

Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay

Barbazán Mónica¹, del Pino Amabelia, Moltini Carlos, Hernández Jorge, Rodríguez Jimena

¹Departamento de Suelos y Aguas. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Av. Garzón 780. CP12900. Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: mbarbaz@fagro.edu.uy

Recibido: 16/3/10 Aceptado: 1/3/11

RESUMEN

Aunque el agregado de materiales orgánicos a los suelos es una práctica común en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay, existe muy poca información sobre la composición de estos materiales. El objetivo de este estudio fue caracterizar física y químicamente los materiales orgánicos utilizados en las zonas de producción hortícola del norte y sur del país, inmediatamente antes de su incorporación al suelo. Durante 2006 y 2007 se tomaron muestras de diferentes materiales orgánicos, que fueron agrupados en varias categorías según su origen: estiércol con o sin material acompañante, como estiércol de gallina (*Gallus gallus domesticus*), cama de pollo (estiércol de pollo con cáscara de arroz o aserrín) y estiércol vacuno (*Bos taurus*), mantillo de bosque (estiércol vacuno con restos de montes de abrigo y suelo), composts y otros materiales incluyendo lodos o efluentes de la industria maltera y subproductos de la industria animal como contenido ruminal, lana, pelos y plumas. En las muestras se determinó materia seca, densidad, pH, conductividad eléctrica, cenizas, contenido de lignina, polifenoles, C soluble, N-NH₄⁺ y contenidos totales de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). Los análisis químicos y físicos evidenciaron una gran variabilidad de las características analizadas, aún dentro del mismo grupo, explicado por la heterogeneidad en el origen de los materiales y las condiciones de almacenamiento.

Palabras clave: estiércol, compost, lana, plumas

Summary

Characterization of organic materials applied in intensive farming systems in Uruguay

Although the addition of organic materials to soils is a common practice in intensive agricultural systems in Uruguay, there is little information on the composition of these materials. The aim of this study was to characterize physically and chemically the organic materials used in the horticultural areas of the country just before incorporation into the soil. During 2006 and 2007 samples of different organic materials were collected and grouped into several categories according to their origin: animal manure with or without litter, as chicken manure (*Gallus gallus domesticus*), poultry litter (chicken manure with rice hulls or sawdust), dairy manure (*Bos taurus*), dairy litter (dairy manure with the remains of forests and soil), composts and other materials, including slurry from the malting industry, and animal byproducts, such as rumen contents, wool, fur and feathers. The samples were analyzed for dry matter, density, pH, electrical conductivity, ash, lignin, polyphenols, soluble C, N-NH₄⁺, and total content of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, S and Na) and micronutrients (Cu, Fe, Mn and Zn). The chemical and physical analysis show a great variability of the characteristics analyzed, even within the same group, explained by heterogeneity in the origin of materials and storage conditions.

Key words: manure, compost, wool, feathers

Introducción

Los sistemas hortícolas de Uruguay, ubicados principalmente en el norte (departamento de Salto) y en el sur del país (departamentos de Canelones y Montevideo) (DIEA, 2000), se han basado en el uso intensivo del recurso suelo, lo cual ha causado un constante deterioro de sus propiedades físicas y químicas. Para revertir esta situación, una de las alternativas recomendadas en predios de escasa superficie es la aplicación al suelo de materiales o compuestos orgánicos ricos en carbono (C). Los compuestos más empleados han sido tradicionalmente estiércol animal, «cama» o estiércol con material acompañante, compost de diferentes tipos, y otros subproductos del procesamiento de la industria alimenticia, agropecuaria y forestal.

Si bien esta práctica se ha generalizado en sistemas agrícolas intensivos, las características físico-químicas de estos materiales frecuentemente se desconocen y en las decisiones sobre las dosis a aplicar no se considera su aporte de nutrientes.

Uno de los factores clave para lograr un manejo adecuado de estos materiales que maximice sus beneficios y minimice los riesgos de contaminación, es conocer sus características físicas y químicas. El conocimiento de la composición de estos compuestos resulta de interés creciente particularmente cuando se pretende establecer certificaciones para la producción de cultivos con destino a la exportación hacia mercados cada vez más exigentes. Además, esa información es necesaria para asegurar la inocuidad de los alimentos para la salud humana. Por ejemplo, recientemente se ha hecho referencia a la creciente preocupación por la acumulación de metales como Cu y Zn en el suelo cuando se aplican estiércoles y otros subproductos (Nicholson, *et al.*, 1999).

Un problema adicional que se presenta con estos materiales es la dificultad de tomar muestras representativas ya que, tanto la forma de muestreo como la manipulación de las muestras causan una variabilidad importante en la concentración de nutrientes. Esto hace que muchas veces se prefiera estimar las cantidades de nutrientes aportados por estos materiales a partir de datos ya tabulados.

En general, el contenido de nutrientes de estos compuestos es bajo y muy variable. En el caso del estiércol, es ampliamente conocido que la cantidad de nutrientes presentes en el mismo depende de factores como especie, edad y alimentación del animal, así como del manejo del estiércol previo a ser aplicado al suelo (Van Kessel *et al.*, 1999). En el estiércol fresco, el N se encuentra en formas lábiles, como urea y ácido úrico, las cuales son más fáciles de perder por lixiviación o arrastre con el agua, y en formas orgánicas más resistentes al ataque microbiano. Estas últimas son las formas predominantes de N en los estiércoles acumulados por varios días o semanas. En el estiércol vacuno casi la mitad del N recientemente excretado se pierde por volatilización de NH_3 , mientras que el N restante permanece en formas más estables, las cuales a su vez ya han sido atacadas por la microflora ruminal. En el estiércol de ave más del 50% del N total está en forma de N-NH_4^+ y sujeto a pérdidas como NH_3 si es aplicado sin incorporación inmediata en el suelo. Para ser absorbidas por las plantas las formas orgánicas tienen que mineralizarse, y ese proceso es principalmente controlado por las características físicas y bioquímicas del material (Griffin y Honeycutt, 2000). En estiércoles de ave se ha estimado que durante el primer año se mineraliza de 35 a 50% del N total (Cabrera *et al.*, 1994) o aún hasta el 66% en las primeras dos semanas luego de su aplicación (Bitzer y Sims, 1988), mientras que en el estiércol vacuno la estimación del N mineralizado durante el primer año es de 21% (Eghball, 2000). Estas estimaciones permiten el cálculo de la dosis de estiércol a aplicar para cubrir los requerimientos de N de los cultivos. La cantidad de N mineralizable de un resto orgánico depende no sólo del contenido absoluto de N y sus fracciones, sino también de su cantidad relativa a los contenidos de C y/o compuestos de C. Algunos autores (Beauchamp y Paul, 1989) sugieren que los materiales orgánicos con una relación C/N debajo de 15 probablemente generan mineralización neta de N, mientras que los que presentan una relación mayor o igual que 18 probablemente produzcan inmovilización neta (Calderón, *et al.*, 2004), aunque otros autores (Trinsoutrot *et al.*, 2000) sostienen que

se puede esperar mineralización neta en materiales con relaciones C/N igual o menor que 25. También se han sugerido otros índices para explicar la facilidad de descomposición de un resto orgánico en el suelo, como su contenido de lignina (Müller *et al.*, 1988) o polifenoles (Zibilske y Bradford, 2007). Cuanto mayor contenido de estos compuestos, es esperable mayor resistencia a la mineralización. También se ha propuesto usar el contenido de C soluble en agua como indicador de susceptibilidad a la degradación (Reinertsen *et al.*, 1984) ya que constituye una porción lábil del C que puede estimular la actividad microbiana cuando estos materiales se aplican al suelo. Por otro lado, Griffin *et al.* (2003) propusieron usar el contenido de N-NH_4^+ y C de un estiércol, sugiriendo que cuanto mayor sea el contenido de N-NH_4^+ en relación al de C, mayor será la mineralización.

Aunque la estimación de la dosis a aplicar de materiales orgánicos en base al contenido de N y la tasa de mineralización permite mejorar el manejo de estos materiales, esta estimación puede ocasionar acumulación de grandes cantidades de P, dada la baja relación N/P que generalmente presentan. Estudios realizados en otros países muestran que el P es causante de importantes problemas de eutrofización de cuerpos de aguas (Sharpley *et al.*, 1998), y esto ha llevado a la implementación de regulaciones gubernamentales sobre el manejo de este tipo de materiales (Lemunyon y Gilbert, 1993). Eghball y Power (1999b) sugirieron, por lo tanto, usar el contenido de P como base para estimar las cantidades a aplicar de estos materiales cuando existe preocupación por acumulación de P en los suelos.

En el país existen muy pocos trabajos con información sobre la composición química y/o física de materiales orgánicos aplicados (del Pino *et al.*, 2008). La mayoría de los estudios incluyendo estos materiales se han enfocado en demostrar su valor agronómico como portadores de nutrientes, fundamentalmente N (Zamalvide *et al.*, 1979, Moltini y Silva, 1981, Silva *et al.*, 1992, Moraes, 1996) o como mejoradores de propiedades físicas del suelo (García y Cardellino, 1980, Campelo *et al.*, 1981, La Manna *et al.*, 2004, Casanova *et al.*, 2007). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las características físicas y químicas de los materiales orgánicos

más comúnmente aplicados en producciones intensivas del norte y del sur de Uruguay, inmediatamente antes de su aplicación al suelo, y compararlas con los valores publicados en la bibliografía. Esta información podría servir como guía para la planificación del uso de este tipo de materiales en producciones agrícolas.

Materiales y métodos

Muestreo

Durante los años 2006 y 2007 se tomaron muestras de 86 materiales orgánicos de establecimientos comerciales bajo producción intensiva de las zonas norte (próximos a la ciudad de Salto) y sur del país (en los alrededores de las ciudades de Canelones y Montevideo), inmediatamente antes (hasta dos días) de ser aplicados al suelo.

Los materiales se clasificaron en cinco grupos, según su origen: a) estiércol animal con o sin material acompañante, b) mantillo o estiércol de bosque, c) compost, d) aserrín, y e) otros materiales orgánicos. En el grupo de estiércol se incluyeron los materiales orgánicos que contenían estiércol animal, ya sea de ave o de vacunos, con o sin material acompañante (excepto mantillo o estiércol de bosque). El estiércol de ave provenía en todos los casos, de producciones avícolas del sur del país, como criaderos de pollos (destinados a la producción de carne) o gallinas (destinadas a la producción de huevos), y el de vacuno de establecimientos lecheros del norte del país. El material conocido como cama de pollo es una mezcla física muy heterogénea de estiércol de pollos (normalmente criados en el piso) y un material acompañante o «cama», que en el sur del país comúnmente es cáscara de arroz, aunque en algunos casos se usa otro tipo de material, como aserrín. En el grupo de composts se incluyeron composts de diferente origen y grado de descomposición. En general, en su elaboración se usan diferentes tipos de estiércol, restos de verduras y frutas, aserrín, cáscara de arroz, subproductos de la industria alimenticia, pelos o tabaco, mezclados en distintas proporciones con suelo, y contenido ruminal. Este último es obtenido de los frigoríficos, y generalmente contiene material no digerido, mezclado con flora y fauna del

estómago de rumiantes. El grupo conocido como mantillo de bosque es el tipo de material más usado en la zona hortícola del norte del país, y consiste de una mezcla de estiércol (heces y orina de vacunos y ovinos), restos de árboles en diferentes grados de descomposición y suelo. Dentro del grupo Aserrín se incluyeron muestras provenientes de desechos –de aserrado de madera principalmente de eucalipto, con tamaño de partículas de hasta 5 mm. En la categoría «Otros materiales orgánicos» se incluyeron muestras de origen muy diverso, como lana de ovejas, pelos vacunos provenientes de curtiembres, plumas y algunos materiales usados principalmente en viveros para elaboración de sustratos o composts, como cáscara de arroz, cenizas de cáscara de arroz, contenido ruminal y turbas. Dentro cada uno de estos materiales se analizó una muestra, excepto en lana y plumas, en que se analizaron dos muestras.

Las muestras (de aproximadamente un kg) se extrajeron de diferentes partes (superficial, centro y base) del material acumulado. Las muestras se colocaron en bolsas de nailon o en recipientes de plástico, limpios y herméticos. En el laboratorio, cada muestra se dividió en dos partes: una se conservó en heladera a <4 °C (muestra fresca) y la otra fue seca durante 48 horas a 60 °C (muestra seca) y posteriormente molida hasta un tamaño menor a 1 mm.

Análisis químicos

En las muestras frescas se determinaron densidad, pH, conductividad eléctrica y contenido de N-NH_4^+ . Para la determinación de pH y conductividad eléctrica se usó una relación de 1:2 de material: agua, usando un ionómetro Orion Research 701A y un conductímetro Orion Modelo 105, respectivamente. El N-NH_4^+ se determinó coloriméricamente según el método de Berthelot (Rhine *et al.*, 1998).

En las muestras secas se determinaron materia seca, cenizas, contenido de lignina y polifenoles, C soluble y contenidos totales de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Na) y de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn).

El contenido de materia seca se determinó por diferencia de peso del material orgánico pesado antes y después del secado a 60 °C durante 48 horas. La densidad se estimó a partir del peso de material orgánico por volumen conocido.

El C total se obtuvo mediante oxidación con $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en H_2SO_4 durante una hora a 150 °C y posterior determinación colorimétrica (600 nm) (Nelson y Sommers, 1996). El C soluble se extrajo con agua (relación 1:100 de material/extractante), hirviendo la muestra 20 minutos y la determinación se realizó con el mismo procedimiento que el descrito para C total.

Nitrógeno y P totales se obtuvieron a partir de la mineralización de la muestra por vía húmeda con una mezcla de H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 (130 vol) a 350 °C. El N total se determinó por el método de Kjeldahl, mientras que el P total fue determinado por colorimetría (Murphy y Riley, 1962). Se determinó Ca, Cu, Fe, Mg, Mn y Zn por espectrofotometría de absorción atómica y K y Na por espectrofotometría de emisión a partir de 0,50 g de muestra calcinada durante cinco horas a 550 °C y disuelta en HCl al 10% (Isaac y Kerber, 1971). El S total se determinó usando un equipo LECO.

El contenido de cenizas se determinó por gravimetría a partir de material orgánico sometido a combustión a 500 °C por cinco horas y se expresó sobre el contenido de materia seca.

El contenido de lignina se determinó según Van Soest (1963) y el de polifenoles solubles por el método de Singleton y Rossi (1965) luego de la extracción con agua a 100 °C durante 20 minutos.

Los datos se analizaron usando estadística descriptiva (promedio, desvío estándar y coeficiente de variación) usando las herramientas del software Microsoft Excel 1997 (Microsoft Inc., Redmond, WA).

Resultados y discusión

Tendencias generales en las propiedades de los materiales

Los materiales orgánicos incluidos en este estudio presentaron una amplia variabilidad en las características físicas y químicas analizadas. La densidad varió entre 0,04 y 0,92 g cm^{-3} y el contenido de humedad entre 6 y 96% (Cuadros 1 y 2). Estas características son importantes para estimar las dosis porque frecuentemente las aplicaciones se declaran en base a volumen.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los materiales orgánicos más usados en las zonas hortícolas de Uruguay.

Número de muestras	Estiércol		Cama de pollo		Mantillo	Composts
	Gallina	Vacuno	cáscara de arroz	aserrín	15	24
Densidad (g cm ⁻³)	0.55 (0.04)	0.64 (0.25)	0.4 (0.12)	0.52 (0.05)	0.64 (0.07)	0.5 (0.17)
Agua (%)	10.5 (1.2)	40.4 (7.3)	46 (12.8)	63.1 (5.1)	34.9 (12.2)	51.2 (16.6)
pH (1:2)	6.6 (0.6)	7.6 (0.8)	7.3 (1.4)	6.6 (0.7)	6.6 (0.6)	6.5 (1.1)
CE (dS m ⁻¹)†	2.9 (1.8)	2 (0.3)	2.3 (2.2)	2.3 (2.5)	1.4 (1.1)	1.8 (1.7)
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	195 (23)	nd	59 (27)	123 (152)	112 (134)	159 (135)
C (g kg ⁻¹)	399.9 (85.9)	208.2 (55)	277.9 (89.2)	255.2 (106.5)	175.7 (40.7)	202.7 (99.8)
N (g kg ⁻¹)	28 (10.5)	12.3 (1.6)	15.6 (3.9)	13.6 (3.9)	11.5 (3.1)	11.6 (7.2)
P (g kg ⁻¹)	25 (5.2)	2.9 (1.4)	13.4 (3.7)	10.8 (5.9)	1.8 (0.6)	3.2 (2.2)
K (g kg ⁻¹)	10.5 (5.2)	4.1 (2.3)	9.3 (4.6)	5 (2.8)	3.3 (1.6)	4.9 (3.7)
S (g kg ⁻¹)	3.2 (0.9)	1.5 (0.4)	2.9 (0.9)	2.5 (1.3)	1 (0.3)	2.6 (2)
Ca (g kg ⁻¹)	40 (12.7)	9 (3.8)	23.3 (6.3)	20.3 (9)	9.4 (2.7)	13.3 (9.5)
Mg (g kg ⁻¹)	5.9 (0.4)	3 (1.2)	3.8 (1.1)	2.9 (1.5)	2.9 (0.5)	2.5 (1.7)
Na (g kg ⁻¹)	1.9 (0.1)	1.7 (2.1)	2.5 (1.6)	1 (0.6)	0.3 (0.1)	0.9 (1.0)
Cu (mg kg ⁻¹)	25 (5)	19 (4)	22 (13)	16 (8)	15 (5)	28 (37)
Fe (mg kg ⁻¹)	995 (688)	3087 (430)	1012 (400)	2253 (614)	10817 (2801)	2630 (1402)
Mn (mg kg ⁻¹)	283 (210)	277 (117)	389 (70)	393 (116)	381 (88)	539 (677)
Zn (mg kg ⁻¹)	244 (30)	58 (23)	124 (58)	165 (92)	45 (11)	85 (46)
C/N	15.5 (6)	16.8 (3.5)	18.2 (5.5)	22.8 (19.2)	16.3 (5.3)	23.1 (18.7)
Cenizas (%)	35 (26)	35 (16)	24 (12)	17 (16)	44 (7)	37 (23)
Lignina (g kg ⁻¹)	139 (39)	140 (91)	183 (39)	240 (40)	135 (30)	193 (94)
Polifenoles (g kg ⁻¹)	15 (15)	nd	9 (5)	8 (0.5)	4 (1)	4 (2)
C soluble (g kg ⁻¹)	65 (74)	29 (15)	50 (24)	32 (11)	22 (8)	30 (23)

† CE: conductividad eléctrica.

‡DE: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación (%).

nd: no determinado

El contenido de C total estuvo en el rango de 57 a 519 g kg⁻¹ y el de cenizas de 0,1 a 75%.

El contenido de nutrientes fue en general bajo, pero muy variable. El N total fue en promedio 18,6 g kg⁻¹, con un rango de 0,86-134,1 g kg⁻¹ de material seco. Lana, pelos y plumas presentaron los valores más altos de N, y los productos de madera de aserradero los más bajos. El contenido promedio de P fue de 5,3 y el de K, 4,5 g kg⁻¹. En general, los

contenidos más altos de P y K se observaron en muestras que contenían estiércol de ave, probablemente debido a la alta concentración de estos elementos en las raciones utilizadas para este tipo de producción, y fueron similares a los encontrados en varios países por otros autores para este tipo de material (Eghball y Power, 1999a, del Pino *et al.*, 2008).

Al igual que los macronutrientes, los contenidos de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) presentaron

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de materiales orgánicos de origen diverso.

	Contenido ruminal	Turba 1	Turba 2	Cáscara de arroz	Cenizas de cáscara de arroz	Lana	Pelo	Plumas	Efluentes de maltería	Aserrín†
Densidad (g cm ⁻³)	0,3	nd	nd	nd	0,45	nd	nd	nd	1,03	0,51
pH (1-2)	6,9	5,2	6,9	4,9	4,3	8,4	8,9	9,7	nd	5,6 (1,2)
CE (dS m ⁻¹)†	2,9	0,5	0,9	0,3	3,3	2	3,9	5,3	nd	567 (345)
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	372,0	nd	9	nd	6	61	nd	71	nd	26,6 (38,3)
C (g kg ⁻¹)	428,0	320	419	380	94	418	nd	423	193	483,9 (56,6)
N (g kg ⁻¹)	25,7	3,7	6,3	2,5	4,6	103	85,6	135	52,5	1,6 (0,6)
P (g kg ⁻¹)	2,6	0,9	1,0	2,2	1,1	3	1,4	11,7	15,2	1,0 (0,4)
K (g kg ⁻¹)	1,1	1,8	0,1	2,9	1,1	1,2	0,5	1,8	11,4	0,4 (0,4)
S (g kg ⁻¹)	4,1	4,7	0,4	0,4	2,1	22	34,4	23,6	nd	0,4 (0,3)
Ca (g kg ⁻¹)	10,0	40,2	1,8	1,1	6,1	4,6	16,6	3,9	17,9	1,3 (1,0)
Mg (g kg ⁻¹)	1,0	1,2	1,0	0,6	0,9	1,2	4,4	0,8	4,3	0,2 (0,1)
Na (g kg ⁻¹)	2,1	33	0,2	0,7	0,2	4,4	5,4	1,3	1,1	0,5 (0,2)
Cu (mg kg ⁻¹)	9	15	5	2	6	16	7	5	392	3 (3)
Fe (mg kg ⁻¹)	540	2974	391	576	1611	1712	640	133	2441	156 (97)
Mn (mg kg ⁻¹)	253	42	8	193	151	135	41	23	263	48 (26)
Zn (mg kg ⁻¹)	57	40	6	17	29	76	184	97	1628	16 (7)
C/N	16,7	87,3	66,9	150,8	20,6	4,2	nd	3,1	3,9	361 (159)
Cenizas (%)	6,0	34,7	10,4	20,5	35,4	13	3,6	1,1	2,9	30 (1)
Lignina (g kg ⁻¹)	nd	158,8	nd	193,6	199,4	nd	nd	nd	103,9	319 (5)
Polifenoles (g kg ⁻¹)	10,0	10,0	6,0	4,0	1,0	9,0	nd	nd	nd	10,5 (11,1)
C soluble (g kg ⁻¹)	45,0	128	26	19	nd	91	41	nd	113	25 (16)

nd: no determinado.

† CE: Conductividad eléctrica.

‡ Promedio de cinco muestras. Entre paréntesis, desvío estándar.

una gran variación, la cual es esperada en compuestos orgánicos, especialmente en subproductos de origen animal, y se atribuye a que las dietas pueden contener diferentes suplementos minerales y antibióticos (Nicholson *et al.*, 1999). Los valores más altos de Fe correspondieron a muestras de mantillo de bosque, y posiblemente se asocian a la presencia de suelo, el cual en la zona norte se caracteriza por presentar cantidades importantes de óxidos de Fe (Durán, 1991).

Los contenidos más altos en Na se observaron en muestras de origen muy diverso como «cama» de pollo y subproductos de la industria animal (lana y pelos de curtiembre).

La variación observada en las propiedades analizadas se atribuye no sólo a la gran heterogeneidad en el origen o tipo de material analizado, sino también al manejo previo a su aplicación. En la mayoría de los casos relevados, los materiales se encontraban en áreas adyacentes al lugar de aplicación (invernáculos, canteros o cuadros de montes frutales), en bolsas plastilleras o apilados a la intemperie, y

habían permanecido allí por un período muy variable. Por otro lado, las cantidades aplicadas de nutrientes en cada situación son también muy variables, ya que se aplican entre 15 y 45 días antes de la siembra o transplante de cada cultivo, en dosis que oscilan entre 5 y 90 mg ha⁻¹. Se destaca que estas dosis no se declaran con precisión y en la mayoría de los casos se hace referencia a cantidades o volumen aplicado por metro lineal o por cantero del material tal como es recibido o permanece almacenado. Esta aplicación puede realizarse en forma localizada, restringida a la zona en la cual se encuentran las plantas (por ejemplo, en montes frutales ya instalados, la aplicación se realiza sobre la superficie debajo de la copa de los árboles). Por lo tanto, las aplicaciones por superficie efectivamente tratada pueden ser superiores a las asignadas por hectárea. Adicionalmente, en los sistemas hortícolas, los materiales son incorporados al suelo mediante reiterados laboreos antes de la siembra de semillas o del transplante.

a. Estiércol animal con o sin material acompañante

Estiércol de gallina

Este material presentó una densidad promedio de $0,55 \text{ g cm}^{-3}$ y una relativamente alta cantidad de materia seca (de 90%). Estos resultados están de acuerdo con los valores reportados por del Pino *et al.* (2008) para estiércoles de aves de localidades en el sur del país y con los reportados en otras regiones. El valor promedio de pH de este material fue 6,6 y el de conductividad eléctrica $2,9 \text{ dS m}^{-1}$. Este alto valor se asocia a la alta cantidad de Ca, explicado por la presencia de sales en las raciones enriquecidas en Ca, para la producción de huevos. El agregado de este subproducto con altas cantidades de sales puede ser importante en suelos con pH bajo. Estudios de laboratorio provenientes de Canadá han mostrado incrementos en el pH de suelos ácidos cuando se agregó estiércol (Whalen *et al.*, 2000).

El contenido de C promedio fue de 399 g kg^{-1} y el de N, $28,0 \text{ g kg}^{-1}$, con una relación C/N de 15,5. El alto contenido de N en relación con el correspondiente a estiércol con cama de pollo se explica por la homogeneidad del material producido por gallinas criadas en jaulas, bajo techo, sin material acompañante, y fue similar a los valores reportados por Kleinman *et al.* (2005) para este tipo de estiércol en EE.UU. Los contenidos de polifenoles y C soluble del estiércol de gallina (15 y 65 g kg^{-1} , respectivamente) fueron más altos que los de cama de pollo con cáscara de arroz (9 y 50 g kg^{-1} , respectivamente), y lo inverso sucedió con el contenido de lignina (estiércol de gallina, 139 g kg^{-1} y cama de pollo con cáscara de arroz, 183 g kg^{-1}), atribuido a la presencia de cáscara de arroz en la cama de pollo.

El contenido de P del estiércol de gallina fue el más alto de todos los materiales relevados, con un promedio fue de $25,1 \text{ g kg}^{-1}$, similares a los encontrados para este tipo de estiércol en otras regiones. Por ejemplo, Kleinman *et al.* (2005) reportó contenidos de P en estiércol de gallinas ponedoras del orden de $19,9$ a $30,1 \text{ g kg}^{-1}$.

El contenido de micronutrientes fue de 25 , 995 , 283 y 244 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente, y fueron semejantes a las de cama de pollo con cáscara de arroz (Cuadro 1). Otros autores han

reportado análisis de este tipo de estiércol con mayores concentraciones de estos micronutrientes (Pederson *et al.*, 2002), posiblemente debido a otros tipos y fuentes de suplementos minerales y tratamientos sanitarios. El contenido promedio de cenizas fue de 17,5%, menor al de cama de pollo con cáscara de arroz (24,9%), explicado porque la cama de pollo puede contener además de material acompañante otras impurezas, incluyendo suelo.

En general, los contenidos de nutrientes fueron menos variables en el estiércol de gallina que en la cama de pollo, debido a la homogeneidad del material y a las dietas suministradas.

Cama de pollo

En nuestro estudio, la cama de pollo presentó una densidad de $0,40$ y $0,52 \text{ g cm}^{-3}$, y entre 46 y 63% de humedad, para cama de pollo de cáscara de arroz y aserrín, respectivamente. El pH varió desde ligeramente ácido (5,4) a básico (9,1). Los valores de conductividad eléctrica estuvieron en el rango de $1,0$ a $5,9 \text{ dS m}^{-1}$, siendo de los valores más altos encontrados. Probablemente esto se explica por los elevados contenidos de Na, debido a la presencia de NaCl, provenientes de los agregados de estas sales a las raciones suministradas a estos animales para hacerlas más palatables.

Comparado con el estiércol de gallina, este material presentó un menor valor promedio en los contenidos totales de N, P y K, así como en los valores de Ca, Mg y Zn (Cuadro 1). En cambio, presentó valores más altos en la relación C/N, y en los contenidos de lignina, cenizas, Fe, Mn y Na. Gascho *et al.* (2001) trabajaron con camas de pollo que en promedio tenían 25 , 11 y 16 g kg^{-1} de N, P y K, y 16 g kg^{-1} de Ca, pero la cama estaba formada con mezcla de estiércol de pollo y aserrín de pino. La cama de pollo con aserrín de nuestro estudio presentó valores aún más bajos que los referidos por ese autor. El estiércol de gallina, más homogéneo y «puro» que la cama de pollo presentó, además, valores más altos de C soluble y polifenoles. Las diferencias entre estos materiales (cama de pollo y estiércol de gallina) se atribuyen no sólo a la edad y la alimentación de los animales, sino también a las características de los materiales acompañantes. En el Cuadro 2 se presentan

algunas características de muestras de aserrín y cáscara de arroz relativamente puros. Comparada con el aserrín, la cáscara de arroz presentó más N, P y K. La alta variabilidad en los contenidos de nutrientes dentro de las muestras de cama de pollo se atribuye a la proporción de estiércol en la mezcla final, ya que dicha cantidad varía según el tiempo de crianza de los pollos. Esta característica no fue considerada al recabar información adicional sobre cada una de las muestras.

Estiércol de vacunos

Las muestras de estiércol de vacuno analizadas en nuestro estudio presentaron menores valores que las de estiércol de ave en la mayoría de las propiedades, excepto densidad, contenido de agua, pH, relación C/N y contenido de Fe. La densidad fue en promedio $0,64 \text{ g cm}^{-3}$, y el contenido promedio de humedad, 40%. La concentración de N varió de $10,6$ a $13,5 \text{ g kg}^{-1}$ y la de C total entre 183 y 271 g kg^{-1} , y fueron similares a los estiércoles vacunos recolectados por otros en Uruguay (del Pino *et al.*, 2008) y en EE.UU. (Eghball y Power, 1999a, Dao y Cavigelli, 2003). En general, el estiércol vacuno es considerado una mezcla compleja de compuestos, desde lignina a compuestos amoniacales relativamente fáciles de degradar (Van Kessel *et al.*, 2000). En nuestro estudio el contenido de lignina fue en promedio de 140 g kg^{-1} y con un rango de variación muy amplio (de 76 a 204 g kg^{-1}), mayor al encontrado para 104 muestras de este tipo de estiércol colectadas en la zona este de EE.UU. El contenido de micronutrientes fue en promedio 19 , 3087 , 277 y 58 mg kg^{-1} para Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente. Estos valores fueron generalmente más bajos que los reportados por otros autores, probablemente debido a que los sistemas de producción de nuestro país se realizan bajo condiciones de pastoreo, y los señalados por otros autores generalmente provienen de animales estabulados con dietas concentradas y más balanceadas (Salazar *et al.*, 2007).

b. Mantillo o estiércol de bosque

La densidad de las muestras de este material presentó un promedio de $0,64 \text{ g cm}^{-3}$ con un bajo coeficiente de variación (11%). En promedio, el conteni-

do de humedad fue de 35%. El pH de este material presentó un rango amplio, desde 6,0 a 7,2, y una conductividad eléctrica de $0,6$ a $3,8 \text{ dS m}^{-1}$. El contenido promedio de C fue de 176, dentro del rango de 122 a 282 g kg^{-1} , con una relación C/N promedio de 16 (11 – 26). Las cantidades promedio de N, P y K fueron de 11, 2 y 3 g kg^{-1} , respectivamente. El contenido de micronutrientes fue de 15, 10817, 381 y 45 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente y el de cenizas 44%. Los altos valores de Fe y cenizas posiblemente se deban a la inclusión de suelo, que además corresponden a suelos de la zona norte, ricos en óxidos de Fe. Ligninas, polifenoles y C soluble tuvieron un promedio de 135 , 3 y 22 g kg^{-1} , respectivamente.

c. Compost

En este grupo se incluyeron materiales de distinto origen y con diferente grado de compostaje. El proceso de compostaje en general produce un material estabilizado y con poco olor que puede ser almacenado o aplicado con mayor facilidad que el estiércol o compuestos frescos (Castellanos y Pratt, 1981).

La densidad de los composts varió de $0,17$ a $0,77 \text{ g cm}^{-3}$ y el contenido de materia seca entre 24 y 74%. El pH de estos materiales presentó un rango muy amplio, desde 4,5 a 7,9, y una conductividad eléctrica de $1,0$ a $5,4 \text{ dS m}^{-1}$.

El contenido de C varió ampliamente, de 60 a 411 g kg^{-1} , con una relación C/N de 8 a 37, lo que indica una probabilidad de mineralización neta de N en algunos casos, y de inmovilización neta en otros. Generalmente en la preparación de compost se pierde C y nutrientes, pero resulta una práctica que mejora la manipulación de estiércol, reduciendo su volumen y peso además de eliminar patógenos y semillas de malezas (Eghball, 2000). Las cantidades promedio de N, P y K fueron de 12, 3 y 5 g kg^{-1} , respectivamente, y las de micronutrientes 21, 2720, 550 y 81 mg kg^{-1} de Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente. Muchos trabajos muestran la variabilidad en el contenido de nutrientes que presentan estos materiales. Sullivan *et al.* (2002) trabajaron con composts hechos con mezcla de restos de alimentos (verduras, carne, pescado, productos lácteos), papel, madera, suelo, etc., con contenidos promedio de N, P y K de

11,9, 2,6 y 10,5 g kg⁻¹, y contenidos de Cu y Zn de 54 y 230 mg kg⁻¹, similares a los promedios de nuestro estudio.

Al igual que el mantillo, los altos contenidos de Fe en estos materiales posiblemente se deban a la inclusión de suelo.

El contenido promedio de cenizas fue de 37%. Ligninas, polifenoles y C soluble tuvieron un promedio de 193, 4 y 30 g kg⁻¹.

d. Aserrín

El valor promedio de pH de las muestras de este grupo fue de 5,6, con un rango de 4,7 a 8,2 (Cuadro 2). Este Grupo presentó los mayores valores promedio de C (446,8 g kg⁻¹) y lignina (319 g kg⁻¹) y las concentraciones más bajas de nutrientes y micronutrientes, determinando la relación C/N promedio más alta de las muestras estudiadas (318/1). La alta relación C/N, asociada al alto valor de lignina y relativamente bajo de polifenoles (10 g kg⁻¹) y C soluble (25 g kg⁻¹) en este tipo de material los harían más resistentes a la degradación microbiana, y por lo tanto, es de esperar que produzcan una mejora en las propiedades físicas del suelo en el largo plazo. Generalmente, este tipo de material es más comúnmente empleado en producciones frutícolas.

e. Materiales orgánicos de otros orígenes

Lana, pelo y plumas presentaron los contenidos más altos de N (de 8 a 14 g kg⁻¹) y S (16 a 29 g kg⁻¹) de los materiales estudiados. A su vez, la muestra de pelos de vacunos contenía más S, Ca, Mg, Na y Zn que las muestras de lana, mientras que éstas contenían más P, K, Cu, Fe y Mn. Estos datos son similares a los reportados por Zheljzkov (2005) quien sugirió, además, que este tipo de material es de muy lenta descomposición en condiciones de campo, por lo cual es de esperar que produzcan mejoras en las propiedades físicas de los suelos. El contenido de N de las muestras de lana varió entre las dos muestras analizadas, probablemente debido a que una de ellas fue tomada de la pila estacionada a la intemperie por casi un mes en un área cercana al cantero donde iba a ser aplicada, expuesta al lavado de nutrientes por las lluvias. En cambio, la otra mues-

tra fue traída directamente de la industria del tratamiento de lanas.

Las muestras de plumas de nuestro estudio presentaron contenidos de C y N similares a aquéllos reportados por Gale *et al.* (2006). Mediante incubaciones aeróbicas, estos autores encontraron que este material, a diferencia de lana y pelos, presentó una muy alta descomposición, determinando un 70% de descomposición acumulada a los 70 días y lo atribuyeron a la baja relación C/N que caracteriza a este material, entre 4 y 8.

Aunque los subproductos de la industria animal (lana, pelos y plumas) podrían mejorar las propiedades físicas de los suelos y también proporcionar nutrientes para las plantas, el uso reiterado de estos materiales merece especial atención, ya que con esta práctica se podría introducir gran cantidad de Na al suelo, afectando negativamente las propiedades físicas por dispersión de los coloides. Otro de los materiales ricos en Na analizados en nuestro estudio es el material constituido por sustancias húmicas (Turba 1), de uso muy restringido.

Otro de los materiales analizados proveniente de la industria animal fue el contenido ruminal, usado principalmente para elaboración de compost. Existen muy pocos estudios que evalúan la utilización de contenido ruminal como fuente de nutrientes para las plantas o como material a compostar. Awodun (2008) comparó el uso de contenido ruminal y estiércol de vacunos como fuentes de nutrientes, y encontró que el estiércol vacuno se descomponía más rápidamente y liberaba más N que el contenido ruminal, pero éste suministró más P que el estiércol. Este autor encontró que el contenido de N y de P era de 13 y 0,03 g kg⁻¹, respectivamente, aunque características como la alimentación afectan la composición de este material.

La cáscara de arroz analizada en este estudio presentó un contenido de C y de lignina de 380 y 194 g kg⁻¹, respectivamente, y un contenido de cenizas de 20,5%, similares a los reportados por otros autores (Saha *et al.*, 2004, Valverde *et al.*, 2007). Este material presenta, además, un contenido de sílice muy alto, del orden 91-92% de SiO₂ (Valverde *et al.*, 2007) y una superficie cerosa hidrofóbica que impide el

ataque microbiano. En nuestro caso, la muestra presentó un contenido muy bajo de N ($2,5 \text{ g kg}^{-1}$) y una relación C/N muy alta, por lo cual es de esperar una lenta descomposición en el suelo. Además, este material presentó los valores más bajos de C soluble y polifenoles analizados, (4 y 19 g kg^{-1} , respectivamente). Este tipo de material es el que normalmente se usa en el sur del país como cama de pollo en los criaderos de ave, y explica la menor mineralización encontrada en la cama de pollo respecto al estiércol puro de gallina reportada por del Pino *et al.* (2008).

La muestra de ceniza de cáscara de arroz analizada en este estudio presentó un mayor contenido de Ca, Mg, Cu y Fe que la cáscara de arroz. En general, las cenizas de cáscara de arroz son ricas en silice y el uso agrícola más extendido es en la preparación de sustratos en viveros.

Otros materiales agrupados en esta categoría fueron turbas, usadas principalmente para la preparación de sustratos de plantines. Estos materiales presentaron contenidos muy altos de C y bajos de nutrientes.

Las muestras de efluentes de lodos de maltería presentaron una cantidad muy baja de materia seca, con una densidad de $1,03 \text{ g cm}^{-3}$. La baja relación C/N y el alto contenido de N determinaron una rápida mineralización en ensayos bajo condiciones controladas (datos no mostrados). En este tipo de material se destaca además el alto contenido de Zn, probablemente asociado al material de los recipientes donde se almacena este subproducto.

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman la gran variabilidad que existe entre y dentro de los grupos de materiales orgánicos analizados, lo que determina la necesidad de analizar cada material antes de su agregado al suelo. Sin embargo, dadas las dosis y la frecuencia con que se aplican estos compuestos, las cantidades de nutrientes aportadas pueden llegar a ser muy altas. Dentro de las características analizadas, las de más fácil adopción para realizar un manejo más eficiente de estos recursos son las determinaciones de contenido de humedad y concentración de nutrientes, especialmente N y P.

Esta información puede ser usada como referencia primaria para estimar el aporte de nutrientes proveniente de materiales orgánicos a ser aplicados a los suelos.

Bibliografía

- Awodun M. A. 2008. Effect of nitrogen released from rumen digesta and cow dung on soil and leaf nutrient content of Gboma (*Solanum macrocarpon* L.). *J. of Applied Biosciences* 7: 202-206.
- Beauchamp E.G. and Paul J. W. 1989. A simple model to predict manure N availability to crops in the field. p. 140-149. In J.A. Hansen and K. Henriksen (Eds.) *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Boston: Harcourt Brace Jovanovich Publ.
- Bitzer C.C. and Sims J.T. 1988. Estimating the availability of nitrogen in broiler litter through laboratory and field studies. *J. Environ. Qual.*; 17(1):47-54.
- Cabrera M. L., Tyson S.C., Kelley T.R., Merka W.C., Thompson S.A. and Pancorbo O.C. 1994. Nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fractionated poultry litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 58(2):367-372.
- Calderón F.J., McCarty G.W., Van Kessel J.A.S. and Reeves J.B. 2004. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 68(5):1592-1599.
- Campelo E., Benzano R. y Plá M. 1981. Efecto de diferentes manejos previos del suelo en la producción de tomates para industria y en la respuesta a la fertilización nitrogenada. (Tesis de grado). Montevideo: Facultad de Agronomía.
- Casanova O., Durán A., Mello R. y del Pino A. 2007. Manejo de efluentes de tambo. *Cangué* 29:94-96.
- Castellanos J.Z. and Pratt P.F. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 45(2):354-357.
- Dao T.H. and Cavigelli M.A. 2003. Mineralizable carbon, nitrogen, and water-extractable phosphorus release from stockpiled and composted manure and manure-amended soils. *Agron. J.*; 95(2): 405-413.
- del Pino A., Repetto C., Mori C. y Perdomo C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26:43-52.
- DIEA. 2000. Censo General Agropecuario. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/CENSOVOL2/indice.htm>. Consultado 8 abril 2011.
- Durán A. 1991. Los suelos del Uruguay. Montevideo: Hemisferio Sur. 398 p.
- Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 64(6):2024-2030.
- Eghball B. and Power J. F. 1999a. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agron. J.*; 91(5): 819-825.
- Eghball B. and Power J. F. 1999b. Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 63(4):895-901.
- Gale E.S., Sullivan D.M., Cogger C.G., Bary A.I., Hemphill D.D. and Myhreb E.A. 2006. Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *J Environ. Qual.*; 35(6):2321-2332.
- García F. y Cardellino G. 1980. Manejo del suelo en invierno para la producción de cebolla bajo riego. En Resúmenes de la 3ª reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República; 6-8 de Diciembre 1980; Montevideo.
- Gascho G.J., Hubbard R.K., Brenneman T.B., Jonson A.W., Sumner D.L. and Harris H. 2001. Effects of broiler litter in an irrigated, double-cropped, conservation-tilled rotation. *Agron. J.*; 93(6):1315-1320.

- Griffin T.S. and Honeycutt C.W. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 64(5):1876-1882.
- Griffin T.S., Honeycutt C.W. and He Z. 2003. The connection between manure carbon composition and nitrogen availability. *American Society of Agronomy Abstracts*.
- Isaac R.A. and Kerber J.D. 1971 Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues*. Madison: Soil. Sci. Soc. Amer. p. 17-37.
- Kleinman P.J.A., Wolf A. M., Sharpley A. N., Beegle D. B. and Saporito L. S. 2005. Survey of water-extractable phosphorus in livestock manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 69(3): 701-708.
- La Manna A., Mieres J., Acosta Y. and Torres I. 2004. Utilización de efluentes de tambos- Resumen de investigación. Resultados Experimentales de Lechería. (Actividad de difusión 36). Montevideo: INIA.
- Lemunyon J.L. and Gilbert R.G. 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. *J. Prod. Agric.*: 6:483-486.
- Moltini C. y Silva A. 1981. Fertilización con nitrógeno y fósforo en cebolla (*Allium cepa* L.) bajo diferentes situaciones de suelo (Tesis de grado). Montevideo: Facultad de Agronomía.
- Moraes F. 1996. Efecto de la aplicación de bagazo de caña de azúcar sobre la dinámica y respuesta al nitrógeno en un cultivo posterior de maíz. (Tesis de grado). Montevideo: Facultad de Agronomía.
- Müller M.M., Sundman V., Soininvaara O. and Meriläinen A. 1988. Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials decomposing in soil under field conditions. *Biol. Fertil. Soils*: 6(1):78-83
- Murphy J. and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*: 27:31-36.
- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Madison: (SSSA Book Serie 5).
- Nicholson F.A., Chambers B.J., Williams J.R. and Unwin R.J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*: 70(1): 23-31.
- Pederson G.A., Brink G.E. and Fairbrother T.E. 2002. Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: nitrogen, phosphorus, potassium, copper, and zinc. *Agron. J.*: 94(4):895-904.
- Reinertsen S.A., Elliott, L.F., Cochran V.L. and Campbell G.S. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*: 16(5):459-464.
- Rhine E.D., Sims G.H., Mulvaney R.L. and Pratt E.J. 1998. Improving the Berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 62(2):473-480.
- Saha B.C., Iten L.B., Cotta M.A. and Wu Y. 2004. Rice hull as substrate for production of fuel ethanol. In: Cherry J.P., Pavlath A.E. (Eds.) *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR)*: December 11-18, 2004; Honolulu, Hawaii. p. 181-185.
- Salazar F., Dumont J.C., Chadwick D., Saldaña R. y Santana M. 2007. Caracterización de purines de lecherías en el Sur de Chile. *Agricultura técnica (Chile)*: 67(2):155-162.
- Sharpley A.N., Meisinger J.J., Breeuwsma, A., Sims J.T., Daniel T.C. and Schepers J.S. 1998. Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. In: J.L. Hatfield and B.A. Stewart (Eds.), *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource*. Chelsea: Ann. Arbor. Press. p. 173-242.
- Silva A., Ponce de León J., Cavassa R. y Reyes W. 1992. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambos sobre la producción de verdes y propiedades físico-químicas del suelo. *Notas Técnicas (Facultad de Agronomía)*: (16).
- Singleton V.L., Rossi J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *J. of Enology and Viticultura*: 16(3):144-148.
- Sullivan D.M., Bary A.I., Thomas D.R., Fransen S.C. and Cogger C.G. 2002. Food waste compost effects on fertilizer nitrogen efficiency, available nitrogen, and tall fescue yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 66(1): 154-161.
- Trinsoutrot I., Recous S., Bentz B., Linères M., Chêneby D. and Nicolardot B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 64(3):918-926.
- Valverde A., Sarria B. y Monteagudo J. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*: 8(37): 255-260
- Van Kessel J.S., Reeves J.B. and Meisinger J.J. 1999. Storage and handling can alter the mineralization characteristics of manure. *J. Environ. Qual.*: 28(6):1984-1990.
- Van Kessel J.S., Reeves J.B. and Meisinger J.J. 2000. Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. *J. Environ. Qual.*: 29(5): 1669-1677.
- Van Soest P. J. 1963. The use of detergents in the analysis of fibrous feeds: II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assn. Official Agr. Chem.*: 46:829.
- Whalen J.K., Chang C., Clayton G. and Carefoot J.P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 64(3):962-966.
- Zamalvide J., Moltini C. y Silva A. 1979. Respuesta a nitrógeno y fósforo en cebolla. In *Resúmenes de la 2ª Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República*.
- Zheljazkov V.D. 2005. Assessment of wool waste and hair waste as soil amendment and nutrient source. *J. Environ. Qual.*: 34(6):2310-2317.
- Zibilske L.M. and Bradford J. M. 2007. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 71(1):133-139.