

Rev. Cienc. Tecnol.

Año 11 / N° 11 / 2009 / 59–65

COMPORTAMIENTO DE BARRO DE FÁBRICA DE GELATINA USADO COMO ABONO ORGÁNICO

Ester Ruda, Ester Ocampo, Adriana Mongiello, Adriana Acosta, Graciela Olmos, Liliana Contini

BEHAVIOR OF SLUDGE OF JELLY FACTORY USED AS ORGANIC FERTILIZER

ABSTRACT

The objectives of this study were to characterize the sludge generated in the aerobic effluent treatment plant of gelatin and to study its behavior as organic fertilizer through its implementation in an experimental field, at different doses, compared with a commercial fertilizer (worm's humus). In the sludge, Apparent density, Real density, pH, Electrical conductivity, Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Calcium, Magnesium, Potassium and Heavy metals were analyzed. In soil: Water equivalent, Electrical conductivity, Apparent density, pH, Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium and Cation exchange capacity were analyzed. Sludge is produced with a chemical composition considered as "stable" for this type of material. Its developments in the soil is consistent with its use as organic fertilizer for progressive delivery of nutrients.

KEY WORDS: industrial sludge, organic fertilizer.

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron caracterizar el barro aeróbico generado en el tratamiento de efluentes de una fábrica de gelatina y estudiar el comportamiento del mismo como abono orgánico a través de su aplicación en un campo experimental, a diferentes dosis, comparándolo con un abono comercial (humus de lombriz). En el barro se analizó: Densidad aparente, Densidad real, pH, Conductividad eléctrica, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Magnesio, Potasio y metales pesados. Se realizaron experiencias a campo analizándose en el suelo: Agua equivalente, Conductividad eléctrica, Densidad aparente, pH, Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio intercambiables y Capacidad de Intercambio Catiónico. Se considera que el barro se produce con una composición química "estable" para este tipo de materiales, siendo su evolución en el suelo compatible con su utilización como abono orgánico de entrega lenta y continua de nutrientes.

PALABRAS CLAVE: barro industrial, enmienda orgánica.

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años la gestión sustentable de los barros ha adquirido una destacada importancia a escala mundial en general y nacional en particular. La utilización de los mismos como abono se debe a que incorporan al suelo una fracción orgánica de gran utilidad. El color oscuro que aportan hace que se absorban mejor los rayos infrarrojos, calentando el suelo y favoreciendo con ello la germinación de las semillas y la actividad microbiana [1]. En cuanto al suelo se incrementa la capacidad de intercambio catiónico, evitando así pérdidas por lixiviación de algunos nutrientes, se aumenta la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de retención hídrica ya que por efecto de cobertura o mulch se protege al suelo de la evapotranspiración excesiva [2]. La calidad de la materia orgánica aportada depende de los materiales de origen y del grado de estabilización. El humus contribuye a mejorar la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes y a controlar la erosión, comportamiento similar al de los abonos

orgánicos de baja relación C/N [3, 4]. El barro aquí estudiado, que actualmente es un residuo, contiene una importante fracción orgánica, por lo que puede transformarse en un producto que contribuya en el proceso de recuperación de la pérdida de materia orgánica y de nutrientes de aquellos suelos sometidos a severas condiciones edafoclimáticas o explotación excesiva por parte del hombre. Para decidir acerca de la posible utilización del barro como mejorador de la fertilidad del suelo, es necesario hacer su caracterización precisa y determinar fundamentalmente, dentro de los elementos potencialmente tóxicos (EPT), a los metales pesados, los cuales podrían restringir severamente su uso [5].

Los objetivos del presente estudio fueron: caracterizar el barro aeróbico proveniente de una fábrica de gelatina a partir de cuero vacuno y generado en el tratamiento de efluentes y estudiar el comportamiento del mismo como abono orgánico a través de su aplicación en un campo experimental, a diferentes dosis y comparándolo con un abono comercial (humus de lombriz).

MATERIALES Y MÉTODOS

Barro

Durante el transcurso del año 2005 se analizaron muestras de barro aeróbico de una planta de tratamiento de efluentes de una fábrica de gelatina, realizándose 6 tandas de ensayos cada dos meses (febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre) y en cada tanda se tomaron 4 muestras de barro (una por semana). Se decidió este plan de trabajo con el fin de que el material muestreado esté expuesto a distintas condiciones climáticas de la región, cubriéndose todas las estaciones del año. Los análisis (quintuplicado para cada muestra) fueron: Densidad aparente (dap), en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Método de la Probeta), Densidad real (dr) en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Método del Picnómetro), % Porosidad = $100 \times (\text{dr} - \text{dap}) / \text{dr}$, pH 1:2,5 suelo/agua (Método Electrométrico), Conductividad eléctrica (CE) en dS/m a 25 °C, en Pasta de Saturación (Método Conductimétrico), Carbono (C) en % (Método Walckley y Black), Nitrógeno (N) en % (Método Kjeldahl), Fósforo (P) en % (Método colorimétrico del Azul de Molibdeno), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en % (Método titulométrico, extracción con acetato de amonio) y Potasio (K) en % (Fotometría de llama, extracción con acetato de amonio).

Considerando que la presencia de metales pesados podría restringir el uso de este material, se analizaron por el método de espectrometría de absorción atómica de llama: Cadmio, Plomo, Zinc, Cobre, Níquel y Cromo. El Mercurio se analizó por espectrofotometría de absorción atómica con inyección de flujo y vapor frío.

Se realizó el análisis exploratorio de cada variable observada, informándose como medida de tendencia central la media (\bar{x}), y como medidas de la variabilidad el rango (Min-Max) y la desviación estándar (S). En la comparación de las medias de tratamiento se usó un ANDEVA unifactorial. Se verificaron los supuestos requeridos para esta prueba mediante la prueba de bondad de ajuste a la distribución normal de Kolmogorov-Smirnoff con corrección de Lilliefors y para la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Se estimaron las medias de cada variable analizada utilizando intervalos de confianza del 95 % y se adoptó un nivel de significancia en las pruebas de ajuste de $\alpha = 0,01$ [6, 7].

Humus de lombriz

El producto utilizado se vende comúnmente en el mercado, con las siguientes características: pH: 6,8; % Ca: 8,5; % C: 11,6; % N: 0,993; C/N: 11,7 y CE: 2,6 (dS/m a 25 °C).

Suelo

Durante los años 2006 y 2007 se realizaron experiencias a campo para estudiar el comportamiento de los barros como fertilizante orgánico. Un sector de 800 m^2 , fue dividido en 4 parcelas de igual tamaño (S, B, C y H), a S no se le agregó producto alguno, a B se le agregó 3,13 Kg de barro. m^{-2} , a C se le agregó 7,34 Kg de barro. m^{-2} , y a H se le agregó 1,60 kg de humus de lombriz. m^{-2} mediante una estiercolera, con posterior rastrillado. Luego de una semana, en estas 4 parcelas se tomaron muestras para analizar el suelo a tiempo cero (S_0, B_0, C_0 y H_0), a los 6 meses (S_1, B_1, C_1 y H_1) y a los 12 meses (S_2, B_2, C_2 y H_2).

Se realizaron los siguientes análisis (quintuplicado para cada muestra): Agua equivalente (He) en % (Método de extracción por Bomba de Vacío), CE en dS/m a 25 °C (Salinómetro), dap en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Método de la Probeta), pH 1:2,5 (Método Electrométrico), % C (Método Walckley y Black), % N (Método Kjeldahl), P en ppm (Método colorimétrico del Azul de Molibdeno), Ca en $\text{cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de suelo, Mg en $\text{cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de suelo y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en $\text{cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de suelo (Método titulométrico, extracción con acetato de amonio), K en $\text{cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de suelo y Sodio (Na) en $\text{cmol}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de suelo (Fotometría de llama, extracción con acetato de amonio).

Para el tratamiento estadístico se calcularon los promedios de cada variable analizada y se las graficó en función del tiempo. Debido al pequeño número de muestras, para las comparaciones de medias se usaron las pruebas no paramétricas o a libre distribución de Kruskal-Wallis y de Mann-Whitney según correspondiera. La significancia adoptada fue $\alpha = 0,01$. [6, 8].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Barro

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las medidas estadísticas correspondientes a todas las variables analizadas.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables analizadas en el barro.

Variable	\bar{x}	S	Min-Max
Carbono (C), %	23,68	5,940	15,16 - 32,08
Nitrógeno (N), %	7,830	0,660	6,200 - 8,980
pH	7,360	0,050	7,200 - 7,460
Densidad aparente (dap), g/cm^3	0,722	0,043	0,653 - 0,792
Densidad real (dr), g/cm^3	1,760	0,170	1,260 - 1,990
Porosidad, %	50,65	2,948	45,62 - 55,93
Potasio (K), %	0,242	0,047	0,119 - 0,297
Fósforo (P), %	1,290	0,147	1,000 - 1,540
Calcio (Ca), %	1,840	0,230	1,440 - 2,310
Magnesio (Mg), %	0,364	0,006	0,350 - 0,380
Conductividad eléctrica (dS/m a 25 °C)	3,509	0,149	3,244 - 3,741

\bar{x} : Promedio; S: desviación estándar; Min-Max: valor mínimo - valor máximo observado.

Se indagó si la producción del barro presentaba algún patrón que pudiera estar indicando modificaciones sistemáticas en la composición del mismo ya que las muestras se tomaron en momentos diferentes en un período de un año. Por tal motivo se investigó si el comportamiento medio de las variables podría estar influenciado por el momento del año en el que se muestreó. Con el fin de corroborar lo anterior se realizó un ANDEVA unifactorial para cada caso y se encontró que sólo hay diferencias estadísticamente significativas en los promedios por tanda de muestreo (mes) para C, K y dr, ($p \leq 0,033$); pudiéndose considerar que no hay diferencias estadísticamente significativas en los contenidos promedio entre las tandas de muestreo en la mayoría de las variables. La variabilidad en C, K y dr es la esperada para este tipo de materiales, provenientes del procesamiento de materias primas de origen biológico, por la heterogeneidad propia de esta clase de residuos [9]. Se calculó para cada una de las variables analizadas el intervalo de confianza del 95 % para la media (Tabla 2), basándose éste en la distribución asintótica de la media muestral garantizada por el teorema del límite central dado el tamaño de la muestra ($n = 120$) [6].

Tabla 2. Intervalos de confianza del 95% para la media de las variables.

Variable	I.C 95%
%C	22,61 - 24,62
%N	7,710 - 7,950
pH	7,340 - 7,370
dap, g/cm ³	0,710 - 0,730
dr, g/cm ³	1,730 - 1,790
Porosidad %	50,11 - 51,18
%K	0,234 - 0,251
%P	1,263 - 1,317
%Ca	1,800 - 1,880
%Mg	0,363 - 0,365
CE, dS/m a 25 oC	3,483 - 3,536

IC 95%: intervalo de confianza del 95% para la media poblacional.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las medidas estadísticas correspondientes a los metales pesados y los valores límites permitidos por la Res. 97/01 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

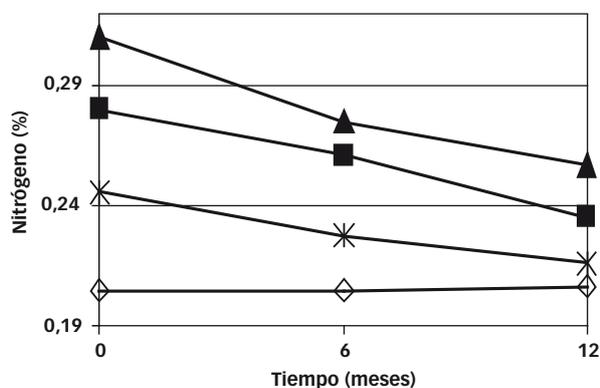


FIGURA 1. Evolución del N en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \times H (1,60 Kg Humus/m²).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los metales pesados analizados (mg/kg) en el barro y su correspondiente valor límite permitido

Variable	\bar{x}	S	Min-Max	Valor límite permitido
Cadmio	No detectado	-	-	20-40
Plomo	18,66	2,217	17-22	750-1200
Zinc	213,3	9,849	204-222	2500-4000
Cobre	40,71	2,062	38-43	1000-1750
Niquel	110,6	6,994	103-120	300-400
Cromo	405,8	15,68	385-418	1000-1500
Mercurio	1,529	0,403	1,0-1,9	16-25

\bar{x} : Promedio; S: desviación estándar; Min-Max: valor mínimo - valor máximo observado.

La movilidad y la biodisponibilidad de los metales pesados dependen fundamentalmente de ciertas propiedades del suelo: pH, Textura y Capacidad de Intercambio Catiónico [10]. Cuando el barro posee elevadas proporciones de material fácilmente degradable por los microorganismos edáficos, se originan compuestos de carbono soluble capaces de formar complejos estables con los elementos traza [11]. Estos complejos aumentan la concentración de los EPT en la solución del suelo, incrementando su movilidad y de allí la peligrosidad de los mismos. Por otro lado el aumento de materia orgánica y arcilla provocan su retención e inmovilización por un mecanismo de adsorción superficial [12]. La relación C/N del barro estudiado (3,02) sugiere una descomposición lenta del mismo, por lo que no existe el peligro de formación de compuestos estables con los metales pesados.

Comportamiento del barro en el suelo

En las Figuras 1 y 2 se muestra la evolución del N y del C en el tiempo.

El % N disminuyó para los dos niveles de agregado de barro y para el humus de lombriz. Teniendo en cuenta que la relación C/N es baja (por debajo de 10) habrá mineralización de N (pérdida de N bajo la forma de amoníaco) y humificación gradual de la materia orgánica, sugiriendo que este barro es un fertilizante de entrega lenta de N.

La aplicación a la parcela B de 3,13 Kg de barro.m⁻²,

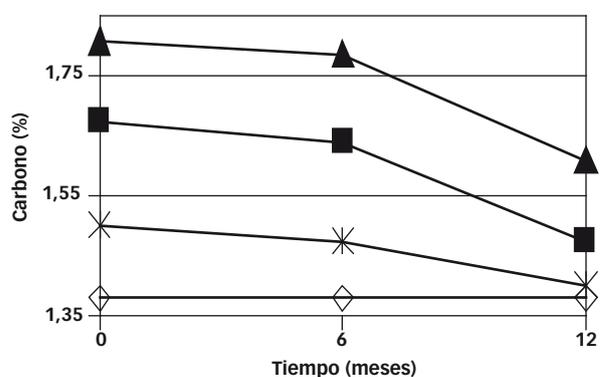


FIGURA 2. Evolución del C en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \times H (1,60 Kg Humus/m²).

a la C de 7,34 Kg de barro.m⁻², y a la H de 1,60 Kg de humus de lombriz.m⁻², incrementó los niveles iniciales de Carbono. Los controles realizados a los 6 meses y al año mostraron que el Carbono disminuyó 67 % en la parcela B, 47 % en la parcela C y 82 % en la parcela H, lo que indicaría la existencia de compuestos orgánicos menos degradables en el barro que en el humus de lombriz.

Una importante proporción de C permaneció en formas aparentemente no disponibles para los microorganismos edáficos, en concordancia con Alvarez *et al.* [13].

Teniendo en cuenta la baja relación C/N del producto (por debajo de 10), habrá mineralización de N y humificación gradual de la materia orgánica, por lo que este barro puede caracterizarse como un fertilizante de entrega lenta de N.

En las Figuras 3 y 4 se muestra la evolución del pH y de la CE en el tiempo.

La incorporación de ambas dosis de barro originó una marcada disminución inicial en el pH del suelo, para luego aumentar a los 6 meses y al año. Esto posiblemente se deba a una lenta solubilización de los compuestos alcalinos que contiene el barro. No ocurrió lo mismo con el humus de lombriz donde no hubo grandes modificaciones de pH a lo

largo del tiempo. Para el caso de la mayor dosis de barro, el pH aumenta hasta cerca de la neutralidad, siendo el mismo favorable para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Además, dicho pH posibilitaría disminuir en el suelo la disponibilidad de metales pesados por pasar éstos a formas más insolubles a pH menos ácidos.

La cantidad de materia orgánica aplicada como enmienda es uno de los factores de mayor importancia en la salinización del suelo [14]. En el barro es aceptable una CE total entre 2 y 3 dS/m a 25 °C ya que un incremento de la misma se traduce en un aumento de la presión osmótica de la disolución disponible en el entorno radical, lo que dificultaría la absorción de agua por parte de la planta [15]. Es conocido que la aplicación de enmiendas orgánicas suele producir un incremento de CE por la mineralización de la materia orgánica [16]. En esta experiencia se notó un claro aumento inicial de la CE, significativamente mayor cuanto mayor fue la dosis de barro aplicada, para luego disminuir hacia el final para todos los casos, datos coincidentes con los reportados por Arrigo *et al* [17], no habiendo peligro de salinización.

En las Figuras 5 y 6 se muestra la evolución de la dap

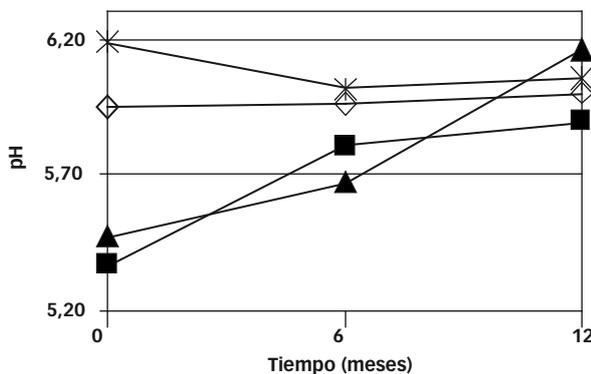


FIGURA 3. Evolución del pH en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

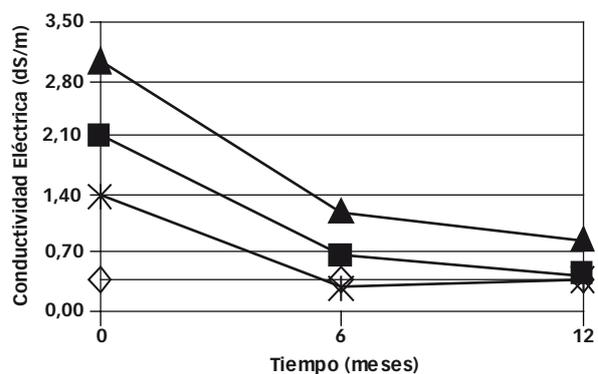


FIGURA 4. Evolución de la CE en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

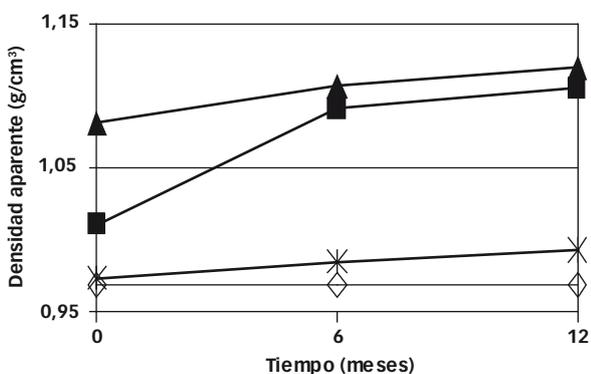


FIGURA 5. Evolución de la dap en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

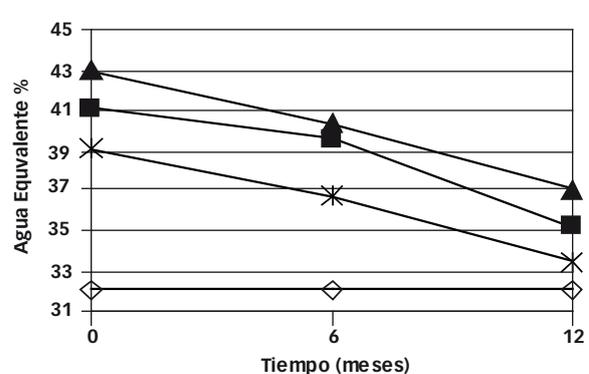


FIGURA 6. Evolución del He en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

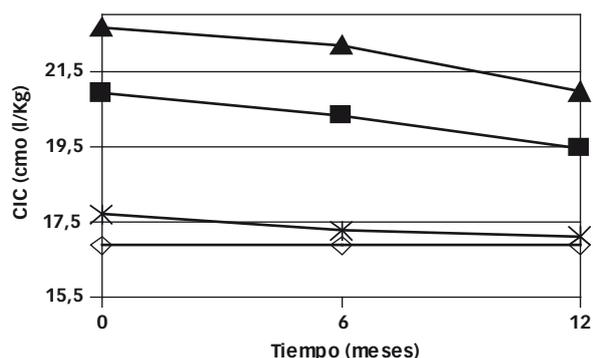


FIGURA 7. Evolución de la CIC en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \times H (1,60 Kg Humus/m²).

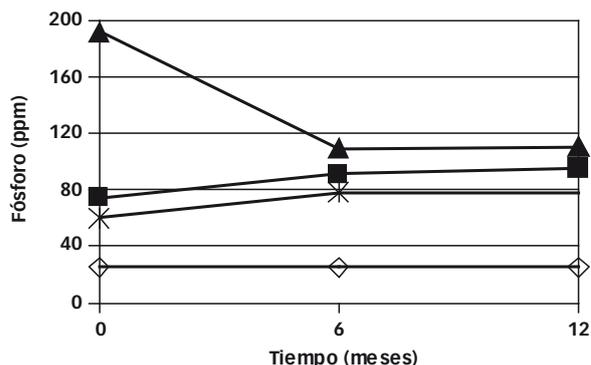


FIGURA 8. Evolución del P en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \times H (1,60 Kg Humus/m²).

y del He en el tiempo.

La dap aumenta para las dos dosis de barro y no hay una variación significativa en el tiempo con el agregado de humus de lombriz ya que éste es evidentemente un producto más estable. El aumento de densidad aparente del suelo se explica por los menores contenidos de materia orgánica al transcurrir el tiempo [18].

La cantidad de agua disponible para la planta es una variable fundamental para el rendimiento de los cultivos, por lo que es muy importante su conservación en el suelo [19]. Con ambas dosis de barro agregado se produce inicialmente un incremento de materia orgánica y dada la afinidad de la materia orgánica con el agua, aumenta la retención de agua (Figura 6) al aumentar el C orgánico (Figura 2).

Esto se evidencia a través de un incremento inicial en la retención del agua (% He) tanto para los dos niveles de barro como para el humus de lombriz, para luego disminuir en todos los casos al transcurrir el año. La disminución de la humedad equivalente en dicho período fue entre un 37 y 40 % para las dos dosis de barro y 86 % para el humus de lombriz.

Debido a la alta Porosidad (46 % - 56 %) del barro, aumenta la Densidad aparente del suelo, lo cual favorecería la penetración de agua y aire, estimulándose el crecimiento del sistema radicular de las plantas y la actividad microbológica.

En las Figuras 7 y 8 se muestra la evolución de la CIC y de P en el tiempo.

La CIC a tiempo cero aumenta significativamente para los dos niveles de agregado de barro y para el humus de lombriz para luego disminuir a lo largo del año entre un 30 y 36 % para los dos primeros y un 71 % para el último lo que guarda relación con la pérdida de carbono que se muestra en la Figura 2.

La mineralización de P orgánico presente en el barro se produce gracias a un grupo de enzimas conocidas como fosfatasas que catalizan la hidrólisis de ésteres y de anhídridos de ácido fosfórico [20]. Las fosfatasas ácidas se encuentran en suelos ácidos, mientras que las alcalinas predominan

en suelos de pH básico [21]. Uno de los mecanismos de retención de P en los suelos indica que los iones fosfato se adsorben sobre la superficie de los óxidos e hidróxidos de Al y/o Fe por intercambio con grupos OH y/o OH₂⁺ sobre la superficie del mineral, existiendo una competencia por los sitios de adsorción con la materia orgánica. Al disminuir la misma a lo largo del año, se incrementa la retención de fósforo, existiendo un límite cuyo factor determinante es la capacidad reactiva del suelo [22]. En el presente estudio se observa un considerable aporte inicial de fósforo por parte del barro con relación al testigo y una mineralización significativa a lo largo del año para B y H. Para B a igual que para H se observa un aumento de P en el tiempo compatible con la disminución de materia orgánica en ese período; en cambio para C hay una significativa disminución a los 6 meses, lo cual se atribuye a una saturación de los sitios de adsorción de P.

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se muestran las evoluciones de las bases de cambio en el tiempo.

La entrega de Calcio aumenta para B y H a los 6 meses y luego disminuye hacia el final; en cambio para C disminuye bruscamente hacia los 6 meses y luego se mantiene estable. El comportamiento del Magnesio es similar al del Ca en la parcela C, en cambio aumenta en la parcela B. En el caso de la parcela H disminuye bruscamente hacia los 6 meses y luego aumenta levemente hacia el final del ensayo. Para Potasio la entrega es variable; aumenta para C y H a los 6 meses y luego disminuye hacia el final del ensayo; en cambio disminuye para B a lo largo de todo el año. Con respecto al Sodio la tendencia es la disminución en todos los casos.

Las evoluciones de los cationes de cambio dependen de varios factores (temperatura, aerobiosis, pH, tipo de suelo y actividad microbológica) que afectan la liberación de nutrientes y pueden ocasionar un comportamiento errático [23] concordante con el que se observa en el presente estudio. Se observa un incremento en la oferta de Ca, Mg y K respecto del testigo, salvo el K en el tratamiento B. Los cationes de cambio le confieren a este barro un marcado

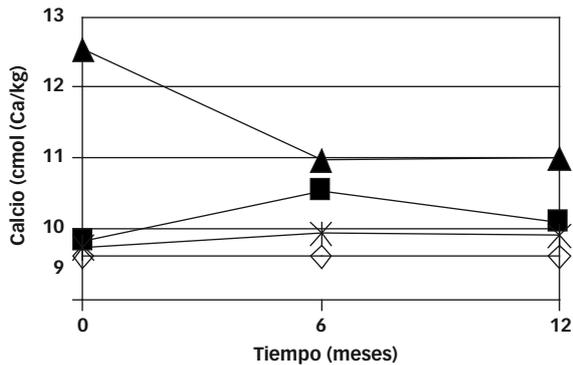


FIGURA 9. Evolución de Ca en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

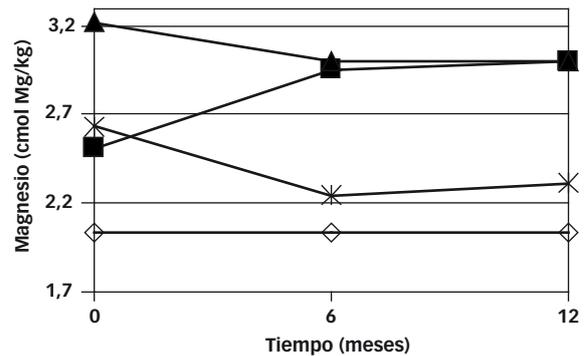


FIGURA 10. Evolución de Mg en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

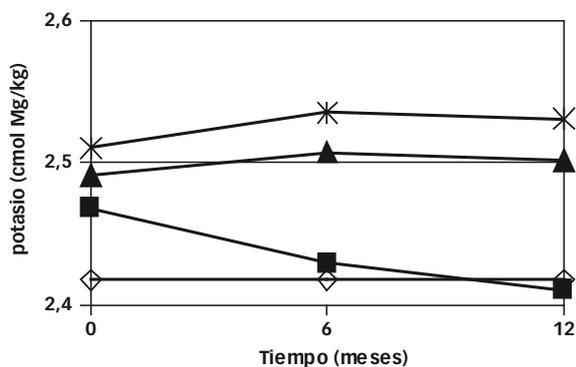


FIGURA 11. Evolución de K en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

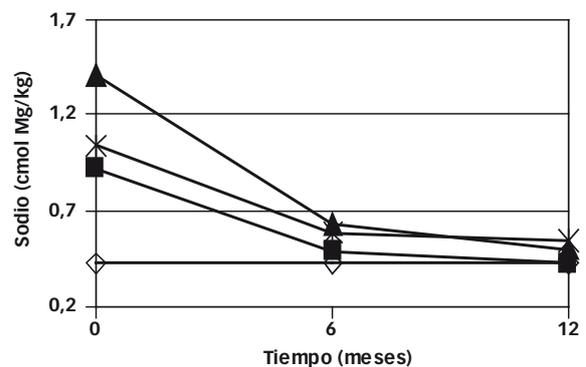


FIGURA 12. Evolución de Na en el tiempo según tipo de enmienda. Referencias: \diamond S (Testigo), \blacksquare B (3,13 Kg Barro/m²), \blacktriangle C (7,34 Kg Barro/m²), \ast H (1,60 Kg Humus/m²).

poder tampón, independientemente de su errática evolución en el tiempo.

CONCLUSIONES

El agregado de enmiendas orgánicas al suelo modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, aumentando la capacidad de retención de agua y su densidad aparente, manteniendo el pH y entregando nutrientes en forma lenta pero continua.

El barro estudiado posee una importante cantidad de materia orgánica (26–55 %) por lo que el aporte que realiza al suelo permite mejorar de inmediato su humedad equivalente, dado que aumenta la capacidad inicial de retención de agua del suelo.

El barro analizado cumple con las disposiciones establecidas por la Resolución 97/01 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Además, la Resolución 244/90 complementaria de la Ley Argentina 20466/73 de aplicación de fertilizantes y de enmiendas orgánicas, establece que la relación C/N no debe ser mayor a 20 para este tipo de materiales y el barro aquí estudiado también cumple con este requisito.

Por todo lo anterior, se concluye que el barro analizado, que se produce con una composición química estable acorde con los límites aceptados para este tipo de material, es apto para su utilización como fertilizante orgánico de liberación lenta, cuya entrega progresiva de nutrientes permitiría su mejor aprovechamiento por el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Power, J.; Dorán, J.; Wilhelm, W. *Uptake of nitrogen from soil fertilizer, and crop residues by no-till corn and soil-bean*. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: p. 137–142. 1995.
2. McCoy, S.; Cogburn, B. *Composting manure for value-added products*. BioCycle (Eds.), The JG Press, Inc., Emmaus, PE, USA. p. 71–72. 2001.
3. Brown, S.; Chaney, R. L. *Combining by-products to achieve specific soil amendment objectives*. En: Bartels J. M. y W. A Dick (Eds.). *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*. SSSA Book Series N° 6, Madison, WI. USA. p. 343–360. 2000.
4. Cooperband, L. *Sustainable use of by-products in land management*. En: Bartels J. M. y W. A Dick (Eds.). *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-*

- Products*. SSSA Book Series N° 6, Madison, WI. USA. p. 215–235. 2000.
5. **Smith, S.** *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. CAB International, Wallingford, UK. p. 382. 1996.
6. **Walpole, R; Myers, R; Myers, S.; Ye, K.** Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias 8^{va} ed. Pearson Educación, México. 2007.
7. **Ferrán Aranaz, M.** *SPSS para Windows. Análisis Estadístico*. McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U. Madrid. 2001.
8. **Ho, R.** *Handbook Of Univariate And Multivariate Data Analysis And Interpretation With SPSS*. Chapman & Hall/CRC. Taylor & Francis Group. Boca Ratón. 2006.
9. Asociación Nacional de Lombricultura (ANL). Boletín ANL. Lima. Perú. 1999.
10. **Paré, T.; Dinel, H.; Schnitzer, M.** *Extractability of trace metals during co-composting of biosolids and municipal solid wastes*. Biol. Fertil. Soils. 29: p. 31–37. 1999.
11. **McBride, M.; Richards, B.; Steenhuis, T.; Russo, J.; Sauvé, S.** *Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge applications*. Soil Sci. 162: p. 487–500. 1997.
12. **Madrid, L.** *Metal retention and mobility as influenced by some organic residues added to soils: A case study*. En: *Fate and transport of heavy metals in the vadose zone*. Lewis Publishers, Boca Ratón, Fl. p. 201–223. 1999.
13. **Alvarez R.; Alconada M.; Lavado R.** *Sewage sludge effects on carbon dioxide-carbon production from a desurfaced soil*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30: p. 1861–1866. 1999.
14. **Sasal, C.; Andriulo, A.; Ulle, J.; Abrego, F.; Bueno, M.** *Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas reproducción hortícola del centro norte de la región pampeana húmeda*. Ciencia del Suelo 18: p. 95–104. 2000.
15. **Alarcón Vera, A.** *Fundamentos teóricos de la conductividad eléctrica*. Revista de frutas, hortalizas, flores, plantas ornamentales y de viveros N° 128. p. 97–98. 1998.
16. **Logan, T.; Lindsay, B.; Goina, L.; Ryan, J.** *Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response*. J. Environ. Qual. 26: p. 534–550. 1997.
17. **Arrigo, N; Jiménez, M.; Palma, R.; Benito, M.; Tortarolo, M.** *Residuos de poda compostados y sin comportar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo*. Ciencia del Suelo 23(1) p. 87–92. 2005.
18. **Díaz Zorita, M.; Barraco, M.; Alvarez, C.** *Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina*. Ciencia del Suelo 22: p. 11–18. 2004.
19. **Unger, P. W.** *Conservation tillage systems*. Adv. Soil Sci. 13: p. 27–68. 1990.
20. **Nahas, E.; Centurion, J. F.; Assis, L. C.** *Efeito das características químicas dos solos sobre os microorganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases*. R Bras Ci Solo, Campinas 18: p. 49–53. 1994.
21. **Tabatabai, M. A.** *Soil enzymes. Methods of soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. Ed. A. Klute. Second Edition. SSSA, Madison, p. 788–826. 1994.
22. **Tisdale, S.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L.** *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publ. Co. p. 634. 1993.
23. **Ajwa, H. A.; Tabatabai, M. A.** *Descomposition of different organic materials in soils*. Biol. Fertil. Soils 18: p. 175–182. 1994.

Recibido: 17/02/2009.

Aceptado: 24/11/2009.

• Ruda Ester
Licenciada en Química, Magister en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Profesora Adjunta Universidad Nacional del Litoral, Categoría en el Sistema de Incentivos: 3.

• Ocampo Ester
Ingeniera Química, Magister en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Doctorado en Ing. Qca (falta tesis), Profesora Asociada UNL, Categoría 2.

• Mongiello Adriana
Licenciada en Química, Jefe de Trabajos Prácticos UNL, Cat. 4.

• Acosta Adriana
Licenciada y Profesora en Química, Ayudante de 1ra UNL, Cat. 4.

• Olmos Graciela
Maestra en Ingeniería Civil.
Licenciada en Química, Estudiante de Prof. en Qca, Pasante de investigación UNL.

• Contini Liliana
Ingeniera en Construcciones, Ingeniera Laboral, Especialista en Higiene y Seguridad Industrial, Master Scientieae en Biometria y Mejoramiento, Profesora Adjunta, Cat. 3.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, CP3000. Santa Fe, Argentina.