

Mineralización de nitrógeno en enmiendas orgánicas en condiciones de laboratorio¹

Glenny López Rodríguez^{2*} y Juan Hirzel Campos³

El uso de enmiendas orgánicas contribuye a mejorar las propiedades del suelo, a aumentar el contenido de materia orgánica y, por ende, a aumentar la calidad y fertilidad del suelo. El objetivo de la investigación fue evaluar la mineralización de nitrógeno (N_{min}) en suelo enmendado química y orgánicamente en condiciones controladas. El ensayo se realizó en el laboratorio del Centro Regional Quilamapu, INIA, Chile. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: un control (SF), fertilización convencional (FC, en mezcla de urea, superfosfato-triple y cloruro de potasio), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB). Las muestras se incubaron a 25 °C y la humedad se controló por pesada. Las evaluaciones se realizaron desde cero hasta las ocho semanas. Los resultados muestran que GP y FC fueron estadísticamente superiores a GB, BC y SF ($p \leq 0.05$). El N inorgánico mineralizado acumulado en GP y FC fueron 157 y 146 mg kg⁻¹, respectivamente. El uso de guano de pavo como fertilizante constituye una fuente adecuada de nitrógeno, carbono y otros nutrientes.

Palabras claves: Mineralización, nitrógeno, suelos, enmiendas orgánicas

INTRODUCCIÓN

El uso de enmiendas orgánicas como fuente nutricional es una práctica recomendada en la agricultura a nivel mundial (Rynk 1992, Cooperband 2000). Esta práctica se ha intensificado en Chile durante los últimos años por sus beneficios en relación al reciclaje de nutrientes, principalmente nitrógeno (N), y como posible solución al problema de acumulación en distintas zonas de producción (Hirzel 2009).

El N, junto con el agua, es considerado como uno de los factores limitantes más comunes y como uno de los elementos esenciales en los cultivos. Eso se debe a que forma parte de compuestos fundamentales como ácidos nucleicos, proteínas y clorofila, necesiándose, principalmente, en los tejidos vegetales en crecimiento (Zagal *et al.* 2003). El N del suelo, originalmente se deriva del gas N atmosférico (N₂). Los microorganismos del suelo (de vida libre o asociados por simbiosis con plantas) forman N orgánico del grupo amino (NH₂) en las proteínas. Este N pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo (Stevenson y Cole 1999).

Cuando se aplican enmiendas orgánicas al suelo, el N orgánico que estas contienen se mineraliza (N inorgánico) mediante procesos de amonificación (transformación en amonio) y nitrificación (amonio se transforma en nitrato). Parte de este se inmoviliza en la biomasa microbiana y otra se pierde por denitrificación y volatilización (Stevenson y Cole 1999). Las enmiendas orgánicas ejercen influencia positiva sobre el suelo, debido a que favorecen la retención de agua, mejoran su estructura, capacidad tampón, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de quelación e incrementan la disponibilidad de nutrientes (Cadaña *et al.* 2000), principalmente del N que, como es conocido, es el nutriente más requerido en la producción de los cultivos. En los suelos enmendados, la disponibilidad de N puede ser evaluada con ensayos de mineralización, permitiendo a su vez estimar la liberación y el riesgo potencial de pérdida de N de los ecosistemas, según predomine en sus formas de nitratos o amonio (Briceño *et al.* 2002).

¹ Aceptado para publicación el 1/09/2011

² Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales- IDIAF- Centro Norte (República Dominicana)

³ Instituto de Investigaciones Agropecuarias- INIA- Centro Regional Quilamapu (Chile). *Autor responsable: glopez@idiaf.gov.do

La mineralización de N es un indicador de la calidad de la enmienda, y se puede estimar mediante incubaciones de laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y temperatura (Hirzel 2007). En condiciones óptimas de humedad y temperatura los procesos dominantes son la mineralización y la inmovilización en biomasa microbiana. Cuando predominan los procesos de inmovilización, los resultados de la mineralización neta son menores de cero (Laos *et al.* 2000).

Cuantificar el N que se mineraliza en el suelo puede contribuir a optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados, lo cual permitiría disminuir los costos de producción. Además, es una de las opciones más viables para mitigar la considerable reducción en la productividad agrícola, originada principalmente por el deterioro físico, químico y biológico de los suelos (Ravic 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar la mineralización de N en suelos enmendados química y orgánicamente en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del estudio

El experimento se realizó en la zona Central de Chile, en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro

Regional Quilamapu, en Chillán, ubicada en la VIII Región (36°36' Latitud Sur y 71°54' Longitud Oeste).

Esta localidad presenta una elevación de 220 msnm. El clima predominante corresponde a una precipitación anual de 1000 a 1300 mm y una temperatura anual media de 14 °C, siendo julio el mes más frío (4 °C) y enero el más cálido (28 °C).

Características del suelo utilizado

Se utilizó un suelo de origen volcánico (granítico) de textura franco-arcillosa; perteneciente al Orden Andisol y a la clasificación taxonómica Melanoxerands (USDA 1994, CIREN 1999). El muestreo se realizó a una profundidad de 0-20 cm. Posteriormente, el suelo se secó al aire y se tamizó (2 mm). Las características físico-químicas se presentan en la Tabla 1.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco tratamientos: 1) Control (SF), 2) fertilización convencional (FC), 3) bioestabilizado de cerdo (BC), 4) guano de pavo (GP) y 5) guano de broiler (GB). En los tratamientos fertilizados el N se aplicó en dosis de 100 mg kg⁻¹. En el tratamiento FC se empleó: urea (45 % N), superfosfato triple (46 % P₂O₅) y cloruro de po-

Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos utilizados

Parámetros	Valor	Parámetros	Valor
RH (0.33 atm) (%)	15.70	Na _i (cmol kg ⁻¹)	0.08
RH (15 atm) (%)	11.40	Al _i (cmol kg ⁻¹)	0.04
pH	5.60	Fe _d (mg kg ⁻¹)	29.00
MO (g kg ⁻¹)	1.00	Mn _d (mg kg ⁻¹)	69.70
N _i (mg kg ⁻¹)	4.00	Zn _d (mg kg ⁻¹)	0.06
P _e (mg kg ⁻¹)	12.40	Cu _d (mg kg ⁻¹)	0.50
K _i (cmol kg ⁻¹)	0.20	B _d (mg kg ⁻¹)	0.70
Ca _i (cmol kg ⁻¹)	3.10	S _d (mg kg ⁻¹)	38.20
Mg _i (cmol kg ⁻¹)	1.30		

RH= retención de humedad (%); MO= materia orgánica; N_i=nitrógeno inorgánico (amonio + nitrato); P_e = fósforo extraíble (Olsen); K_i, Ca_i, Mg_i, Na_i, Al_i= potasio, calcio, magnesio, sodio y aluminio intercambiable, respectivamente. Fe_d, Mn_d, Zn_d, Cu_d, B_d, S_d= hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y azufre disponible, respectivamente.

Tabla 2. Características químicas de las enmiendas utilizadas

Parámetros	Bioestabilizado	Guano de pavo	Guano de broiler
Materia seca (%)	75.9	80.9	65.1
pH _{1:2.5} (agua)	8.4	8.7	8.0
CE (dS m ⁻¹)	4.9	10.3	9.4
C orgánico (%)	26.8	46.4	45.3
N (%)	3.4	2.6	4.3
C/ N	7.9	18.1	10.5
P ₂ O ₅ (%)	6.2	4.3	3.9
K ₂ O (%)	2.7	3.8	4.0
CaO (%)	8.2	3.2	3.2
MgO (%)	3.7	1.0	1.2
N-NH ₄ ⁺ (%)	0.9	1.3	1.4
N-NO ₃ ⁻ (%)	0.01	0.03	0.02

CE= conductividad eléctrica; C= carbono; N= nitrógeno; C/N= relación carbono-nitrógeno; P₂O₅= fosfato; K₂O= óxido de potasio; CaO= óxido de calcio; MgO= óxido de magnesio; N-NH₄⁺= amonio; N-NO₃⁻= nitrato; %= porcentaje

tasio (60 % K₂O). Las características químicas de las enmiendas utilizadas se presentan en el Tabla 2.

El ensayo se instaló en octubre del 2009 y finalizó en enero del 2010. Para el establecimiento del ensayo se utilizaron envases de plásticos con una capacidad de 150 ml como unidades experimentales. A los mismos se le agregaron 100 gramos de suelo (seco y tamizado a 2 mm) y los tratamientos correspondientes. Se utilizó el método de incubación reportado por Laos *et al.* (1998) y Laos *et al.* (2000), modificado. Las muestras se incubaron aeróbicamente hasta las 8 semanas a 25 °C y con humedad equivalente al 80 % de capacidad de campo, que se controló semanalmente por gravimetría.

Las evaluaciones de N inorgánico (amonio + nitrato) se realizaron extrayendo cuatro frascos por tratamiento (repeticiones) a las 0, 1, 2, 4 y 8 semanas (Tyson y Cabrera 1993). Se determinó el N inorgánico neto mineralizado obtenido por diferencia entre el N mineral final y el N mineral inicial, en cada uno de los tiempos evaluados, y la tasa de mineralización (Rogers *et al.* 2001, Benítez *et al.* 2003).

Metodología analítica

El pH (H₂O) se determinó por medición directa en extracto acuoso con una relación 1:2.5, utilizando un potenciómetro (Thomas 1996). El C se determinó por el método de Walkey-Black, modificado por oxidación con dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y posterior lectura con colorimetría (Nelson y Sommers 1996). El P disponible fue extraído por el método Olsen (bicarbonato de sodio 0.5N) y determinado por colorimetría (Bray y Kurtz 1945). El K⁺, Na⁺, Ca y Mg intercambiables fueron extraídos con solución de Acetato de amonio 1M y determinados por espectrofotometría. El Azufre (SO₄) fue determinado con fosfato de calcio 0.01M y medido por Turbidimetría. El Cu, Mn, Fe y Zn previa extracción con ácido dietiltri Aminopentaacético (DTPA; 1:2) y determinado por espectrofotometría (Lindsay y Norvell 1978). La CE se determinó en extracto acuoso 1:5 con un conductímetro.

El N inorgánico se determinó previa extracción de 5 gramos de suelo con 50 ml de KCl (1:10) 2M. El nitrato se midió a través de una columna de cadmio-cobre reduciendo nitrato a nitrito

y, posteriormente, fue determinado por colorimetría en reacción con sulfanilamida y dihidrocloruro de α -naftylethylendiamina, determinada a una onda de 540 nm. Se utilizó un autoanalizador a inyección de flujo segmentado (AIFS) marca SKALAR. El amonio se determinó por coloración a monocloroamina que reacciona con salicilato formando el complejo 5-aminosalicilato, altamente coloreado (verde) a una onda de 660 nm en AIFS.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en Infostat (Di Rienzo *et al.* 2009). Se utilizó la prueba de Tukey al 5 % para comparar las medias de tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de mineralización potencial de N se presentan en las figuras 1 y 2, correspondientes a: i) N inorgánico mineralizado acumulado ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) durante el tiempo de la incubación y ii) la tasa de mineralización obtenida a través del período de evaluación, respectivamente.

La mayor liberación de N durante todo el período de evaluación se observa en los tratamientos FC y GP, los cuales fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos ($p < 0.05$; Figura 1).

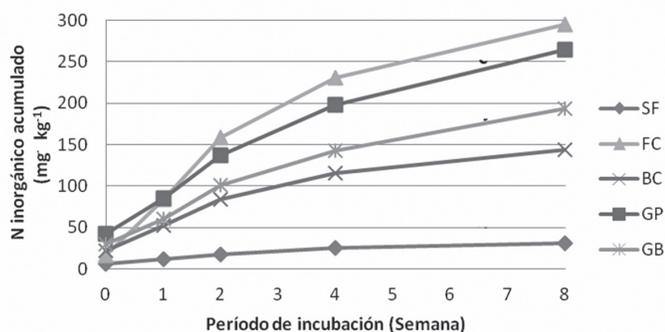


Figura 1. Nitrógeno inorgánico mineralizado registrado en las enmiendas aplicadas en suelo granítico evaluado durante ocho semanas de incubación en condiciones de laboratorio

Control (SF), fertilización convencional (FC), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB).

Por su parte, la mineralización neta de GB fue estadísticamente similar al tratamiento BC.

La mineralización de N orgánico desde el BC durante todo el período de evaluación en este experimento fue superior a la indicada por Rogers *et al.* (2001), para residuos vegetales provenientes de la industria alimenticia, y por Hartz *et al.* (2000), para estiércol de broiler maduro. No obstante, los valores registrados en GB fue levemente superior a la señalada por Preusch *et al.* (2002).

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que, inicialmente la tasa de mineralización de N registrada en FC correspondiente a $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sem}^{-1}$ fue superior a la presentada en los tratamientos enmendados orgánicamente. No obstante, a partir de la segunda semana de evaluación decrece y en las semanas cuatro y ocho de evaluación las tasas registradas fueron negativas (Figura 2).

Las tasas promedio de mineralización de N registradas en los tratamientos GB y GP por semana fueron muy similares 6.1 y 5.1 mg kg^{-1} , respectivamente; con respecto a la registrada en el tratamiento control (1.5 mg kg^{-1}). Cabe destacar que la tasa de mineralización del fertilizante mineral fue máxima en la semana cero (Figura 2).

La adición de fertilizante químico en el suelo aumentó los niveles de nitrógeno inmediatamente se aplicó, esto explica el incremento inmediato que presentaron los tratamientos al inicio de las evaluaciones. No obstante se destacó una marcada disminución a lo largo de las ocho semanas de evaluación, presentando valores negativos de Nmin.

El efecto de tasas de mineralización negativas presente en esta investigación coincide con lo señalados por Rogers *et al.* (2001), en la incubación de suelos con aplicaciones de algunos residuos vegetales, y por Sikora y Enkiri (2003), para un suelo enmendado con biosólidos. En ese sentido, las tasas negativas de mineralización de N mostradas en este experimento podrían indicar procesos de denitrificación o volatilización, así como inmovilización por la biomasa microbiana (Pérez *et al.* 1998, Zamorano 2000). Valores ne-

gativos indican una pérdida neta de mineralización o inmovilización. Piirainen *et al.* (2002) y Pérez *et al.* (2003) indican que el N en el suelo puede ser inmovilizado por factores bióticos y abióticos. Un efecto similar fue reportado por Whalen *et al.* (2000) y Hartz *et al.* (2000).

La alta tasa de mineralización encontrada en la GP y GB podría explicarse por el efecto “*priming*”. La aplicación de N fácilmente disponible estimula una mayor actividad en la biomasa del suelo, lo cual conlleva a una mayor mineralización de la materia orgánica nativa. Cuando se añade una enmienda orgánica del tipo de la BC que contiene baja relación C/N, es decir alta concentración de N, se estimula la actividad de la biomasa del suelo y genera una mayor mineralización del N nativo presente en el suelo que la que se obtiene en el tratamiento control (Chu *et al.* 2005). Por otro lado, los tratamientos GP y GB son materiales orgánicos de baja estabilidad, por lo que su mineralización es elevada y rápida, comparada con otras enmiendas orgánicas como son aquellas que han sido sometidas a un proceso de compostaje (Laos *et al.* 2000).

El aumento de la tasa de mineralización en el fertilizante inorgánico al inicio de la evaluación se atribuye a que los organismos se encuentran en estado inactivo antes de la aplicación de la enmienda. En el caso de este tratamiento, al momento de aplicarlo es más soluble con relación a las enmiendas orgánicas y el nitrógeno se hace disponible de forma inmediata para los microorganismos. Contrario ocurre con los materiales orgánicos, donde la mineralización y descomposición es más lenta y va a depender del tipo de material que se utilice.

Si se extrapolan los valores promedios de las tasas de mineralización de N encontradas en este estudio, la capacidad potencial de suministro de N a partir de las enmiendas orgánicas utilizadas como fertilizantes corresponden a: 101 kg ha⁻¹ año⁻¹ para BC, 425 kg ha⁻¹ año⁻¹ para GP y 3,544 kg ha⁻¹ año⁻¹ para GB. En un experimento en condiciones de laboratorio, López (2008) reportó valores de N de 506 y 473 kg ha⁻¹ año⁻¹ en un suelo Oxisol, 483 y 405 kg ha⁻¹ año⁻¹ en un Inceptisol y 402 y 483 kg ha⁻¹ año⁻¹ en un Ultisol, todos en-

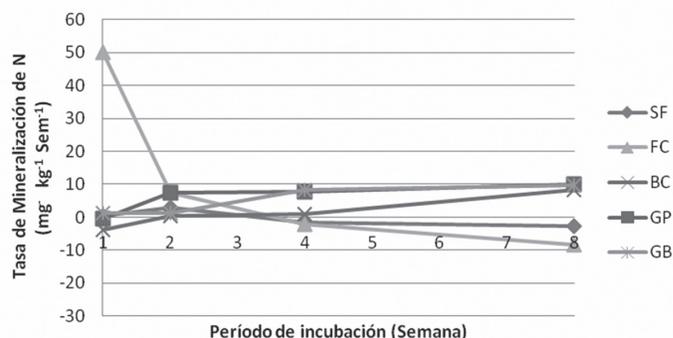


Figura 2. Tasa de mineralización de nitrógeno registrada en las enmiendas aplicadas en suelo granítico durante ocho semanas de incubación en condiciones de laboratorio

Control (SF), fertilización convencional (FC), bioestabilizado de cerdo (BC), guano de pavo (GP) y guano de broiler (GB).

mendados con materiales orgánicos (hojarasca molida) provenientes de bosques secundarios y cafetales bajo sombra, respectivamente.

CONCLUSIONES

EEl aporte de N a partir de las enmiendas orgánicas en el suelo evaluado mostró mayor estabilidad a través del tiempo con respecto al fertilizante convencional, sin embargo, el uso de fertilizante convencional y de guano de pavo constituye una fuente adecuada de N y K, por lo que ambos podrían ser utilizados (mezclados) en los requerimientos de fertilización, principalmente como nitrógeno.

El bioestabilizado de cerdo constituye una fuente adecuada de P en el suelo, incluso de K y otros nutrientes, pero no de nitrógeno debido a que este elemento se presenta en formas orgánicas más estables. Además, genera una menor tasa de mineralización y, por tanto, una menor disponibilidad del nitrógeno total que se aplica.

El uso de enmiendas orgánicas como bioestabilizado de cerdo, guano de pavo y guano de broiler contribuye a aumentar el pH de los suelos y afectan en menor medida la conductividad eléctrica en relación al uso de fertilizantes convencionales.

AGRADECIMIENTOS

1) Al Programa de becas para estancias cortas del sistema de los INIA de Iberoamérica, España y al Centro Internacional de la Papa (CIP-Perú) por el financiamiento de la estancia en Chile; 2) Al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); 3) Al Instituto Nacional de Investigación (INIA) de Chile, Centro Regional Quilamapu; 4) A la Empresa Servicios Pucalán Sut Ltda de Chile por el cofinanciamiento de la investigación; 5) Al equipo técnico y administrativo del laboratorio de suelos del INIA, por su valiosa colaboración y 6) A Gabriela Sepúlveda y familia, por su apoyo.

LITERATURA CITADA

- Benítez, C., Tejada, M., González, J.L. 2003. Kinetics of the mineralization of nitrogen in a pig slurry compost applied to soils. *Compost Sci and Util.* 11 (1): 72-80.
- Bray R.H., Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Briceño J., Chaverri F., Alvarado G., Gadea A. 2002. Materia orgánica. Características y uso de los insumos en suelos de Costa Rica. Serie: Agricultura Orgánica No.1 Editorial UNA, Heredia. 107 p.
- Cadahía L., C., Eymar A., E., Lucena M., J.J. 2000. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. En Cahadía (Ed). *Fertirrigación: cultivos agrícolas y ornamentales*. 2da. Ed. Mundi Prensa. España. pp. 83-122.
- Chu, H.Y., Hosen, Y., Yagi, K., Okada, K., Ito, O. 2005. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea. *Biology and Fertility of Soils.* 42:89-96.
- CIREN, 1999. Descripción de suelos y materiales y símbolos estudio agrológico VIII Región. Publicación CIREN N° 121. Santiago, Chile. 583 p.
- Cooperband, L. 2000. Sustainable use of by products in land management. In: Barteks, J.M., Dick, W.A. (eds.). *Land Application products of Agricultural, Industrial and Municipal By-Products*. SSSA Book series N° 6, Madison, WI. USA. pp: 215-235.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Hartz, T.K.J., Mitchell, J.P., Giannini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Hortscience* 35, 209-212.
- Hirzel, J. 2009. Fertilización del cultivo de maíz con bioestabilizado de Servicios Pucalán Sur, LTDA. Informe final convenio de investigación INIA- Servicios de Pucalán Sur, LTDA. Chillán, 53p.
- Hirzel, J. 2007. Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España. 139p.
- Laos, F., Mazzarino, M.J., Walter, I., Roselli, L. 1998. Composting of fish waste with wood by-products and testing compost quality as a soil amendment: Experiences in the Patagonia Region of Argentina. *Compost Science and Utilization.* 6: 59-66.
- Laos, F., Satti, P., Walter, I., Mazzarino, M.J., Moyano, S. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils:* 31: 462-469.
- Lindsay, W., Norvell, W. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Sci. Amer. J.* 42:421-428.
- López Rodríguez, G.L. 2008. Mineralización de nitrógeno en suelos bajo agrosistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en Puerto Rico. Tesis M.S: Depto. Agronomía y Suelos, Universidad de Puerto Rico. 120 p.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: D.L. Sparks et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA Book Serial No 5. SSSA & ASA, Madison, WI. pp. 961-1010.
- Pérez, C., Hedin, L., Armesto, J. 1998. Nitrogen mineralization in two unpolluted old growth forest of contrasting biodiversity and dynamics. *Ecosystems.* 1:361-373.
- Pérez, C., Carmona, M., Armesto, J. 2003. Non-Symbiotic nitrogen fixation, net nitrogen mineralization and denitrification in evergreen forest of Chiloe island, Chile: A comparison with other temperate forest. *Gayana Botanical:* 60:25-33.
- Piirainen, S., Finer, L., Mannerkoski, H., Starr, M. 2002. Effects of clear-cutting on the C & N fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil.* 239: 301-311.
- Preusch, P.L., Adler, P.R., Sikora, L.J., Tworowski, T.J. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *J. Environ. Qual.* 31:2051-2057.
- Ravic, M. 2005. Production of high-quality composts of horticultural purposes: a mini review. *HorTech.* 15 (1): 52-57.
- Rynk, R. 1992. *On-Farm Composting Handbook*. NRAES-54. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Services. Cooperative Extension, Riley-Robb Hall, Ithaca, NY. Disponible en página web: http://compost.css.cornell.edu/OnFarmHandbook/onfarm_TOC.html. Consultado en 12 de marzo, 2010.
- Rogers, B.F., Krogmann, U., Boyles, L.S. 2001. Nitrogen Mineralization of Non-Traditional Organic Wastes. *Soil Sci.:* 166: 353-363.
- Stevenson, F.J., Cole, M.A. 1999. *Cycles of soil*. Wiley and Sons. New York, USA.
- Sikora, L.J., Enkiri, N.K. 2003. Availability of poultry litter compost P to fescue compared with triple super phosphate. *Soil Sci.* 168, 192-199.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. En Sparks, D.L. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. SSSA Book Series no. 5. Soil. Madison, WI. pp 475-489.
- Tyson, S.C., Cabrera, M.L. 1993. Nitrogen mineralization in soil amended with composted and uncomposted poultry litter. *Soil Sci. Plant Anal.* 24: 2361-2374.
- USDA. 1994. *Reference to Soil Taxonomy*. USDA. Washington, DC.
- Whalen, J.K, Chang, C., Clayton, G.W., Carefoot, J.P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:962-966.
- Zagal, E. Rodríguez, N., Vidal, I., Hofmann, G. 2003. Eficiencia de uso y dinámica del nitrógeno en una rotación con y sin uso de residuos. *Agricultura Técnica (Chile).* 63:298-310.
- Zamorano, J. 2000. Actividad biológica aeróbica del suelo en un bosque de *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oest., Parque Nacional Puyehue. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 60 p.