

Dinámica de la descomposición y la mineralización neta del nitrógeno y del fósforo de heces de vacunos en pastoreo sobre un pastizal templado

Decomposition and nitrogen and phosphorus mineralization dynamics of dung from cattle grazing in a temperate grassland

Semmartin¹, M.

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agronomía
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Resumen

El pastoreo doméstico suele modificar la circulación de los nutrientes de los ecosistemas. Los objetivos de este trabajo fueron (1) evaluar la dinámica de descomposición de la materia seca y de la mineralización neta del N y del P contenidos en heces de vacunos que pastoreaban un pastizal natural y (2) comparar la dinámica de mineralización neta del N proveniente de las heces con la del N proveniente de orina artificial. Se realizó un experimento de incubaciones de suelo con el agregado de heces vacunas, orina artificial y un control sin enmienda en el que se cuantificó la descomposición y la dinámica de mineralización neta del nitrógeno y del fósforo de las heces durante este proceso y el contenido de nitrógeno mineral en el suelo. Se utilizó material de heces y de suelo proveniente de un establecimiento de cría del pastizal de la Pampa Deprimida (Pila, Provincia de Buenos Aires). Luego de un año de incubación, las heces perdieron el 60% de su peso inicial y mineralizaron ~30% del nitrógeno y el fósforo. Esta mineralización neta de nitrógeno no se tradujo en un mayor contenido de nitrógeno en el suelo con respecto al control sin enmienda. El agregado de orina artificial, en cambio, aumentó un 40% el contenido de nitrógeno mineral del suelo, si bien la tasa de mineralización neta sólo superó al control y las heces durante los primeros 30 días. El pastoreo modifica la distribución espacial del nitrógeno que reingresa al suelo generando distintos tipos de parche, con dinámicas propias de nutrientes, reguladas en parte por la calidad del residuo. La cuantificación relativa de cada parche explicará una parte importante del presupuesto global de nitrógeno del sistema. Palabras clave: pastizales templados, heces vacunas, descomposición, fósforo, nitrógeno, mineralización neta.

Recibido: junio de 2005

Aceptado: agosto de 2006

1. Ing.Agr., M.Sc. Doctora en Ciencias Agropecuarias. Jefe de Trabajos Prácticos de la Facultad de Agronomía (Universidad de Buenos Aires), Investigadora asistente de CONICET. Av. San Martín 4453, C1417DSE, Argentina. E-mail: semmartin@ifeva.edu.ar

Summary

Grazing usually influences nutrient cycling of ecosystems. The objectives of this work were (1) to evaluate the dry matter decomposition and fecal nitrogen (N) and phosphorus (P) net mineralization from dung corresponding to cattle grazing in temperate grassland, and (2) to compare the N net mineralization dynamics with that occurring in artificial urine. Under controlled conditions, soil amended with bovine dung, artificial urine and a control without amendment were incubated. The dung mass loss, N and P dynamics during this process, and the soil N content were studied. Soil and dung were collected from a farm located in the Flooding Pampa (Pila, Province of Buenos Aires). After one year, the dung lost 60% of the initial weight and ~30% of the organic N and P were mineralized. This nitrogen net mineralization, however, did not result in a greater soil nitrogen content than the non amended control. In contrast, addition of artificial urine increased 40% the contents of soil mineral nitrogen, despite the mineralization rate was higher than control and dung only during the first 30 days. The comparison of the present results with those obtained in a similar experiment, which studied the decomposition dynamics of grazing promoted species (forbs) and grazing diminished species (grasses) from the same grassland, indicated that despite the enormous histochemical shift from the transformation of plant litter into urine, its effects resulted similar to those produced by the grazing-induced promotion of forbs. Instead, dung exhibited a pattern more similar to that of grasses. Grazing alters the spatial distribution of nitrogen that enters to soil by creating patches with different nutrient dynamics, partially regulated by inputs quality. Therefore, the quantification of the relative importance of each patch type would help to explain a significant part of the global nitrogen budget of the system.

Key words: temperate natural grasslands, nitrogen, phosphorus, net mineralization, dung.

Introduccion

Una proporción variable de la energía fijada y almacenada por los vegetales es aprovechada por los herbívoros. Si bien la magnitud de esta proporción depende de los rasgos de la vegetación y del tipo de herbívoro, en general, a medida que aumenta la productividad primaria neta aérea, la proporción consumida por los herbívoros aumenta más que proporcionalmente (McNaughton et al., 1989). Mientras que en sistemas naturales se ha estimado un rango de consumo de entre 4% y 90% de la productividad primaria, en sistemas manejados por el hombre la proporción de productividad consumida por herbívoros suele ser bastante más alta que la que presentan sus contrapartes sin intervención humana (McNaughton et al., 1989; Oesterheld et al., 1992). Este consumo de forraje determina que una importante cantidad del nitrógeno fijado en la

vegetación se canalice hacia los consumidores. Sin embargo, la mayor parte del nitrógeno removido por los herbívoros (más del 85%) es devuelto al suelo en forma de heces y orina (Russelle, 1992). Entonces, si bien en sistemas altamente productivos, la mayor parte de la energía y los nutrientes atraviesan el tracto de los herbívoros, la proporción de nitrógeno que pasa a formar parte de los tejidos de los animales es muy pequeña.

El nitrógeno removido por los herbívoros que regresa al suelo lo hace en arreglos estequiométricos bastante distintos de los originales presentes en las plantas: vuelve en forma de heces y orina. La composición, en términos de calidad, de las heces y de la orina tendrá un impacto bien distinto para el sistema en términos de la disponibilidad de su nitrógeno para ser reutilizado por los microorganismos y por las plantas. Mientras que la orina tiene una baja relación

carbono:nitrógeno que favorece la mineralización del nitrógeno, las heces tienen una relación carbono:nitrógeno mayor que generalmente conduce a la inmovilización microbiana del nitrógeno (Afzal y Adams, 1992; Seagle et al., 1992). Estas diferencias en la dinámica del nitrógeno para cada tipo de deyección se traduciría en una distribución espacial heterogénea de nitrógeno en el suelo y en las plantas compuesto por parches de orina, parches de heces y parches libres de deposiciones (Petersen et al., 1956a,b; Day y Detling, 1990). En cada tipo de parche, la velocidad de circulación del nitrógeno, así como la magnitud de algunos procesos como la volatilización, lixiviación, denitrificación, etc. resultarían distintos (Day y Detling, 1990; Afzal y Adams, 1992; Seagle et al., 1992; Peoples et al., 1995). Entonces, mientras que el mayor ingreso de nitrógeno orgánico al suelo en un sistema pastoreado ocurre por tres caminos diferentes, en un sistema no pastoreado principalmente se produce a través de la caída y descomposición del material vegetal senescente. Estas diferencias en la forma en que el nitrógeno se incorpora al suelo en cada uno de los sistemas determinaría que, tanto las tasas de mineralización promedio como su variabilidad difirieran entre un pastizal pastoreado y uno no pastoreado.

Del mismo modo que el aporte de heces y orina aumenta la heterogeneidad espacial de los nutrientes, en el pastizal de la Pampa Deprimida, el pastoreo también aumenta la heterogeneidad espacial de los residuos vegetales que ingresan al suelo. El pastoreo no solo aumenta la diversidad de especies (Sala et al., 1986) sino que promueve la aparición de un grupo de hierbas con contenidos de nitrógeno y fósforo superiores a los de los pastos que predominan en las situaciones sin pastorear, y con mayores tasas de descomposición y mineralización de los nutrientes (Semmartin et al., 2004). Los objetivos de este trabajo fueron (1) evaluar la dinámica de descomposición de la materia seca y de la mineralización neta del

nitrógeno y del fósforo contenidos en heces de vacunos que pastoreaban un pastizal natural y (2) comparar la dinámica de mineralización neta del nitrógeno proveniente de las heces con la del nitrógeno proveniente de orina artificial. Adicionalmente, se comparó la dinámica de descomposición de las heces y la dinámica de descomposición del material vegetal no consumido por los vacunos documentada previamente por Semmartin et al. (2004) para el mismo pastizal, como así también entre el contenido de lignina y la evolución del contenido de formas minerales de nitrógeno y del fósforo entre ambos tipos de materiales.

Materiales y Métodos

Se realizó un experimento de descomposición de heces, bajo condiciones controladas, en el que se estudió la dinámica de la descomposición de la materia seca, la dinámica de la mineralización del nitrógeno y del fósforo de la enmienda y la dinámica del nitrógeno mineral del suelo. En cajas plásticas individuales de 10 x 15 cm rellenas con suelo a capacidad de campo, equivalente a 15 g de suelo seco (microcosmos), se incubaron heces provenientes de un rodeo vacuno de cría, orina artificial y un control de suelo sin enmienda. El período máximo de incubación fue de 365 días pero también se obtuvo información de cosechas a los 30; 100 y 180 días. Cada tipo de material y tiempo de incubación tuvo tres repeticiones (N = 45).

Las heces y el suelo para las incubaciones se recogieron en un pastizal de la Pampa Deprimida ubicado en las cercanías de Pila (36° S y 58° W, provincia de Buenos Aires). En este pastizal predomina la vegetación de pradera de mesofitas y el material se recolectó en un stand correspondiente a la comunidad dominante en el área y caracterizada por *Piptochaetium montevidense*, *Eclipta bellidioides*, *Ambrosia tenuifolia*, *Briza subaristata* y *Mentha pulegium* (Burkart et al., 1990; Perelman et al., 2001). La precipitación media anual de la zona es de

aproximadamente 1000 mm, distribuida uniformemente a lo largo del año, y las temperaturas medias mensuales oscilan entre 7 y 22 °C. Los suelos predominantes son netamente hidromórficos, Natracuoles Típicos, y están frecuentemente inundados desde el invierno hasta la primavera temprana. El horizonte superficial presenta 3,2% de carbono orgánico y 0,3% de nitrógeno total (C/N=10,5). El pH es ligeramente ácido (6,4) y el fósforo extractable es de aproximadamente 6 ppm (Berasategui y Barberis, 1982).

En octubre de 1999 se realizó un único viaje de recolección en el que se obtuvieron heces frescas pertenecientes a un rodeo de cría de raza Hereford que pastoreaba en ese sitio. Se recogió una abundante cantidad de heces (entre 2 y 3 kg) en un área total de aproximadamente 5 hectáreas. El criterio para elegir las heces fue que al desarmarlas estuvieran frescas y que tuvieran una costra superficial delgada, lo que sugería una reciente deposición. Posteriormente, en laboratorio, las heces se desmenuzaron manualmente, se enjuagaron con agua para retirar restos de tierra, y se secaron al aire hasta alcanzar peso constante. El suelo se recolectó del horizonte superficial, se tamizó para remover restos vegetales y animales y se incubó a capacidad de campo y en oscuridad durante dos semanas. Antes de instalar las bolsas de descomposición, cada microcosmos se enjuagó con 100 ml de agua destilada con el fin de homogeneizarlos y de eliminar excesos de nutrientes en la solución del suelo. La orina se elaboró artificialmente, según el protocolo propuesto por Stillwell (1983) y utilizado por Day y Detling (1990). Se preparó una solución con 6,4 g de nitrógeno por litro de solución, constituida esencialmente por urea, una cantidad equivalente de sales de potasio y, en menor proporción, sales de sodio, magnesio y calcio.

Se colocó 1 g de heces en bolsas de nylon de 60 cm² (trama de 0,35 mm) y se aplicó 1 ml de orina artificial al suelo de las

incubaciones correspondientes. En las incubaciones de orina y en los controles se colocaron bolsas vacías similares a las que contenían las heces y, a su vez, en las incubaciones de heces y en los controles se agregó un gramo de agua destilada para equiparar el agua agregada con la orina. Durante el período de incubación los microcosmos permanecieron en un invernáculo, en oscuridad, y con temperatura controlada entre 20 y 25°C y el suelo se mantuvo húmedo con riego por aspersión.

Se analizó el contenido inicial de nitrógeno, fósforo y lignina de las heces y el contenido de amonio y nitratos del suelo. Las heces se secaron al aire hasta peso constante, se molieron y las determinaciones de nitrógeno y fósforo se realizaron por digestiones con ácido sulfúrico, sulfato de cobre, sulfato de potasio y agua oxigenada a 380 °C (Jones, 1991) y se midieron por colorimetría (Alpkem Corporation, Wilsonville, Oregon). Para determinar lignina se utilizó el protocolo propuesto por Van Soest y Wine (1968), que indica digestiones sucesivas con detergente ácido y ácido sulfúrico 70% m/v y calcinación en mufla. El contenido de nitrógeno mineral se determinó por extracciones de 10 g de suelo con 50 ml de 2 M KCl y lectura colorimétrica. En las cosechas subsiguientes, se evaluó el peso remanente de las heces y se determinó su contenido de nitrógeno y fósforo con el mismo procedimiento descrito para el contenido inicial. En cada cosecha, además, se tomaron muestras del suelo incubado a las que se les determinó el contenido de amonio y nitratos con el mismo procedimiento que el descrito para determinar los valores iniciales.

El contenido de nitrógeno del suelo se evaluó con un ANVA de dos vías, con tiempo de incubación y tipo de material como factores y el nivel de significancia utilizado fue $p < 0,05$. El peso remanente de las heces y su contenido de nitrógeno y fósforo durante la descomposición se analizó con ANVAs de una vía para los cuatro tiempos de incubación.

Resultados y Discusión

Las heces presentaron una concentración inicial de nitrógeno de 1,8% y la concentración de fósforo fue de 0,3% (Cuadro 1). El contenido inicial de nitrógeno de las heces fue intermedio entre el contenido del mantillo de los pastos y las hierbas provenientes del mismo pastizal e incubados en un experimento similar, cuyos valores medios se agregan en el Cuadro 1 a modo de referencia (Semmartin et al., 2004). A su vez, el contenido inicial de fósforo de las heces fue similar al documentado para las hierbas. El contenido de lignina de las heces, en cambio, fue muy superior al documentado para el mantillo de pastos y hierbas, incluso superior al de raíces de este tipo de pastos, que puede oscilar alrededor del 12% (Semmartin et al., 2004). La relación inicial lignina:nitrógeno de las heces también fue mayor que la del material vegetal (Cuadro 1).

Luego de un año de incubación quedó aproximadamente el 60% del material original ($p < 0,0001$, Figura 1). La comparación con los valores promedio de mantillo de pastos y de hierbas descriptos en Semmartin et al. (2004) muestra que la dinámica de descomposición de las heces siguió la misma tendencia que la de los pastos y las

hierbas (Figura 1).

La dinámica del nitrógeno en las heces mostró un balance neto de mineralización del nitrógeno durante el año de incubación, si bien se registraron períodos de inmovilización neta durante los primeros 30 días y entre los 100 y 180 días (diferencias significativas entre el porcentaje de nitrógeno remanente a los 30 y a los 356 días, $p < 0,013$; Figura 2A). Durante un año se mineralizaron aproximadamente 5 mg de nitrógeno por gramo de material agregado, es decir un 30% del nitrógeno inicial. El fósforo también presentó un balance neto de mineralización a lo largo del año de incubación, con un patrón temporal similar al del nitrógeno (diferencias significativas entre el porcentaje de fósforo remanente a los 30 y a los 356 días; $p < 0,008$; Figura 2B). Durante el período de incubación se mineralizaron 1,4 mg de fósforo por gramo de material agregado, es decir el 50% del fósforo inicial. La comparación con la dinámica de estos nutrientes en el mantillo vegetal muestra que las heces presentaron un patrón de mineralización de nitrógeno semejante al de las hierbas, mientras que en el caso del fósforo las heces tuvieron un patrón semejante al de los pastos y muy distinto al de las hierbas (Figura 2 A,B).

Cuadro 1: Composición inicial de las heces y la orina artificial. Se indican promedio y error estándar de heces, ya que para la orina se calculó a partir de la solución artificial. Se agregan promedios de mantillo de dos pastos (*Bothriochloa laguroides* y *Danthonia montevidensis*) y de dos hierbas (*Leontodon taraxacoides* y *Mentha pulegium*) del pastizal de la Pampa Deprimida, a modo de comparación (Semmartin et al., 2004).

Table 1: Chemical composition of faeces and artificial urine. Average and standard error are indicated only for faeces. Average of litter of two grasses and two forbs from the Flooding Pampa grassland are also added for comparison (Semmartin et al., 2004).

Material	N%		P%		Lignina%		Lignina:N	
	x	es	x	es	x	es	x	es
Heces	1,75	0,03	0,28	0,01	16,15	0,08	9,22	
Orina	0,64	--	0	--	0	--		--
Pastos	0,75		0,04		5,60		7,47	
Hierbas	2,29		0,30		4,41		1,92	

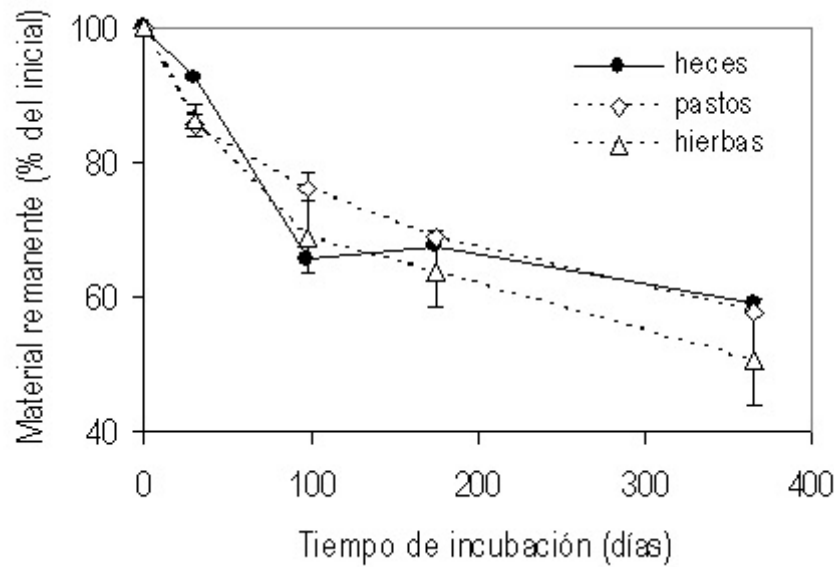


Figura 1: Dinámica de la descomposición de heces durante la incubación. Se agregan promedios de mantillo de pastos y hierbas de la Pampa Deprimida (ver texto en Cuadro 1). Las barras verticales indican ± 1 error estándar.

Figure 1: Dynamics of mass loss for dung. Average of litter of grasses and forbs are included for comparisons, as reference in Table 1. Vertical bars indicate ± 1 standard error.

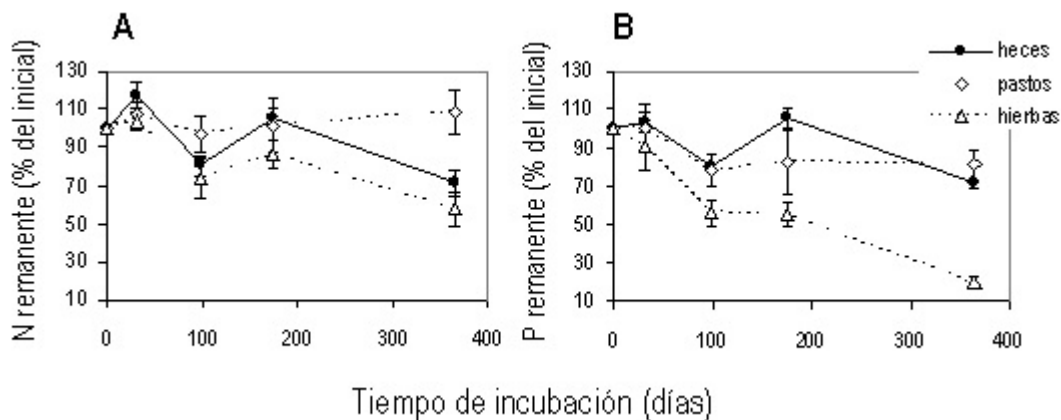


Figura 2: Dinámica del nitrógeno (A) y del fósforo (B) de las heces durante la incubación. Se agregan valores de pastos y hierbas de la Pampa Deprimida (ver texto en Cuadro 1). Las barras verticales indican ± 1 error estándar.

Figure 2: Nitrogen (A) and phosphorus (B) dynamics of dung during decomposition. Average of litter of grasses and forbs are included for comparisons (see text in Table 1). Vertical bars indicate ± 1 standard error.

El nitrógeno inorgánico del suelo, que era de 35 mg por kilogramo de suelo al comienzo del experimento, alcanzó valores entre 380 y 700 mg luego de un año de incubación, y mostró diferencias entre tratamientos (Figura 3A). Las incubaciones con orina artificial mostraron los mayores valores, superiores tanto al control como a las heces. Por su lado, el contenido de nitrógeno del suelo en las incubaciones con heces fue inferior al control (Figura 3A; $p < 0,0001$). No se detectó una interacción significativa entre el material incubado y el tiempo de incubación ($p = 0,84$). La comparación con las hierbas y los pastos del mismo pastizal revelaron que las heces no presentaron diferencias con respecto al mantillo de los pastos preferidos por los herbívoros mientras que la orina artificial presentó valores similares a los de las hierbas, excepto durante la segunda y última cosecha, que presentó valores significativamente mayores y menores respectivamente.

Este trabajo mostró que las heces y la orina artificial tuvieron un impacto diferencial sobre la dinámica del nitrógeno durante la descomposición: las heces promovieron la conservación (inmovilización) del nitrógeno mientras que la orina promovió fuertemente su mineralización. Las heces tuvieron una concentración inicial de nitrógeno y fósforo superior a la de la orina artificial y similar a la del mantillo de las hierbas promovidas por el pastoreo (Semmartin et al., 2004). La concentración de lignina de las heces, en cambio, fue muy superior a las del material vegetal, tanto de hierbas como de pastos. El patrón temporal de descomposición de las heces fue muy acelerado al comienzo de la incubación, similar al de las hierbas, y más lento a partir de los tres meses de descomposición, asemejándose al patrón de los pastos. El patrón de mineralización de nitrógeno de las heces resultó similar al de las hierbas mientras que el de fósforo se asemejó al de los pastos. Así, el

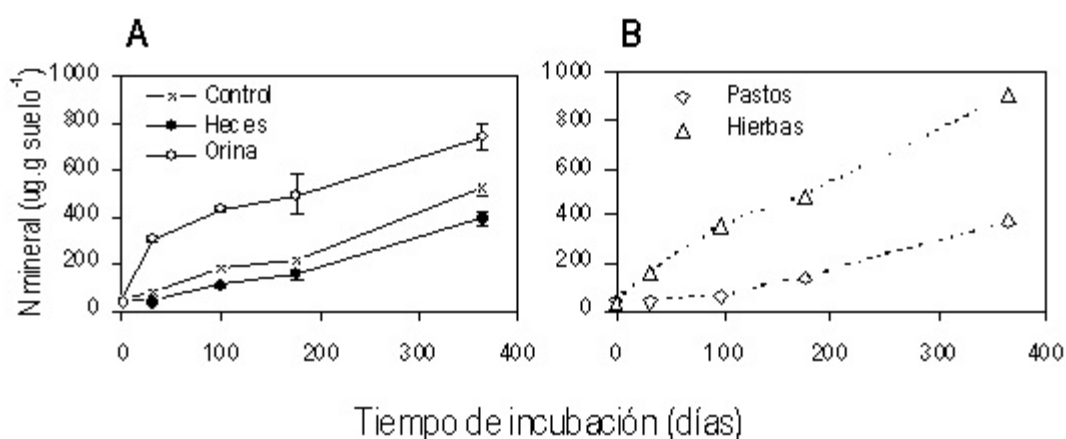


Figura 3: Dinámica del nitrógeno inorgánico del suelo (amonio y nitratos) a lo largo del período de incubación para control, y los agregados de heces y orina (A). Se agregan valores promedio para pastos y hierbas a modo de comparación (B), (ver texto en Cuadro 1). Las barras verticales indican ± 1 error estándar.

Figure 3: Soil mineral nitrogen (ammonium and nitrate) during the incubation (A). Average of soil amended with litter of grasses and forbs are included for comparisons (see text in Table 1). Vertical bars indicate ± 1 standard error.

contenido de nitrógeno mineral en el suelo incubado con heces resultó muy inferior al del mantillo de las hierbas y al de la orina artificial. Por su lado, las incubaciones de orina artificial, que contenían una concentración inicial de nitrógeno inferior a las heces, pero una relación nitrógeno:carbono mucho más alta, aumentaron significativamente la disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo, alcanzando valores casi tan altos como las incubaciones con mantillo de hierbas.

Algunas implicancias de los resultados

Si bien los resultados de este trabajo se circunscriben a heces recolectadas en un momento particular del año, los resultados presentaron tendencias lo suficientemente claras como para interpretarlos en un contexto algo más amplio. No obstante, para realizar generalizaciones más robustas, futuras investigaciones deberían abarcar diferentes momentos del año y cubrir un rango de variabilidad climática interanual (principalmente de precipitaciones, que determina la cantidad de forraje producido).

El pastoreo modifica los caminos de reingreso de nitrógeno al suelo y afecta la posterior disponibilidad de este nutriente para los microorganismos y las plantas. Mientras que en sistemas muy levemente pastoreados prácticamente la totalidad del nitrógeno reingresa al suelo a partir de material vegetal senescente, en sistemas intensamente pastoreados, entre el 20 y el 40% del nitrógeno orgánico reingresa al suelo en forma de heces y orina. Por ejemplo, en un pastizal dedicado a la cría en la Pampa Deprimida, con baja carga animal (180 kg/ha), Chaneton et al. (1996) estimaron un reingreso de nitrógeno al suelo en forma de deyecciones de aproximadamente el 20% del reingreso total (deyecciones + material vegetal senescente). Otro ejemplo, pero en pastizales norteamericanos pastoreados por un mamífero nativo pequeño (*Cynomys ludovicianus*), Holland et al. (1992) estimaron para distintas intensida-

des de pastoreo un retorno de nitrógeno por deyecciones que oscilaba entre el 25 y el 40% del nitrógeno total, según la intensidad de pastoreo. El presente trabajo apuntó a comprender mejor y a cuantificar con más detalle algunos aspectos de la dinámica del nitrógeno en diferentes condiciones de "material agregado+suelo" que intentan representar los tipos de "parche" que conforman un ecosistema pastoril (heces+suelo, orina+suelo y suelo). Los resultados mostraron que la calidad de las heces, de la orina artificial y de las hierbas promovidas por el pastoreo están asociadas a una circulación de nitrógeno más rápida que la que ocurre con los pastos que predominan en una situación con poco pastoreo. En el caso de las heces, la mayor tasa de circulación probablemente se deba a la mayor concentración de nitrógeno y especialmente de fósforo respecto de los pastos, mientras que en el caso de la orina artificial, si bien la concentración de nitrógeno es baja, este nutriente está principalmente asociado a la urea, que es un compuesto fácilmente mineralizable.

El régimen de pastoreo modifica la cantidad, calidad y distribución espacial del nitrógeno que reingresa al suelo debido a la heterogeneidad inherente al patrón de consumo de los herbívoros (Chaneton y Facelli, 1991; Bailey et al., 1996; Lavado et al., 1996; Cid y Brizuela, 1998) y la heterogeneidad asociada a las deyecciones (Petersen et al., 1956a,b; Day y Detling, 1990). Cada tipo de parche, a su vez, presentará una dinámica de nutrientes propia, con distintas magnitudes en sus flujos de entrada, salida e intercambio entre suelo y material agregado, que están regulados parcialmente por la calidad del material agregado. Los resultados del presente estudio sugieren que en un parche de heces, si bien la cantidad absoluta de nutrientes superará a la aportada en un parche de orina, la mayor parte del nitrógeno quedará inmovilizado en el mismo material agregado o integrando la biomasa microbiana del suelo. Asimismo,

se puso en evidencia que la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, en el corto plazo, podría ser inferior al suelo sin agregado de material. En cambio, en un parche de orina el resultado inmediato sería un aumento en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Si bien las heces tienen una mayor concentración de nitrógeno que la orina, una alta proporción de ese nitrógeno está asociada a constituyentes de la pared celular de muy difícil metabolización. En la orina, en cambio, la mayor parte del nitrógeno está en la urea, que es un compuesto de muy rápida metabolización (Van Soest, 1995).

Finalmente, este trabajo estableció comparaciones entre las distintas formas en que el nitrógeno ingresa al suelo, con el objetivo de avanzar en la comprensión de la relación entre la calidad del material incorporado y la dinámica del nitrógeno en pastizales bajo pastoreo tanto en el corto plazo como en el largo plazo. Los resultados indicaron que en el corto plazo el aumento en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas asociado a las deyecciones de orina sería similar a las hierbas promovidas por el pastoreo. Por su parte, la reducción asociada a las heces sería comparable al efecto de los pastos perjudicados por el pastoreo. Sin embargo, este aumento en la disponibilidad de nitrógeno mineral ocurriría a expensas de una reducción del nitrógeno total en el largo plazo. Considerando que al menos una proporción importante de los pastizales pampeanos se destina a la producción de ganado, las estimaciones advierten sobre la importancia de regularizar estrategias de recuperación y mantenimiento de la fertilidad edáfica que permitan sostener la capacidad productiva de estos recursos en el tiempo. Por otra parte, remarcan la necesidad de realizar estudios de campo para cuantificar las principales transformaciones del nitrógeno y del fósforo en el sistema suelo-pastizal-atmósfera.

Agradecimientos

Agradezco a los dueños del establecimiento "Las Chilcas" quienes amablemente me permitieron recolectar muestras en su propiedad. L. Garibaldi colaboró con el procesamiento de las muestras y N. Diddoné realizó los análisis de lignina. Este estudio se financió con fondos otorgados por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, ANPCyT (Pict 6761), por el CONICET y la Universidad de Buenos Aires. Durante este período fui financiada por una beca "Alberto Soriano" de las Fundaciones Antorchas y René Baron.

Bibliografía

- Afzal, M. and Adams, W.A. 1992. Heterogeneity of soil mineral nitrogen in pasture grazed by cattle. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1160-1166.
- Bailey, D.W., Gross, J.E., Laca, E.A., Rittenhouse, L.R., Coughenour, M.B., Swift, D.M. and Sims, P.L. 1996. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *J. Range Management* 49:386-400.
- Berasategui, L. y Barberis, L. 1982. Los suelos de las comunidades vegetales de la región de Castelli-Pila, Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires). *Rev. Fac. Agr. Univ. Buenos Aires* 3:13-25.
- Burkart, S.E., León, R.J.C. y Movia, C.P. 1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la depresión del Salado (Prov. de Bs. As.) en un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana* 30:27-69.
- Chaneton, E.J. and Facelli, J.M. 1991. Disturbance effects on plant community diversity: spatial scales and dominance hierarchies. *Vegetatio* 93:143-155.
- Chaneton, E.J., Lavado, R.S. and Lemcoff, J.H. 1996. Nitrogen and phosphorus cycling in grazed and ungrazed plots in a temperate subhumid grassland in Argentina. *Journal of Applied Ecology* 33:291-302.
- Cid, M.S. and Brizuela, M.A. 1998. Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. *J. Range Management* 51:644-649.

- Day, T.A. and Detling, J.K. 1990. Grassland patch dynamics and herbivore grazing preference following urine deposition. *Ecology* 71:180-188.
- Holland, E.A., Parton, W.J., Detling, W.K. and Coppock, D.L. 1992. Physiological responses of plant populations to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow. *The American Naturalist* 140:685-706.
- Jones, J.B. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
- Lavado, R.S., Sierra, J. and Hashimoto, P. 1996. Impact of grazing on soil nutrients in Pampean grassland. *J. Range Management* 49:452-457.
- McNaughton, S.J., Oesterheld, M., Frank, D.A. and Williams, K.J. 1989. Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341:142-144.
- Oesterheld, M., Sala, O.E. and McNaughton, S.J. 1992. Effect of Animal Husbandry on Herbivore-Carrying Capacity at a Regional Scale. *Nature* 356:234-236.
- Peoples, M.B., Freney, J.R. and Moisie, A.R. 1995. Minimizing gaseous losses of nitrogen. Pp 565-601. In: Nitrogen fertilization in the environment P.E. Bacon (ed.) Woodlote and Wetlands Pty. Ltd., Sydney.
- Perelman, S.B., León, R.J.C. and Oesterheld, M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *J. Ecology* 89: 562-577.
- Petersen, R., Lucas, H. and Woodhouse, W. 1956a. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility: I. Excretal distribution. *Agronomy J.* 48:440-444.
- Petersen, R., Woodhouse, W. and Lucas, H. 1956b. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility: II. Effect of returned excreta on the residual concentration of some fertilizer elements. *Agronomy J.* 48:445-449.
- Russelle, M.P. 1992. Nitrogen cycling in pasture and range. *J. Prod. Agric.* 5:13-23.
- Sala, O.E., Oesterheld, M., León, R.J.C. and Soriano, A. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67: 27-32.
- Seagle, S.W., McNaughton, S.J. and Ruess, R.W. 1992. Simulated effects of grazing on soil nitrogen and mineralization in contrasting Serengeti grasslands. *Ecology* 73:1105-1123.
- Semmartin, M., Aguiar, M.R., Distel, R.A., Morretto, A.S. and Ghera, C.M. 2004. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced species replacements along a precipitation gradient. *Oikos* 107:148-160.
- Stillwell, M.A. 1983. Effects of bovine urinary nitrogen on the nitrogen cycle of a shortgrass prairie. Dissertation. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Van Soest, P.J. 1995. Nutritional ecology of the ruminant. 2da. Edición. Cornell University Press, Ithaca. 476 pp.
- Van Soest, P.J. and Wine, R.H. 1968. The determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. *J. Ass. Offic. Anal. Chem.* 51:780-787.