repetición del grupo de terneros en el espacio. Se realizaron muestreos de heces de los terneros que pastoreaban cada tratamiento, durante tres ciclos de pastoreo desde junio de 1997 hasta julio de 1999. Debido a que la evaluación del experimento de pastoreo no se realizó en forma continua, los muestreos de heces también se realizaron en ciertas épocas del año. A pesar de esto se logró obtener información de las cuatro estaciones de cada año. Se muestrearon 10 heces frescas (muestra compuesta) de cada parcela el día anterior a la rotación de los animales, de modo tal que al momento del muestreo los terneros habían estado pastoreado la parcela en cuestión por lo menos una semana. Las muestras de heces se secaron a 60 °C, se molieron y tamizaron a < 0.5 mm. Paralelamente se muestrearon las pasturas, tomándose una muestra compuesta de 20 cuadros de 30 cm de lado, previo a la entrada de los animales a cada parcela. Este estudio se realizó durante 11 periodos de pastoreo, totalizando 33 muestras de pastura y 33 de heces.

Fraccionamiento de P en heces

P total en heces (Bromfield, 1961).- Se realizó la extracción del P total de las muestras de heces por digestión con H_2SO_4 a 380°C durante 1 hora y posterior oxidación con H_2O_2 a la misma temperatura durante 30 minutos.

P inorgánico total (Bromfield, 1961).- Se realizó la extracción de las heces con HCl 0.2N para determinar el contenido de P inorgánico. Luego de la determinación del P total en heces referida en el párrafo anterior, y el P inorgánico total del presente, se estimó el contenido de P orgánico por diferencia entre ambas determinaciones.

P soluble (Rowarth *et al.*, 1988).- Se realizó la extracción de heces con agua, determinando el contenido de P inorgánico soluble al agua en el extracto. Se tomó una alícuota del mismo, realizando una digestión con H_2SO_4 - H_2O_2 . A posteriori se determinó el P total en dicho extracto, estimando el P orgánico soluble por diferencia con la determinación de P inorgánico soluble.

Las muestras de planta fueron mineralizadas mediante digestión con H_2SO_4 - H_2O_2 , al igual que las de heces. En todos los casos el P fue determinado de acuerdo al método de Murphy y Riley (1962).

La relación entre las distintas fracciones de P en heces y en planta se estudió mediante regresión lineal y correla-

ción. Si bien anualmente se cambiaba el grupo de animales, se realizó el análisis conjunto de datos de los tres años (63 muestras), en virtud de no encontrar diferencias significativas en los datos de los diferentes años. Se ajustaron regresiones entre P en la pastura y P en las heces para aquellos muestreos donde se tomaron muestras de planta. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante los procedimientos PROC GLM y PROC CORR del SAS (SAS Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido total de P en heces y en la pastura

Se comparó el contenido de P de las heces de los terneros recogidas al final de los periodos de pastoreo, con el contenido de P del forraje disponible al principio de dicho pastoreo. Esta comparación se considera válida ya que se trataba de pastoreos rotativos, por periodos cortos (una a dos semanas), por lo que las variaciones en el contenido de P de la pastura durante el periodo de pastoreo son mínimas. Se encontró una relación significativa ($r^2 = 0,77$; $P = 0,001$) entre la concentración de P de las pasturas y la concentración de P de las heces producidas por los animales en pastoreo (Figura 1). De acuerdo a estos resultados los animales que pastorean forrajes ricos en P producen heces de mayor concentración de P que los animales que pastorean forrajes pobres en este elemento. También se observó que la concentración de las heces era mayor a la de las pasturas, lo que es coincidente con lo reportado por

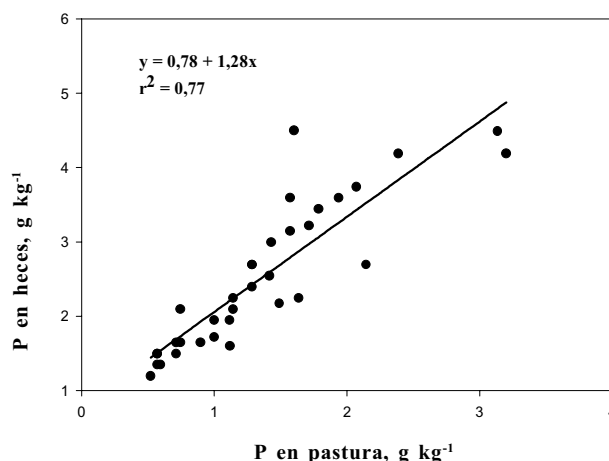


Figura 1. Relación entre el contenido de P total de la pastura y heces colectadas en las mismas parcelas.

Rowarth et al. (1988) para pasturas de Nueva Zelanda. La relación encontrada fue: $P_{heces} = 0,08 + 1,28 P_{pastura}$

Debe considerarse que tanto los contenidos de P en las heces como en la pastura son inferiores respecto a los datos obtenidos por Rowarth *et al.* (1988) para Nueva Zelanda. También el coeficiente de la regresión que relaciona el contenido de P en heces y en pasturas de Uruguay (1,28) es mucho menor al mencionado en dicho trabajo (3,19). Estos resultados indican que aunque se observan tendencias similares en ambas situaciones productivas, las magnitudes del nutriente involucradas en los procesos son diferentes. Este hecho tiene importancia al comparar el ciclaje de nutrientes que se realiza en una y otra situación, especialmente teniendo en cuenta que aún en las pasturas mejoradas de Uruguay, como las coberturas aquí presentadas, la producción total de forraje, y la carga animal son generalmente menores a las usadas en Nueva Zelanda.

Fraccionamiento del P en heces

En el Cuadro 1 se indica el rango y contenido promedio de P total, P inorgánico (total y soluble al agua) y P orgánico

tivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Bromfield (1961), quien encontró una mayor proporción de P inorgánico a medida que aumentaba el contenido total de P de las heces. En situaciones como las de campo natural donde existen contenidos de P muy bajos en el sistema, gran parte del mismo se encuentra formando compuestos orgánicos, mientras que cuando hay más abundancia de P (coberturas fertilizadas), una mayor proporción está en forma inorgánica. También se encontraron diferencias entre los contenidos de P de las heces entre los dos tratamientos fertilizados, especialmente en la fracción P inorgánico total, donde la cobertura que recibió mayor fertilización presenta generalmente niveles superiores.

Considerando todos los tratamientos y muestreos se obtuvieron mayores correlaciones entre P total e inorgánico total ($r = 0,95$) que entre P total y orgánico total ($r = 0,87$) (Cuadro 2). Por otra parte la fracción de P inorgánico soluble al agua está fundamentalmente correlacionada con el contenido total de P inorgánico ($r = 0,79$) en tanto que la fracción de P orgánico soluble al agua mostró una menor relación con el contenido total de P orgánico ($r = 0,39$), aunque significativa.

Cuadro 1. Contenidos promedios y rangos de P total, P inorgánico total y soluble en agua, P orgánico total y soluble en agua en heces colectadas durante 2 años en campo natural y coberturas.

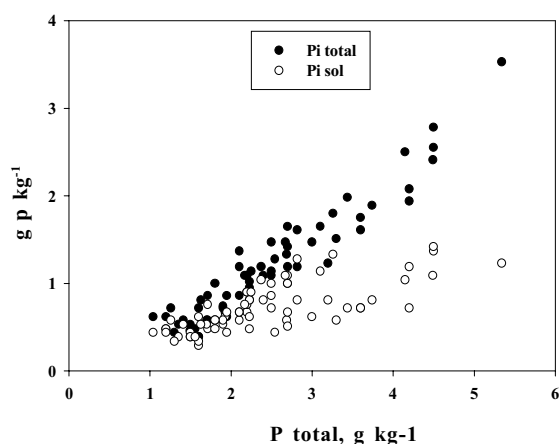
	P Total	P Inorg. Total	P Inorg. Sol. agua	P Org. Total	P Org. Sol agua
			g kg ⁻¹		
Campo Natural	1,68 (1,04-2,50)	0,64 (0,39-1,09)	0,50 (0,29-0,90)	1,05 (0,42-1,41)	0,17 (0,06-0,29)
Cobertura P1	2,56 (1,26-4,49)	1,25 (0,58-2,50)	0,70 (0,44-1,19)	1,32 (0,54-2,12)	0,25 (0,06-0,59)
Cobertura P2	3,08 (1,71-5,34)	1,65 (0,86-3,34)	0,93 (0,48-1,42)	1,45 (0,85-2,26)	0,33 (0,10-0,93)

co (total y soluble en agua) de heces en el campo natural y en las dos coberturas. Se observó que los contenidos de P total, orgánico e inorgánico mostraban una importante diferencia entre tratamientos de fertilización de la pastura (Cuadro 1). Los tratamientos fertilizados presentaron mayores contenidos de P en todas las fracciones que el campo natural en cada uno de los muestreos, aunque la proporción de P orgánico fue mayor en el campo natural que en las coberturas. El P orgánico representó el 62 %, 51 % y 47 % del P total en los tratamientos PN, P1 y P2, respec-

Una parte importante del P inorgánico de las heces era soluble en agua (Figura 2), representando en promedio 61%. Por otra parte solamente 20 % del P orgánico era soluble en agua. El P soluble en agua tiene una especial significación desde el punto de vista del reciclaje del P a través de los animales en pastoreo, ya que se trata de la fracción que estará rápidamente disponible para la pastura, siendo posible su solubilización por el agua de lluvia (Rowarth *et al.*, 1988). Por otra parte la fracción orgánica del P de las heces, es considerada de muy difícil descom-

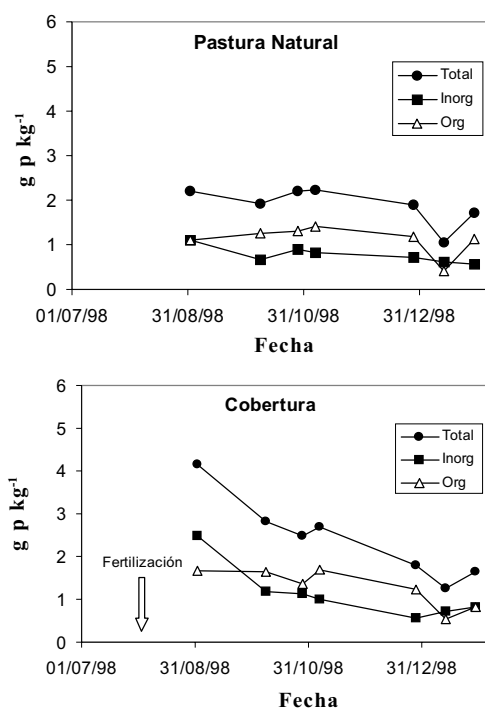
Cuadro 2. Coeficientes de correlación (r) entre las fracciones de P (P total, P inorgánico total y soluble en agua, P orgánico total y soluble en agua) en heces colectadas durante 2 años.

	P Inorg. Total	P Inorg. Sol. Agua	P Org. Total	P Org. Sol. Agua
P Total	0,95***	0,72***	0,87***	0,45***
P Inorg. Total		0,79***	0,67***	0,43***
P Inorg. Sol. Agua			0,47***	0,36***
P Org. Total				0,39**

** Significativo con $P < 0,05$.*** Significativo con $P < 0,01$.**Figura 2.** P inorgánico total (Pi total) e inorgánico soluble en agua (Pi sol) de heces respecto al P total en heces colectadas durante 2 años.

posición (Haynes y Williams, 1993), y consecuentemente de menor relevancia en términos de disponibilidad en el corto plazo.

Con respecto a la evolución a lo largo del año, en general se encontraron variaciones importantes, con los mayores contenidos de P en heces en los muestreos realizados a fines de invierno y principios de primavera (Figura 3), esto podría deberse a que en ese período también era mayor el contenido de P de las pasturas (del Pino et al, datos no publicados). Estas tendencias fueron similares en campo natural y coberturas fertilizadas aunque en general la

**Figura 3.** Evolución de diferentes formas de P (total, inorgánico y orgánico), en heces colectadas durante 6 meses. La gráfica superior corresponde al tratamiento CN y la inferior al tratamiento P2.

variación fue más marcada en las coberturas que en el campo natural. Debe tenerse en cuenta que en las coberturas la fertilización se realiza en otoño, de donde habrá que sumar el efecto de la fertilización reciente a las características fisiológicas de las especies de la pastura.

Hacia el verano y comienzo del otoño los contenidos de P en las heces son menores, tanto para el campo natural como para las coberturas.

CONCLUSIONES

En el campo natural y en los mejoramientos en cobertura con inclusión de leguminosas sobre suelos de Basalto el contenido de P de las heces, que en última instancia determina el potencial de ciclaje de P a través de los animales, está estrechamente relacionado al contenido de P de las pasturas. Los contenidos de las diferentes formas de P en heces, especialmente aquellas más rápidamente disponibles para las plantas, fueron mayores en las pasturas mejoradas fertilizadas que en el campo natural. No obstante la importancia del ciclaje se acrecienta en el largo plazo y en sistemas de producción de bajos insumos, como las producciones sobre campo natural, basadas en un aporte mínimo de nutrientes y una baja extracción, en las cuales del ciclaje depende la sustentabilidad del sistema. Dados los bajos porcentajes de P en heces y en las pasturas de estos sistemas, así como la mayor proporción de P orgánico de las heces, es de esperar que el ciclaje se produzca en forma muy lenta. A esto se suma el hecho de que las bajas cargas manejadas en estas situaciones de producción extensiva determinan una distribución muy desigual de las heces.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la Técnica Agropecuaria Teresa Rodríguez en los muestreos de heces y pastura así como en el procesamiento de las muestras de pastura.

BIBLIOGRAFÍA

- BERRETA, E. 1997. Contenido de minerales en pasturas naturales de basalto. I. Especies nativas. In: Berreta, E. (ed), Seminario de actualización en tecnologías para basalto, pp. 99-111. INIA Serie Técnica 102.
- BROMFIELD, S. M. 1961. Sheep faeces in relation to the phosphorus cycle under pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 12:111-123.
- MARTÍNEZ HAEDO, A., MASTROPIERRO, H. 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado en suelos del Basamento Cristalino (Unidades Sierra Polanco y San Gabriel-Guaycurú) Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 200p.
- MARCHESI, C., ELHORDOY, J. 1993. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas. Efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado en suelos de las unidades Arroyo Blanco y Zapallar. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 266p.
- DURING, C. 1984. *Fertilisers and Soils in New Zealand Farming*. Wellington, New Zealand: Government Printer. 355p.
- GILLINGHAM, A. G. 1980. Phosphorus uptake and return in grazed steep hill pastures. I. Pasture production and dung and litter accumulation. *New Zealand J. Agric. Res.* 23:313-321.
- HAYNES, R. J. AND WILLIAMS, P. H. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49:119-196.
- LONERAGAN, J. F. AND ASHER, C. J. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: ii. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci.* 103:313-318.
- MURPHY J. Y RILEY, J.R. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36
- OZZANE, P. G., KEAY, J. AND BIDDISCOMBE, E. F. 1969. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture species. *Aust. J. Agric. Res.* 20:809-818.
- ROWARTH, J. S., GILLINGHAM, A. G., TILLMAN, R. W., SYERS, J. K. 1985. Release of phosphorus from sheep faeces on grazed, hill country pastures. *New Zealand J. Agric. Res.* 28: 497-504.
- ROWARTH, J. S., GILLINGHAM, A. G., TILLMAN, R. W. AND SYERS, J. K. 1988. Effects of season and fertiliser rate on phosphorus concentrations in pasture and sheep faeces in hill country. *New Zealand J. Agric. Res.* 31:187-193.
- WEEDA, W. C. 1977. Effect of cattle dung patches on soil tests and botanical and chemical composition of herbage. *New Zealand J. Agric. Res.* 20:471-478.