

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO INORGÁNICO Y FOSFATOS A DISTINTAS PROFUNDIDADES DE SUELO BAJO PILAS DE ABONOS

JAVIER LUIS FERRARI*¹; EDUARDO ENRIQUE MARTÍNEZ²; MARÍA VICTORIA CREMONA¹
& MARÍA JULIA MAZZARINO³

Recibido: 13-05-12

Recibido con revisiones: 03-08-12

Aceptado: 07-08-12

RESUMEN

En la región Andino-patagónica frecuentemente la reposición de nutrientes para diferentes cultivos se lleva a cabo mediante el uso de estiércoles mezclados con viruta, comúnmente denominados abonos. Los mismos son acumulados en pilas de 1,5-2 m de altura. Al permanecer durante un período de tiempo al aire libre puede producirse un compostaje parcial, lo cual sería beneficioso. El compostaje es un proceso biooxidativo que involucra un sustrato orgánico, una etapa termofílica que debe alcanzar los 55 °C y una etapa de maduración. Si los abonos permanecen a la intemperie los nutrientes pueden ser transportados por el agua de percolación (particularmente en los meses de invierno de mayor precipitación), perdiéndose del suelo. Con el objetivo de determinar si ocurre un movimiento de fósforo extractable en NaHCO_3 0,5M (P-Ol de fósforo Olsen) y nitrógeno inorgánico (Nin de nitrógeno inorgánico, amonio más nitratos) bajo pilas de abono, se tomaron muestras compuestas de suelos de tres bloques a distintas profundidades en un establecimiento cercano a la localidad del Bolsón. Se estudió también la relación entre P-Ol (índice agronómico) y fósforo extractable en 0,01M de CaCl_2 (índice ambiental). Se tomaron las temperaturas de las pilas de abono en distintas estaciones del año. Para Nin se observó una alta dispersión en los datos y valores promedio excesivamente altos hasta 200 cm de profundidad. Los valores promedio (de tres bloques) encontrados para P exceden el umbral límite de 60 mg kg^{-1} P-Ol solo en la primera fecha de muestreo, aunque valores puntuales por bloque llegaron a 52 mg kg^{-1} a una profundidad de 40-60 cm. Se encontró una regresión lineal estadísticamente significativa entre P-Ol y P- CaCl_2 en suelos y un umbral entre 50/60 mg kg^{-1} P-Ol similar al observado en la bibliografía. Se encontraron valores muy altos para ambas variables en los abonos. Es recomendable proteger las pilas de abono de las lluvias en los meses de invierno.

Palabras clave. Abono; nitrógeno; fósforo.

DETERMINATION OF INORGANIC NITROGEN AND PHOSPHATES AT DIFFERENT SOIL DEPTHS BENEATH MANURE PILES

ABSTRACT

In the Andean – Patagonian region, nutrient supply for different crops is frequently made using wood chips mixed with manure. These materials are accumulated in piles of 1.5 – 2 m height. As the piles remain for a period of time outdoors, a partial composting may occur, which would be beneficial. Composting is a biooxidative process, involving an organic substrate, a thermophilic phase that must be reached (55°C) and a maturity stage. If the manure piles remain outdoors, nutrients can also be transported by water and lost from the soil through percolation (particularly during winter months of higher precipitations). With the objective of studying if extractable phosphorus in NaHCO_3 0.5M (P-Ol of phosphorus Olsen) and inorganic nitrogen (Nin; ammonium plus nitrates) move beneath the piles of manure, composite soil samples were taken from three blocks at different depths in a farm near the town of El Bolsón. The relationship between P-Ol (agronomic threshold) and extractable P in 0.01 M CaCl_2 (environmental threshold) was also studied. Manure temperatures were taken in different seasons. Nin showed a high data dispersion and excessively high mean values up to the 200 cm depth. Average values (of three blocks) found for P exceeded the threshold limit of 60 mg kg^{-1} P-Ol only on the first sampling date in the 0-20cm depth, although individual data for each block reached 52 mg kg^{-1} in the 40-60 cm depth. A statistically significant linear regression between P-Ol and P- CaCl_2 in soils was obtained, and a threshold near 50/60 mg kg^{-1} , similar to the values reported in the literature. High values for both parameters were found in manures. It is advisable to protect piles of manure from rainfall in winter months.

Key words. Manure; nitrogen; phosphorus.

¹ EEA INTA Bariloche

² AER INTA El Bolsón

³ CONICET-CRUB (INIBIOMA)

* Autor de correspondencia: jferrari@bariloche.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Tanto en la agricultura orgánica como en el manejo integrado de granja (sistema que tiende a equilibrar los nutrientes aportados por los abonos con las necesidades de los cultivos dentro de un mismo establecimiento) se ha considerado que los estiércoles son esenciales para mantener o recuperar la fertilidad del suelo (Watson *et al.*, 2002; Trewavas, 2004). Si los abonos de origen animal son aplicados al suelo regularmente, se incrementa la materia orgánica del suelo, la porosidad, el nitrógeno mineralizable, el fósforo extractable en bicarbonato de sodio, la actividad microbiana, y se reduce la densidad aparente (Power & Doran, 1984; Sommefeldt & Chang, 1985, Campbell *et al.*, 1986; Walen & Chang, 2001). Los abonos son una fuente de N y P muy importante para los cultivos (Egbbal & Power, 1994). Sin embargo, aplicaciones en cantidades excesivas pueden conducir a una contaminación de las aguas subterráneas (Campbell *et al.*, 1986; Sharpley *et al.*, 2003). En la región Andino-patagónica frecuentemente la reposición de nutrientes para diferentes cultivos se lleva a cabo mediante el uso de estiércoles mezclados con viruta, comúnmente denominados abonos. Los mismos son acumulados en pilas de 1,5-2 m de altura por 30 m de largo aproximadamente, con un tiempo de espera para su utilización de 3 a 12 meses. Al permanecer este período de tiempo al aire libre puede producirse un compostaje parcial, lo cual sería beneficioso. El compostaje es un proceso biológico en el cual los microorganismos convierten materiales orgánicos en un material estable (Rink *et al.*, 1992). Es un proceso biooxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico en estado sólido, una etapa termofílica, y una etapa de maduración (Zuconi & De Bertoldi, 1987). Para que se produzca un compostaje efectivo se debe alcanzar la temperatura de 55 °C en la etapa termofílica, en la cual los patógenos son eliminados (Rynk *et al.*, 1992; Laos *et al.*, 2002). Observar las temperaturas de las pilas de abono en las distintas estaciones del año, puede contribuir a comenzar a evaluar el proceso de compostaje en una situación real, dando la posibilidad de mejorar la utilización de estos materiales. Si los abonos permanecen a la intemperie, los nutrientes (Nin y P-OL) pueden ser transportados por el agua de percolación (particularmente en los meses de invierno de mayor precipitación), perdiéndose del suelo. La contaminación potencial depende mayormente de la ubicación de la materia prima, de la estación del año y de la tecnología de compostaje empleada (Confesor *et al.*, 2008). Para estimar pérdidas de fósforo en el agua de drenaje subsuperficial, Heckrath *et al.* (1995), Hesketh & Brookes

(2000) y McDowell & Sharpley (2001b), determinaron el P extractable en una solución 0,01M de CaCl_2 relación 1:5 y lo relacionaron al contenido de P-OL. Estos estudios buscaron establecer un umbral para P-OL por encima del cual el P se mueve a través del perfil de suelo. En los suelos de la región bajo estudio, el P-OL es el método normalmente utilizado como valoración agronómica del P extractable, siendo un método apto para distintos tipos de suelos (Sparks *et al.*, 1996). Para evaluar los abonos pueden realizarse también las mismas determinaciones que en suelos. Los objetivos de este trabajo fueron: 1- Determinar si ocurre un movimiento de P-OL y Nin (amonio más nitrato) y la magnitud del mismo, a distintas profundidades de suelo bajo pilas de abono; 2- Estudiar la relación entre P-OL y fósforo extractable en 0,01M de CaCl_2 relación 1:5 en suelos y abonos; 3- Evaluar las temperaturas de los abonos en distintas estaciones del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en un tambo cercano a la localidad de El Bolsón, Río Negro, Argentina (41°56'36" S latitud, 71°31'21" W longitud). Los suelos son de textura franca con influencia de cenizas volcánicas (pH-NaF 9,2 a 60') y alto contenido de C orgánico (3,8%). La localidad de El Bolsón se encuentra entre la isohieta de 1000 mm al oeste y la de 500 mm al este (Ayesa *et al.*, 2002). La precipitación total en el año 2007 fue de 619 mm, los meses de mayor precipitación fueron junio, julio, agosto, septiembre y octubre (112, 132, 60, 105 y 68 mm, respectivamente) y los de menor precipitación fueron noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo (13, 8, 8, 29 y 8 mm, respectivamente). Dentro del área de acumulación de abonos del establecimiento, se tomaron muestras compuestas de suelos (cinco submuestras de 0-20 cm y tres submuestras en el resto de las profundidades) de tres sectores (tres bloques completos aleatorizados) bajo pilas de abonos (SA de suelo bajo abono) a profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 100-200 cm. Se limpió completamente el barreno entre cada toma de muestra de suelo. En una zona cercana con vegetación natural y sin influencia de abonos (SP de suelo prístino) se tomaron muestras compuestas de suelos de tres sectores a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los muestreos fueron realizados de julio a diciembre del año 2007. Se extrajeron muestras compuestas de las pilas de abonos (diez submuestras de distintos sectores de cada pila) de tres pilas de menos de tres meses y de tres pilas de más de tres meses de permanencia en el campo. Se determinó en suelos y abonos: amonio más nitratos extractable en KCl 2M (Nin), fósforo extractable en NaHCO_3 0,5M (P-OL) (Sparks *et al.*, 1996) y

fósforo extractable en CaCl_2 0,01M relación 1:5 (McDowell y Sharpley (2001a). Se tomó la temperatura de las pilas de abonos a 1,5 m de altura, a 20 y 60 cm en el interior de las pilas en distintas estaciones del año. Para los análisis estadísticos de P-OL y Nin en suelos se consideró un diseño factorial (con dos factores, fecha y profundidad de muestreo) y para el análisis se utilizaron modelos mixtos, verificando los supuestos del modelo. Para las relaciones de P-OL y P- CaCl_2 en suelos y abonos se utilizaron regresiones lineales. Para la comparación entre SA y SP se utilizó el test de comparaciones múltiples de Tukey entre cada fecha de SA y el promedio de las dos fechas de SP, a un nivel de significancia del 5%. En ambos casos se trabajó con el programa SAS (2002-2003). Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary NC, USA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observaron diferencias significativas entre fechas para SP, los niveles de P-OL y Nin fueron muy bajos (Fig. 1), esto coincide con datos anteriores de suelos de la región donde se observó, independientemente de la época del año, bajos a muy bajos niveles de P-OL y Nin en suelos naturales (Cremona & Lopez, 2004; Lanciotti *et al.*, 1992).

Para Nin no se encontraron diferencias significativas entre fechas de muestreo de SA debido a la alta dispersión de los datos, si bien en promedio habría una tendencia decreciente (Fig. 1). Se encontraron diferencias significativas entre SA y SP solo en la primera fecha (para las tres profundidades) también debido a la alta dispersión en los datos (Fig. 1). Los valores de Nin en SA son decrecientes a medida que bajamos en el perfil de suelo con niveles excesivamente altos en todas las profundidades muestreadas, llegando a valores puntuales por bloque de 592 mg kg^{-1} a 0-20 cm y de 172 mg kg^{-1} a 100-200 cm. Confesor *et al.* (2007) también encontraron una alta variabilidad en nitratos a distintas profundidades de suelo bajo pilas de abonos, con un valor promedio de 46 mg kg^{-1} a 80 cm varias veces superior al suelo control. Los datos obtenidos en nuestro caso sugieren también que el Nin ha sido transportado por el agua, siendo un riesgo ambiental y reduciendo el reciclado de este nutriente hacia los cultivos.

Se observaron diferencias significativas entre fechas de muestreo en SA para valores promedio de P-OL a la profundidad de 0-20, pero no en profundidades mayores (Fig. 1). Se encontraron diferencias significativas entre SA y SP para P-OL para las tres fechas a 0-20 cm, para la primera fecha de 20-40 cm y para la primera y segunda fecha a 40-

60cm (Fig. 1). Se observaron valores puntuales por bloque de P-OL de 74 mg kg^{-1} a 0-20 cm y valores puntuales por bloque de 52 mg kg^{-1} a 40-60 cm. Para SA la disminución de las cantidades de P-OL en el tiempo de 0-20 cm y el aumento de los niveles de P-OL en todas las profundidades, varias veces superior a SP sugieren el movimiento del P desde el abono hacia el perfil de suelos. Los valores promedio encontrados para P exceden el umbral sugerido en la bibliografía solo en la primera fecha de muestreo de SA a 0-20 cm, 60 mg kg^{-1} P-OL en la capa arable es considerado un umbral límite a partir del cual se incrementan los niveles de P soluble (Heckrath *et al.*, 1995; Hesketh & Brookes, 2000). El tipo de protocolos de muestreo de suelos (muestras compuestas) para interpretaciones agronómicas puede enmascarar diferencias en los niveles de nutrientes que pueden ser importantes en la interpretación medioambiental (Penn *et al.*, 2007).

En la Figura 2 se observa una regresión lineal significativa entre P-OL y P- CaCl_2 . La primera determinación es considerada con un objetivo agronómico y la segunda relacionada a la pérdida potencial de P en el suelo es considerada un índice ambiental (McDowell y Sharpley, 2001a). En estudios con diversos tipos de suelos se ha observado un punto de inflexión o cambio de pendiente a partir del cual los valores de ambas determinaciones se incrementan fuertemente. En suelos desde 10 a 120 mg kg^{-1} P-OL, Heckrath *et al.* (1995) encontraron dicho punto en 60 mg kg^{-1} , mientras que McDowell y Sharpley (2001a) observaron un punto de inflexión en 36 mg kg^{-1} (donde comienza a aumentar el P- CaCl_2) con valores cercanos a 60 mg kg^{-1} P-OL que se corresponden entre 0,3 y 0,4 mg L^{-1} de P- CaCl_2 . En la Figura 2 observamos relaciones similares de 50 mg kg^{-1} de P-OL para 0,3/0,4 mg L^{-1} de P- CaCl_2 , a partir de la cual ambas variables se incrementan fuertemente. El rango de 25-50 mg kg^{-1} P-OL es considerado alto o muy bien provisto para suelos de nuestra zona; en la medida que los niveles de P se acerquen a 50/60 mg kg^{-1} de P-OL deberíamos reducir o suspender el abonado o fertilización. Este nivel está por encima de los requerimientos de la mayoría de los cultivos (Heckrath *et al.*, 1995; Sharpley *et al.*, 2003). Para objetivos de manejo, el uso de valores límites en los análisis de rutina de suelos para minimizar pérdidas de P, provee al productor de una herramienta con la que está familiarizado en el manejo agronómico (McDowell & Sharpley, 2004).

En la Figura 3 observamos que si bien existe una regresión significativa entre P-OL y P- CaCl_2 , el coeficiente de

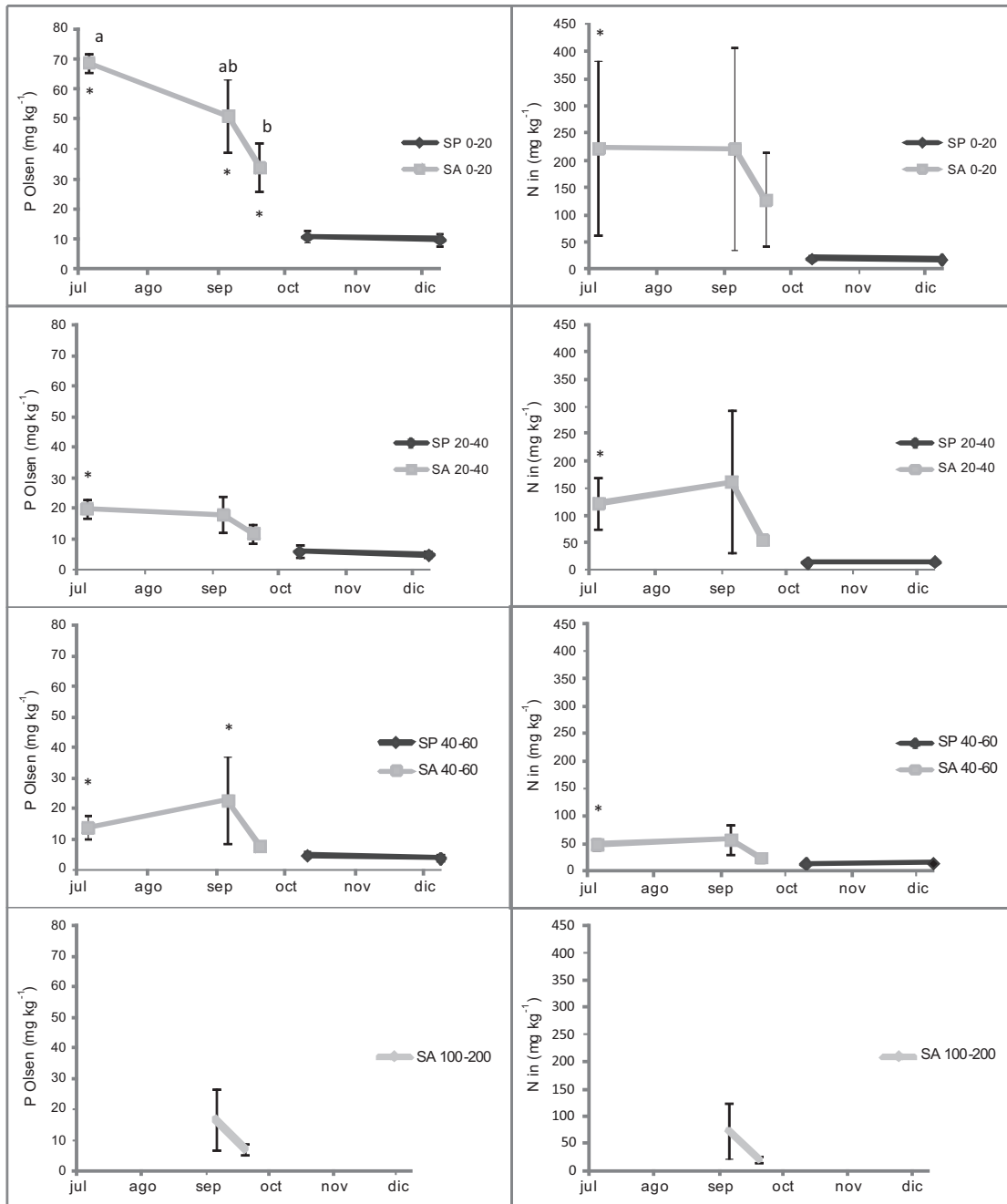


Figura 1. Contenidos de P-Olsen y N-inorgánico (nitrato + amonio) para las distintas fechas de muestreo y profundidades en suelos bajo pilas de abono (SA) y suelos prístinos (SP). Entre fechas de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas. La ausencia de letras indica que no se encontraron diferencias significativas. El asterisco indica diferencias significativas entre cada fecha de SA y promedio de las fechas de PS ($\alpha < 0,05$).

Figure 1. Olsen-P and inorganic-N (nitrate + ammonium) contents for the different sampling dates and depths of soils under piles of manure (SA) and pristine soils (SP). Among sampling dates, different letters indicate significant differences. Absence of letters indicate that not significant differences were found. An asterisk indicates significant differences among each date of SA and the average of dates of PS ($\alpha < 0.05$).

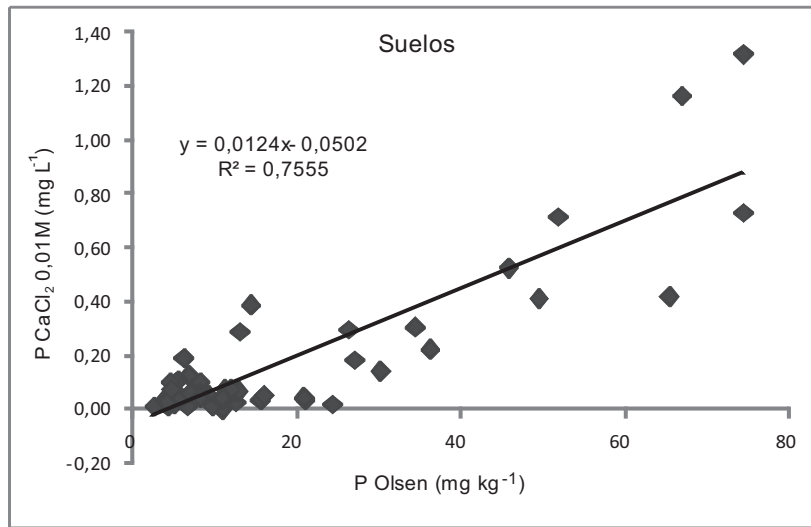


Figura 2. Relación entre P extractable en CaCl_2 0,01M (relación 1:5) y P extractable en NaHCO_3 0,5M (P-Olsen) en suelos, pendiente significativa $P < 0,001$.
 Figure 2. Relationship between extractable P in CaCl_2 0,01M (relation 1:5) and extractable P in NaHCO_3 0,5M (P-Olsen) in soils. The slope is statistically significant ($P < 0,001$).

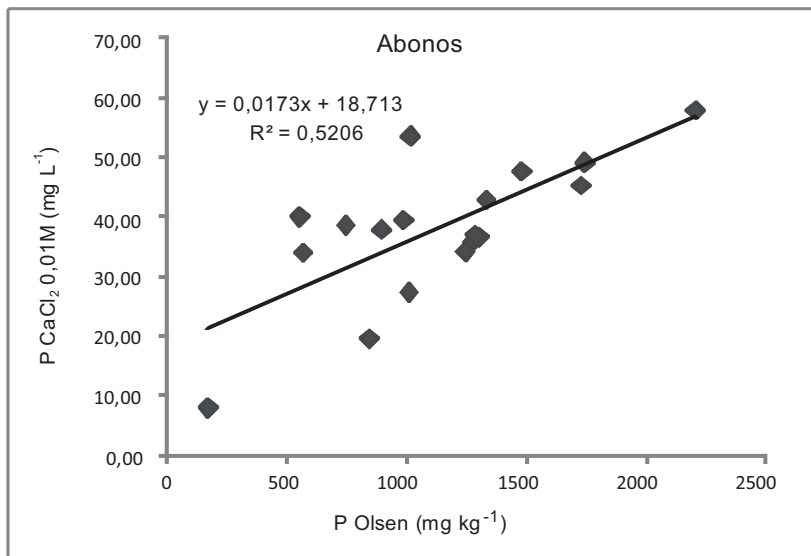


Figura 3. Relación entre fósforo extractable en CaCl_2 0,01M (relación 1:5) y fósforo extractable en NaHCO_3 0,5M (P-Olsen) en abonos, pendiente significativa $P < 0,001$.
 Figure 3. Relationship between extractable P in CaCl_2 0,01M (relation 1:5) and extractable P in NaHCO_3 0,5M (P-Olsen) in manures. The slope is statistically significant ($P < 0,001$).

regresión es bajo, pero a valores muy altos en ambas variables. Debemos tener en cuenta que valores a partir de 0,3/0,4 mg L^{-1} de P- CaCl_2 0,01M relación 1:5 son considerados (en suelos) como una alta concentración de P transportable por el agua (McDowell & Sharpley, 2001c).

Esto implica por un lado que son materiales con un alto potencial de liberar P con el consecuente riesgo para el medio ambiente, siendo el lavado por el agua de lluvia el mayor mecanismo de remoción de P de los abonos (Vadas *et al.*, 2007). Los abonos contienen altas concentraciones

de P que son rápidamente liberadas por el agua (Kleinman *et al.*, 2005; Kleinman *et al.*, 2009). Pero por otro lado son de alto valor para reponer nutrientes ya que de un 5 a un 20% del P total (considerando 0,85% de P total para estos abonos) estaría directamente disponible (P-OI). También se ha hallado que cerca del 40% del incremento en el P orgánico del suelo debido a la incorporación de abonos, se encuentra en la fracción lábil extractable en NaHCO_3 (Sharpley, 1995). Evitar entonces el lavado de P de las pilas de abonos aumentaría la eficiencia de reutilización del mismo. El uso de cubiertas permanentes sería óptimo, pero sería útil también cubrir los abonos con plásticos durante los días de lluvia (similar a la protección que se da a los rollos y fardos para alimentar al ganado). Otra alternativa podría ser fraccionar la aplicación de abono para disminuir las cantidades acumuladas en el invierno, controlando también los niveles de P en suelos en las áreas cultivadas. Podría también rotarse la zona de acumulación de abonos dentro

del establecimiento poniendo una capa de viruta o chipado de ramas por debajo del abono.

En la Tabla 1 no se encontraron diferencias significativas entre fechas de muestreo en los contenidos de P-OI y Nin en abonos. Para observar la dinámica de producción y transporte de P-OI y Nin deberíamos hacer un seguimiento mensual durante todo el año. En la bibliografía, los estudios de campo son complementados con estudios de suelos dentro de lisímetros con agregado de abono, analizando el percolado de los mismos (McDowell & Sharpley 2001c; Kleinman *et al.*, 2003; Brock *et al.*, 2007). Los pulsos de mineralización de N y P de los abonos pueden disimular lo transportado por el agua. Podríamos medir entonces en el futuro los contenidos totales, potencialmente mineralizables y disponibles en cada fecha.

En la Tabla 2 se observa que las temperaturas de las pilas superan la temperatura media diaria, tanto en los meses de invierno como en verano. Esto sugiere que los abonos

Tabla 1. Valores promedio y error estándar de P-OI y Nin en abonos de distinto tiempo de permanencia en el campo (menos de 3 y más de 3 meses). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 1. Means and standard errors of P-OI and Nin in manures with different residence times on the field (less than 3 and more than 3 months). Different letters indicate statistically significant differences ($\alpha=0.05$).

Fecha	Abono	P-OI (mg kg ⁻¹)			Ni (mg kg ⁻¹)		
19-jul	< 3 meses	424	130	a	248	72	a
	> 3 meses	1038	125	b	188	19	a
19-sep	< 3 meses	1094	178	a	94	7	a
	> 3 meses	1262	147	a	165	9	a
03-oct	< 3 meses	1209	260	a	187	5	a
	> 3 meses	1743	266	a	128	29	a

Tabla 2. Temperaturas de los abonos en pilas con distintas ubicaciones (norte, sur), determinadas a 20 y 60 cm dentro de las pilas. Temperatura ambiente media diaria = Tmd. Promedio de 5 determinaciones a una altura de 1,5 m. Error estándar: es

Tabla 2. Manure temperature in piles facing different locations (north, south), measured at 20 and 60 cm depths into the piles. Environmental daily average temperature = Tmd (average of 5 determinations at 1,5 m of height). Standard error: es

	31-ene		22-feb		14-may		19-jul		19-sep		03-oct	
Tmd °C	13		20		8		4		5		12	
	M	es	M	es	M	es	M	es	M	es	M	es
pila S 0-20	39	1,0	34	1,8	40	4,4	15	1,4	19	2,0	24	3,3
pila S 20-60	40	1,3	37	1,6	49	2,1	20	2,7	17	3,8	23	3,7
pila N 0-20	39	0,5	46	4,7	38	3,2	18	1,0	14	0,6	15	0,4
pila N 20-60	40	1,1	46	4,4	45	1,8	19	1,8	13	0,2	15	0,7

tienen algún grado de compostaje, pero no hay seguridad de haber completado el proceso. En el caso de generarse un excedente en la producción de abonos de un establecimiento en particular, podrían ajustarse las proporciones entre material estructurante (viruta, chipeado de ramas) y material primario (estiércol) para asegurar las temperaturas de un compostaje efectivo. Estos materiales transformados en compost podrían destinarse a amplias regiones cercanas con baja fertilidad y a la restauración de suelos degradados (Kowaljow & Mazzarino, 2007).

CONCLUSIÓN

Se observaron evidencias de movimiento y enriquecimiento de P-OL y Nin en el perfil de suelo bajo pilas de abono. Evitar esto puede contribuir a disminuir el riesgo ambiental y aumentar la reutilización de N y P a partir de los abonos. Se encontró una alta correlación entre P-OL y P-CaCl₂ en suelos, con un umbral similar al observado en la bibliografía, el cual permite establecer un nivel máximo de 50/60 mg kg⁻¹ de P-OL de enriquecimiento, por encima del cual los niveles de P son considerados excesivos. Establecer un nivel máximo deseable, puede ser particularmente útil en actividades de uso intensivo del suelo. Las mayores temperaturas en los abonos que la temperatura ambiente en las distintas épocas del año, indica que sería factible transformar estos materiales en compost, ajustando las proporciones de estiércol y material estructurante, mejorando las condiciones de almacenaje de abonos y aumentando la frecuencia del control de temperatura que confirmen el proceso de compostaje.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Regional de INTA PATNO 07 y su coordinadora Ing. Agr. Claudia Cobelo, por el apoyo y financiamiento del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayesa, JA; CR López; DE Bran; FJ Umaña & PA Lagorio. (2002) Cartografía biofísica de la Patagonia Norte. INTA Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, PAN, PRODESAR.
- Brock, EH; QM Ketterings & PJA Kleinman. 2007. Phosphorus leaching through intact soil cores as influenced by type and duration of manure application. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 77: 269-281.
- Campbell, CA; MJ Schnitzer; WB Stewart; VO Biederbeck & F Selles. 1986. Effect of manure and P fertilizer on properties of a black Chernozem in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.* 66: 601-613.
- Confesor, RB; JM Hamlett; RD Shannon & RE Graves. 2007. Movement of nitrogen and phosphorus downslope and beneath a manure and organic waste composting site. *Compost Science and Utilization.* 15-2: 119-126.
- Confesor, RB; JM Hamlett; RD Shannon & RE Graves. 2008. Potential Pollutants from farm, food and Yard Waste Composts at differing ages: Part I. Physical and chemical properties. *Compost Science and Utilization.* 16-4: 228-238.
- Cremona, MV & S López. 2004. Niveles de fósforo en andosoles del Valle de El Bolsón. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. Actas: 86-87.
- Eghball, B & JF Power. 1994. Beef cattle feedlot manure management. *J Soil Water Conserv.* 49: 113-122.
- Heckrath, G; PC Brookes; PR Poulton & KWT Goulding. 1995. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. *J. Environ. Qual.* 24: 904-910.
- Hesketh, N & PC Brookes. 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *J. Environ. Qual.* 29: 105-110.
- Kleinman, PJA; AM Wolf; AN Sharpley; DB Beegle & LS Saporito. 2005. Survey of water-extractable phosphorus in livestock manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 701-708.
- Kleinman, PJA; AN Sharpley; LS Saporito; AR Buda & RB Bryant. 2009. Application of manure to no-till soils: phosphorus losses by subsurface and surface pathways. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84: 215-227.
- Kleinman, PJA; BA Needelman; AN Sharpley & RW McDowell. 2003. Using soil phosphorus profile data to assess phosphorus leaching potential in manured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 215-224.
- Kowaljow, E & MJ Mazzarino. 2007. Soil restoration in semiarid Patagonia: chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1580-1588.
- Lanciotti, ML; GL Bonvissutto; P Bellati & RCEJ Somlo. 1992. Recopilación bibliográfica de mallines, suelos, vegetación pastizales. Comunicaciones Técnicas ISSN1667-4014. N° 72-3.
- Laos, F; MJ Mazzarino; I Walter; L Roselli; P Satti & S Moyano. 2002. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. *Bioresource Technology* 81: 179-186.
- McDowell, RW & AN Sharpley. 2001a. Approximating Phosphorus Release from Soils to Surface Runoff and Subsurface Drainage. *J. Environ. Qual.* 30: 508-520.
- McDowell, RW & AN Sharpley. 2001b. Soil phosphorus fractions in solution: influence of fertiliser and manure, filtration and method of determination. *Chemosphere.* 45: 737-748.
- McDowell, RW & AN Sharpley. 2001c. Phosphorus losses in subsurface flow before and after manure application to intensively farmed land. *The Science of the Total Environ.* 278: 113-125.
- McDowell, RW & AN Sharpley. 2004. Variation of phosphorus leached from Pennsylvania soils amended with manures, composts or inorganic fertilizer. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 102: 17-27.

- Penn, CJ; RB Bryant; B Needelman & PJA Kleinman. 2007. Spatial distribution of soil phosphorus across selected New York dairy farm pastures and hay fields. *Soil Science* 17210: 797-810.
- Power, JF & JW Doran. 1984. Nitrogen use in organic farming. Pages 585-598 in Nitrogen management and quality of crop and environment. Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wis.
- Rynk, R; M van de Kamp; GB Willson; ME Singley; TL Richard; JJ Kolega; FR Gouin; L Laliberty; Jr D Kay; DW Murphy; HA Hoitink & WF Brinton. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service. Ithaca, N.Y. USA. 186 pp.
- Sharpley, AN. 1995. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. *Ecological Engineering* 5: 261-279.
- Sharpley, AN; T Daniel; T Sims; J Lemunyon; R Stevens & R Parry. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. Second Edition. USDA-ARS. ARS-149, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Sommerfeldt, TC & C Chang. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 983-987.
- Sparks, DL; AL Page; PA Helmke; RH Loeppert; PN Soltanpour; MA Tabatabai; CT Johnston; & ME Sumner (eds.). 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical
- Trewavas, A. 2004. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection* 23: 757-781.
- Vadas, PA; RD Harmel & PJA Kleinman. 2007. Transformations of soil and manure phosphorus after surface application of manure to field plots. *Nutr. Cycl Agroecosyst.* 77: 83-99.
- Watson, CA; H Bengtsson; M Ebbesvik; A-K Lues; A Myrbeck; E Salomon; J Schroder & EA Stockdale. 2002. A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management.* 18: 264-273.
- Whalen JK & C Chang. 2001. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 30: 229-237.
- Zucconi F & M de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: de Bertoldi, M; MP Ferranti; PL Hermite & F Zucconi (eds). Compost: Production, Quality and Use. Commission of the European Communities. Elsevier Applied Science, London, pp. 30-50.