

Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas

Practical aspects of organic matter utilization in horticultural crops



LEONOR AMPARO MEDINA^{1,4}

ÓSCAR IVÁN MONSALVE²

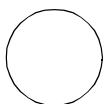
ANDRÉS FERNANDO FORERO³

Cultivo de tomate bajo invernadero.

Foto: O.I. Monsalve

RESUMEN

Existe en el ámbito agrícola poca información y claridad técnica sobre el uso adecuado de materia orgánica (MO), sobre la manera de calificar su calidad e inclusive sobre las categorías o tipos de MO que se pueden utilizar. La materia orgánica del suelo es un elemento crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola; son bien conocidas sus principales funciones, como sustrato o medio de cultivo, cobertura o *mulch*, mantenimiento de los niveles originales de MO del suelo y complemento o reemplazo de los fertilizantes de síntesis; este último aspecto reviste gran importancia, debido al auge de su implementación en sistemas de producción limpia y ecológica. En este sentido, el conocimiento de las características químicas, físicas y biológicas, así como de otros parámetros de calidad, influirá notablemente en el desempeño del o los materiales por aportar. Con base en esto, y con el fin de establecer los criterios técnicos que garanticen el buen uso de los materiales orgánicos, se hace necesario conocer los tipos de fertilizantes orgánicos utilizados en horticultura, teniendo en cuenta su procedencia y composición física, química y biológica.



Palabras clave adicionales: fertilización, nitrógeno mineral, dosificación, mineralización, metales pesados.

¹ Dirección Técnica, Yara Colombia Ltda., Barranquilla (Colombia).

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

⁴ Autor para correspondencia. amparo.medina@yara.com



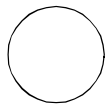
ABSTRACT

For agricultural purposes, there is little technical information and few criteria about the appropriate use of organic matter, the way to establish its quality and even the types or categories that can be used. The organic matter in soil is crucial for the regulation of many processes related to agricultural productivity. Its main functions as substrate, growth medium and mulch are well known, especially for maintaining the original levels of organic matter in the soil and/or supplying or replacing synthetic fertilizers. Which is of great importance due to its rise in use in integrated and organic farming systems; in this sense, knowledge about the chemical, physical and biological properties as well as other quality parameters will have significant influence on the performance of the organic materials that can be used. For this reason and in order to establish technical criteria to ensure the proper use of organic materials, it is necessary to know the types of organic fertilizer used in horticulture, taking into account their origin and physical, chemical, and biological composition.

Additional key words: fertilization, mineral nitrogen, organic matter doses, mineralization, heavy metal content.

Fecha de recepción: 10-03-2010

Aprobado para publicación: 02-06-2010



INTRODUCCIÓN

A pesar de los grandes desarrollos que en los últimos años se han dado en pro del manejo sostenible de los cultivos con criterios ecológicos, en los que se busca minimizar los impactos negativos al medioambiente y reducir la dependencia de los insumos externos, existe en nuestro medio poca información y claridad técnica sobre muchos aspectos relacionados con este tema, entre estos el uso adecuado de materia orgánica (MO), la manera de calificar su calidad e inclusive las categorías o tipos de MO que se pueden utilizar. Brown (2002) define la MO como una propiedad no bien definida del suelo. Se destaca que la falta de criterios para la utilización adecuada de la MO se debe, entre otros aspectos, a:

- La complejidad para medir los cambios que se presentan al aplicar materia orgánica en el suelo.
- Escaso conocimiento sobre el aporte neto de nutrimentos a partir de un material dado.
- Falta de información sobre las características físicas, químicas y biológicas de los materiales disponibles.
- Heterogeneidad de los materiales orgánicos de un mismo origen o calificación.

- Variabilidad en las respuestas a la aplicación de materia orgánica, que dificulta la recomendación de uso.

A pesar de la complejidad del tema, en el presente escrito se presentan algunos criterios prácticos que pueden contribuir al uso adecuado de abonos y fertilizantes orgánicos en diversos sistemas de producción agrícola. La mayoría de las ideas expuestas tienen su base en una serie de investigaciones realizadas por la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en el marco de dos proyectos de investigación en fertilización orgánica de hortalizas, financiados por el Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola y el CIAT a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. La mayoría de las investigaciones se realizaron en la Sabana de Bogotá y en los departamentos de Cundinamarca, Quindío y Norte de Santander, para el caso específico del tomate bajo invernadero.

Objetivos del uso de MO

La MO del suelo es un factor crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola (Gros, 1981; Cegarra *et al.*, 1993; Jakobsen, 1996; Plaster, 2000;

Ouédraogo *et al.*, 2001; Miyasaka *et al.*, 2001; Courtney y Mullen, 2005; Brown, 2002). Adams y Early (2004) destacan el efecto profundo de la MO sobre la nutrición de las plantas, la estructura del suelo y los cultivos. Entre sus principales funciones se pueden mencionar:

- Su descomposición y mineralización es una fuente importante de nutrientes para las plantas, en especial en suelos de baja fertilidad química.
- La actividad microbiana inherente a la presencia de MO favorece la formación de agregados estables, lo que reduce la erosión, mejora la infiltración y, en general, incide en las propiedades físicas del suelo asociadas con la estabilidad de la estructura.
- Las formas lábiles o descomponibles del carbono acomplejan iones potencialmente tóxicos como aluminio.
- Reduce las pérdidas de nutrientes, porque mejora el almacenamiento de estos en el suelo.

Estos aspectos hacen que sea cada día más necesario implementar prácticas que permitan un manejo adecuado de la MO del suelo (Swift y Woome, 1993; O'Neill y Phillips, 1992; Porta *et al.*, 1994; Morse, 1995; Krapac *et al.*, 1998; Elwell *et al.*, 2001; Gay *et al.*, 2003). Una de las herramientas con las que se cuenta para el logro de este objetivo es precisamente la incorporación de abonos orgánicos al suelo, práctica común en los sistemas de producción hortícola, y sobre la cual versará la mayor parte de este escrito. No obstante, debe tenerse en cuenta que esta no es la única forma de utilizar los materiales orgánicos y que en muchos casos se persiguen objetivos diferentes al mejoramiento o mantenimiento del

contenido de MO en el suelo. Algunos de los usos que se le dan a los diversos materiales orgánicos se relacionan a continuación:

Como sustrato o medio de cultivo

Los materiales orgánicos, necesariamente, se consideran cuando se van a preparar sustratos para plantas que crezcan en macetas, bolsas, bancos o similares, como en el vivero, en el que se busca germinar y cuidar las plántulas emergidas en pequeñas áreas y con muy buen control del medioambiente. Normalmente no se recomienda utilizar los materiales orgánicos como única fuente, debido en parte a que pueden degradarse, afectando las características físicas y químicas del sustrato. Generalmente, en las mezclas que llevan MO no se requiere adicionar micronutrientes, ya que los contenidos son suficientes para garantizar un buen crecimiento durante varios meses. Tampoco se requiere adicionar fuentes de elementos mayores en las 2 ó 3 primeras semanas, aunque el manejo de los fertilizantes dependerá del tipo de planta, el tiempo que permanecerá confinada, su utilización final y las características del sustrato. Los análisis del agua de drenaje o de la misma mezcla, tres semanas después de la siembra, son una buena alternativa para decidir el manejo posterior (Medina, 2004). A manera de ejemplo, en la tabla 1 se presentan las características físicas de algunas mezclas utilizadas comúnmente en viveros de hortalizas en la Sabana de Bogotá, y en la tabla 2, los análisis de un compost aplicando la técnica usual utilizada para los análisis de suelos, que se considera una herramienta útil para determinar la proporción de una MO en una mezcla para vivero y también para estimar la disponibilidad de nutrimentos durante esta etapa.

Tabla 1. Algunas propiedades físicas de mezclas para sustrato.

Mezcla	Densidad aparente (g mL ⁻¹)	Porosidad total (%)	Retención de humedad (% vol.)	Capacidad de aire (% vol.)
Zeolita, turba, cascarilla y lombricompuesto (25% c/u)	0,67	69,6	34,6	17,0
Fibra de coco + cascarilla quemada (25% + 75%)	0,38	77,3	26,7	29,5
Fibra de coco + cascarilla quemada (25% + 75%)	0,55	66,3	44,3	28,0
Escoria + Cascarilla cruda (50% + 50%)	0,34	83,5	9,1	16,8

Fuente: Adaptado de Medina (2004)



Como cobertura o *mulch*

Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en N, que se consideran de baja calidad y que normalmente no son muy costosos, por ejemplo, los derivados de tamos de cereales, cascarilla de arroz y similares, se pueden utilizar como coberturas para el control de malezas y para reducir la evaporación de agua del suelo. Para las coberturas o *mulch* se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Espesor de la capa, que debe ser suficientemente delgada para que no se produzca calentamiento superficial (los materiales se pueden seguir descomponiendo). Además, para acolchados muy gruesos se requieren altas cantidades de material que no siempre son de fácil consecución.
- Utilizar preferiblemente materiales maduros (que no se calienten *in situ*).
- Se pueden trabajar con materiales secos y con un tamaño de partícula relativamente grande.

- Puede ser necesario evaluar las pérdidas de N por volatilización.

Para el mantenimiento de los niveles originales de MO del suelo

Gros (1981) estima que las pérdidas de MO en los suelos cultivados pueden ser de 700 a 1.000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Laws (1961), citado por Wallace (1994), indica que se requieren alrededor de 4 t ha⁻¹ año⁻¹ para mantener el nivel de MO del suelo. Las tasas de pérdida de la MO dependen de varios aspectos, entre los que destacamos los siguientes:

- Textura del suelo: los suelos arcillosos, en general, son más ricos en MO que los suelos arenosos, y tienen menor tendencia a perderla; esto se debe principalmente a que las partículas arcillosas tienen gran cantidad de sitios activos que ligan la MO, reduciendo la actividad microbiana sobre ella y, por tanto, evitando que se lixivie o pierda por una mineralización rápida.
- Temperatura: para condiciones similares de humedad, textura, topografía y vegetación,

Tabla 2. Resultados del análisis de un compost de residuos domésticos, aplicando la metodología usualmente utilizada en análisis de suelos.

Elemento	Compost de residuos domésticos	Método analítico
pH (unidades)	7,2	Proporción (v:v) agua: muestra de 1:1
C.E. (mS cm ⁻¹)	1,10	Extracto de saturación
CIC (meq/100 g)	40,5	Acetato de amonio neutro 1N (v:v, 1:20)
N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	15,9	Extracción KCl 1N
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	38,9	Extracción KCl 1N
N mineral (mg L ⁻¹)	54,8	N-NH ₄ + N-NO ₃
Fósforo (mg L ⁻¹)	289	Olsen
Potasio (cmol _c kg ⁻¹)	7,96	Acetato de amonio neutro 1N (v:v, 1:20)
Calcio (cmol _c kg ⁻¹)	14,00	Acetato de amonio neutro 1N (v:v, 1:20)
Magnesio (cmol _c kg ⁻¹)	6,64	Acetato de amonio neutro 1N (v:v, 1:20)
Sodio (cmol _c kg ⁻¹)	0,37	Acetato de amonio neutro 1N
Azufre (mg L ⁻¹)	32,7	Turbidimetría
Hierro (mg L ⁻¹)	11.600	DTPA (v:v, 1:2)
Manganeso (mg L ⁻¹)	194	DTPA (v:v, 1:2)
Cobre (mg L ⁻¹)	5	DTPA (v:v, 1:2)
Zinc (mg L ⁻¹)	168	DTPA (v:v, 1:2)
Boro (mg L ⁻¹)	2,7	Extracto de saturación

Fuente: Adaptado de Medina (2001)



los niveles de MO se incrementan de dos a tres veces por cada 10°C de disminución de la temperatura; esto se debe principalmente a que aumentan las tasas o velocidades de descomposición y se acumula más lentamente.

- Tipo de vegetación y otros factores: en bosques y praderas con altas tasas de crecimiento, los contenidos de MO son mucho mayores que en ecosistemas más rales en vegetación. La disponibilidad de agua y el balance entre precipitación y evapotranspiración condicionan el tipo de vegetación presente, al igual que la temperatura. La precipitación, así mismo, influye sobre la lixiviación de los compuestos orgánicos formados.
- Prácticas de cultivo: pueden favorecer el mantenimiento de los niveles originales de MO. La labranza mínima, el aporte de estiércol, residuos de cosecha, el uso de riego, entre otros, favorecen la conservación de este componente vital para la productividad de los suelos.

Como complemento o reemplazo de los fertilizantes de síntesis

Este es uno de los objetivos que más se persiguen cuando se aplica MO al suelo. Para determinar la capacidad de aporte de nutrimentos de un material orgánico, deben conocerse sus características químicas, físicas y biológicas, así como otros parámetros de calidad. Igualmente, será necesario determinar los criterios para calcular las dosis según el cultivo y el sistema de producción. A continuación se indican algunos de estos factores.

Tipos de fertilizantes orgánicos utilizados en horticultura

Aunque existen muchas definiciones, los abonos orgánicos pueden ser definidos como sustancias de desechos de origen animal, vegetal o mixto, frescas o procesadas por fermentación. Estos materiales se añaden al suelo con el objeto de

mantener o aumentar su contenido de MO o de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Gros, 1981). Los abonos orgánicos tienen altos contenidos de MO, de N mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas (Cegarra *et al.*, 1993); dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de MO, en la capacidad de retención de humedad y en el pH del suelo (Courtney y Mullen, 2008; Ouédaogroet *et al.*, 2001); también aumentan el potasio disponible (Erhart y Hartl, 2003), el calcio y el magnesio disponibles (Jakobsen, 1996; Miyasaka *et al.*, 2001). En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica; disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, y promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas. Sin embargo, la naturaleza, la estabilidad y la dinámica de este tipo de residuos son muy variables, lo que hace que el perfil nutricional sea diferente, dependiendo de varios factores, principalmente del material de origen. Los abonos orgánicos pueden ser clasificados de la siguiente manera (Soto, 2003).

En este artículo de revisión se hace énfasis en los criterios de uso materiales sólidos de origen animal, vegetal o mixtos, procesados y sin procesar, que son los más utilizados en horticultura para las condiciones del departamento de Cundinamarca, principalmente en la Sabana de Bogotá (Forero *et al.*, 2008).

CARACTERIZACIÓN DE LA MO

Los cultivos hortícolas, en la mayoría de los casos, son exigentes en nutrimentos; requieren en general de una fertilización constante y con altas dosis, especialmente de N; esta es una de las razones por las cuales la aplicación de MO ha sido tradicional en este tipo de cultivos, y se prevé una tendencia al aumento, debido, entre otros, al incremento de los cultivos de producción ecológica (León y Espinoza, 2005). Por tanto, medir y determinar los parámetros de calidad de los materiales orgánicos es una necesidad urgente.



Tabla 3. Clasificación de los abonos orgánicos.

Fuente de nutrientes	Grado de procesamiento	Sólidos	Líquidos
Materia orgánica	Sin procesar	Desechos vegetales: desechos de cosecha, residuos de poda, desechos de poscosecha Desechos animales: estiércol fresco, residuos de matadero y otros Coberturas: abonos verdes y «mulch» orgánicos	Efluentes: de pulpa de café, desechos de origen animal, otros residuos líquidos
	Procesados	Compost Lombricompost Bocashi Ácidos húmicos	Biofermentos Té de compost Ácidos húmicos Té de estiércol Extractos de algas
Microorganismos		Biofertilizantes: <i>Rhizobium</i> , micorrizas, <i>Bacillus subtilis</i>	Biofertilizantes líquidos: ME o microorganismos benéficos, etc.

Fuente: Adaptado de Soto (2003)

Calidad física

Para aplicar cualquier tipo de MO es importante tener en cuenta su calidad física, que será también un indicativo de la calidad general del material. Entre los aspectos físicos por tener en cuenta se destacan:

- Contenido de humedad: de acuerdo con varios autores (Gómez, 2000; Henao, 1996; Soto, 2003), el contenido óptimo de humedad en un material orgánico debe estar entre 30% y 35%; valores por debajo pueden afectar la actividad microbiológica y, por tanto, la tasa de mineralización, y altos contenidos de humedad pueden favorecer las pérdidas de N por desnitrificación, a la vez que aumentan los costos de acarreo y dificultan la aplicación (Gómez, 2000; Henao, 1996). El contenido de humedad es un parámetro que se debe tener en cuenta para el cálculo de la cantidad de MO por utilizar (tabla 6).
- Estabilidad: la presencia de olores desagradables puede ser un indicativo de que

hay pérdidas de N por volatilización de amoníaco, posibles efectos fitotóxicos causados por los ácidos orgánicos volátiles (VOC) y molestias al personal que los aporta al suelo. Esta situación es corriente cuando se aplica MO fresca o con mínimo proceso, razón por la cual normalmente se recomienda utilizar el proceso de compostaje para mejorar la calidad de estos residuos. Debe tenerse en cuenta, además, que tanto el amoníaco como los VOC son considerados gases con efecto invernadero y pueden afectar la salud humana (Bentrup *et al.*, 2004).

- Tamaño de partícula: debe tener un tamaño que facilite su aplicación homogénea.
- Color, que en algunos materiales puede indicar el grado de madurez, por ejemplo en compost de residuos vegetales, que se va tornando marrón.
- Presencia de objetos extraños, como plásticos o metales: en lo posible debe estar libre de ellos.

Calidad biológica

Es muy importante tener en cuenta aspectos biológicos, que se pueden determinar con relativa sencillez y que indican, en términos generales, la calidad biológica de un material y, por tanto, si su uso implica riesgos o no. Los aspectos que se destacan en este caso son:

- **Actividad microbiana:** es una medida indirecta de la presencia de microorganismos activos en la MO; en muchos casos es un índice de madurez o estabilidad de materiales procesados tipo compost o lombricompuesto.
- **Recuento de organismos benéficos:** este análisis suele ser dispendioso y costoso, pero en algunos casos se justifica. Deben buscarse algunos microorganismos específicos, como especies de hongos reportados con capacidad de formar micorrizas, bacterias nitrificantes, *Thiobacillus* sp., solubilizadores de fósforo, entre otros.
- **Presencia de organismos fitopatógenos:** que se deben buscar según el cultivo en el cual se va a aplicar el material orgánico; este análisis es más sencillo y viable que el anterior.
- **Presencia de organismos que pueden potencialmente afectar la salud humana,** como bacterias coliformes, *Salmonella* sp., huevos de helmintos y otros parásitos intestinales.

La actividad microbiana es uno de los temas que actualmente tiene mayor interés, especialmente cuando se utilizan materiales procesados como compost o lombricompuesto. La metodología de la hidrólisis de fluoresceína diacetato (FDA), como indicador de la actividad biológica del suelo, puede ser un método práctico. En la tabla 4 se presenta un ejemplo de las mediciones de hidrólisis de fluoresceína para materiales orgánicos que se utilizan en cultivos de hortalizas en la Sabana de Bogotá.

Se destaca una menor actividad en el lombricompuesto, lo que posiblemente se asocia con una mayor estabilidad de este material en cuanto a su proceso de descomposición. Los demás abonos orgánicos evaluados presentaron un comportamiento similar.

Tabla 4. Actividad microbiana presente en los materiales orgánicos.

Material orgánico	Actividad microbiana (mg FDA/kg suelo por 3 h)
Compost de gallinaza	2.089
Lombricompuesto	488
Compost de porquinaza	2.457
Compost comercial	2.025
Compost de rosas	2.136

Fuente: Forero *et al.* (2008)

Calidad química

Contenido de MO y relación carbono/nitrógeno (C/N)

Por su misma naturaleza, el contenido de MO en un residuo fresco o procesado es uno de los parámetros más importantes; se considera que debe estar mínimo en el 40%, expresado como MO. Sin embargo, el término MO reportado en los análisis está restringido a la MO oxidable, ya que normalmente se determina carbono por oxidación con dicromato potásico en medio sulfúrico (método de Walkley-Black) y se multiplica por una constante de 1,72 para obtener el porcentaje de MO (Porta *et al.*, 1994). Debe tenerse en cuenta que también es usual determinar el carbono orgánico (CO) por calcinación y que en este caso es más usual utilizar una constante de 2,17 para obtener el porcentaje de MO. En la tabla 5 se ilustra un ejemplo de los contenidos de carbono y MO oxidable y de la relación C/N en algunos tipos de abonos orgánicos.

Tabla 5. Contenidos de carbono, materia orgánica y relación C/N para diferentes tipos de materiales orgánicos. Los datos son promedios de al menos cinco análisis de cada una de las muestras, realizados por el método de Walkley-Black, utilizando la constante 2,2 para el cálculo de la MO.

Material orgánico	CO	MO (%)	Relación C/N
Compost de varios orígenes	21,22	46,69	9,88
Compost de residuos domésticos	13,47	30,93	17,50
Humus comerciales	31,12	68,47	23,94
Gallinaza	16,93	37,25	6,69
Porquinaza	29,20	64,30	14,90
Residuo de cervecería	37,90	83,30	4,00

Fuente: Adaptado de Medina, 2001



pH y conductividad eléctrica (CE)

Aunque usualmente no se miden, el pH y la CE brindan información importante sobre un material orgánico, especialmente si se piensa utilizar como base para el medio de crecimiento en viveros, almacigos o plantas en sistemas hidropónicos. Los rangos adecuados dependerán en gran medida de la proporción en la mezcla, pero se asimilan a aquellos normalmente recomendados en suelos para un cultivo dado. En la tabla 6 se presentan los valores de pH y CE para algunos materiales orgánicos, así como los rangos considerados adecuados en suelos para cultivos de hortalizas.

Tabla 6. pH, conductividad eléctrica y contenido de humedad en algunos materiales orgánicos. Los datos son promedios de al menos 5 análisis de cada una de las muestras.

Material orgánico	pH	CE (dS m ⁻¹)	Humedad (%)
Compost de varios orígenes	7,55	7,45	49
Compost de residuos domésticos	7,20	1,10	—
Humus comerciales	6,93	2,40	63
Gallinaza	8,14	24,41	21
Porquinaza	8,20	3,90	20
Residuo de cervecería	7,70	2,40	87

Fuente: Adaptado de Medina (2001)

Como puede observarse en la tabla 6, materiales como la gallinaza deberán utilizarse en baja proporción en mezclas de sustratos para plantas en maceta, viveros y similares, debido al alto aporte de sales que puede causar daños a la planta.

Contenido de nutrimentos mayores

El contenido de elementos mayores, especialmente N, es quizás uno de los factores que más influye en la calidad de un abono orgánico y que más se tiene en cuenta para determinar los efectos de su aplicación. Incluso, se considera que si hay suficiente N disponible en la MO original, la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas (Labrador, 2001). En la tabla 7 se presentan los contenidos de elementos mayores para diferentes tipos de abonos y residuos orgánicos.

Como puede observarse, el residuo de la industria cervecera presenta un alto contenido de N, pero también un altísimo contenido de humedad, que podría causar pérdidas por volatilización y dificultar la aplicación. Dentro de los residuos más comunes se destacan los altos contenidos

Tabla 7. Contenidos de elementos mayores (% base seca) de varios residuos y abonos orgánicos.

Material orgánico	Porcentaje en base seca					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Compost de varios orígenes ¹	2,3	0,58	1,97	2,84	0,62	0,76
Compost de residuos domésticos ¹	0,76	0,24	0,59	0,63	0,24	—
Humus comerciales ¹	2,97	0,71	1,25	2,74	0,88	1,13
Gallinaza ¹	2,53	1,78	2,66	10,16	0,93	0,48
Bovinaza ¹	1,99	0,40	1,52	1,93	0,63	0,34
Porquinaza ¹	1,96	0,49	0,36	0,82	0,10	0,46
Residuo de cervecería ¹	9,59	2,70	0,45	1,42	0,37	2,50
Compost a de bovinaza ²	2,40	1,50	0,61	1,65	0,21	0,29
Compost de porquinaza ²	1,63	1,40	1,33	1,40	0,61	0,32
Compost de gallinaza ²	1,23	2,13	1,80	8,44	0,65	0,32
Lombricompuesto ²	1,33	0,62	0,96	1,73	0,49	0,18
Bokashi ²	1,60	1,60	3,72	6,99	1,40	0,27
Compost de residuos tomate ²	0,81	1,10	1,00	3,20	0,60	0,21
Compost de rosas ²	2,27	0,51	2,00	2,57	0,52	0,37

Fuente: Adaptado de ¹Medina (2001) y de ²Forero et al. (2008)

de N en humus comerciales, compost de bovinaza, compost de conejaza y compost de rosas, y los bajos contenidos en compost de residuos domésticos.

Contenido de nutrimentos menores

Aunque no siempre se reportan, es importante conocer los aportes de elementos menores en los materiales orgánicos, ya que pueden ser suficientes para cubrir el requerimiento de las

plantas. Gómez (2000) indica que, en general, se debe esperar que los contenidos de los microelementos se encuentren en la siguiente escala, que es igual en los tejidos vegetales, $Fe > Mn > Zn > Cu > B$. Los aportes de microelementos son variables según el material, e inclusive dentro de materiales similares, por ejemplo, gallinaza, bovinaza y porquinaza y sus respectivas formas fermentadas o compost (tabla 8). Los aportes más balanceados, como es de esperar, se dan en residuos de origen vegetal.

Tabla 8. Contenidos de elementos menores de varios residuos y abonos orgánicos.

Material orgánico	(mg kg ⁻¹ en base seca)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Compost de varios orígenes ¹	6.942	403	159	40	27,0
Compost de residuos domésticos ¹	15.466	259	224	7	3,6
Humus comerciales ¹	9.065	364	168	51	27,0
Gallinaza ¹	2.659	430	387	78	64,0
Bovinaza ¹	2.144	269	554	51	49,0
Porquinaza ¹	3.016	62	85	20	13,0
Residuo de cervecera ¹	9.153	319	551	51	86,0
Compost de bovinaza ²	7.705	403	419	95	7,2
Compost de equinaza ²	1.875	401	124	11	14,0
Compost de gallinaza ²	11.656	396	229	21	23,7
Lombricompost ²	9.029	270	160	22	16,6
Compost comercial ²	9.622	549	159	28	49,8
Compost de porquinaza ²	8.557	286	365	103	18,3
Compost de rosas ²	5.435	249	109	9	41,5

Fuente: Adaptado de ¹Medina (2001) y de ²Forero et al. (2008)

Contenidos de elementos pesados y otras sustancias

En la agricultura limpia o convencional con buenas prácticas agrícolas y en la agricultura ecológica es muy importante considerar los niveles de elementos pesados y otras sustancias que pueden estar presentes en cantidades potencialmente dañinas o contaminantes en los abonos orgánicos por utilizar (O'Brien, 2008); sin embargo, estos análisis son muy costosos y, en general, no se realizan a menos que se sospeche la presencia de una sustancia tóxica por el origen del residuo orgánico o porque se pueden presentar

síntomas en los cultivos. Revisar el contenido de metales pesados y otras sustancias asociadas como Ba, Se y As es importante, especialmente para los residuos o sus fermentados que provienen de la agroindustria, de lodos de depuración, sólidos domiciliarios sin adecuada separación y, en general, residuos urbanos. Nedelkoska y Doran (2000) mencionan que algunas de estas sustancias pueden ser denominadas oligoelementos, porque tienen una función biológica en plantas y animales, tal es el caso de As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Cu, Se y Zn. Otras sustancias carecen de función biológica, pero pueden acumularse en los organismos vivos,

**Tabla 9. Concentraciones máxima aceptables de metales traza considerados como fitotóxicos en suelos agrícolas (mg kg⁻¹).**

Entidad	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb	Ni
EPA ¹	4.300	7.000	3.000	85	840	420
Decreto 822/98 ²	1.200	18	300	1.800	1200	-

Fuente: ¹Mullins y Mitchel (1995) y ²Gómez (2000)

con efectos altamente tóxicos, como Cd, Hg, Pb, Sb y Bi (García y Donorroso, 2001).

En la tabla 9 se presentan los límites permisibles en suelos para sustancias potencialmente contaminantes, y en la tabla 10, los contenidos encontrados para algunos materiales orgánicos reportados por Forero *et al.* (2008).

Los contenidos de metales traza en los materiales utilizados en cultivos de hortalizas en el centro del país se encuentran por debajo del límite máximo permitido para suelos, indicando que su aplicación no es potencialmente contaminante; esto se debe posiblemente a que son materiales de origen animal producidos en zonas rurales alejadas de la industria y de otras fuentes específicas de contaminación.

Tabla 10. Concentraciones de metales traza en diferentes materiales orgánicos (mg kg⁻¹).

Material orgánico	Cr	Cd	Pb	Hg
Compost de bovinaza	27,18	N.D.	21,02	0,44
Compost de porquinaza	6,17	0,12	8,01	0,48
Compost de gallinaza	2,54	0,29	1,68	0,32
Lombricompuesto	30,63	0,63	15,60	0,35
Compost comercial	14,44	1,69	12,85	0,35

Nota: ND = No detectado.

Fuente: Adaptado de Forero *et al.* (2008)

CRITERIOS PARA LA UTILIZACIÓN DE MO

Disponibilidad de nutrientes en la MO

Una de las dificultades que existen cuando se aplican residuos orgánicos al suelo, con el objeto de aportar nutrimentos, es determinar cómo se irán liberando para que las plantas los puedan asimilar. La liberación de nutrientes, especialmente de N, se determina midiendo o estimando la tasa de mineralización (Stanford y

Smith, 1972; Prado y Rodríguez, 1978; Flores, 1988; Rodríguez, 1993). De acuerdo con varios autores (Gómez, 2000; Mazzarino, 2002; Grigattia *et al.*, 2007), el N es el elemento más importante para valorar la calidad de un abono orgánico, ya que es un elemento escaso en la fracción mineral del suelo, su disponibilidad depende del nivel de MO oxidable y presenta posibilidades de ocasionar daño ambiental por volatilización de amoníaco (NH₃), lixiviación de nitrato (NO₃) y de nitrito (NO₂) y emisiones de óxido nitroso (N₂O) u otros gases de N; por tanto, es más usual y útil determinar la mineralización del N para determinar el aporte nutricional de un abono orgánico.

La tasa de mineralización de N y de la MO oxidable en general dependerá principalmente de:

- Cantidad y composición de la MO aplicada. Alexander (1980) indica que sustancias orgánicas de estructura ramificada, como lignina, compuestos fenólicos, grasas, ceras y melanina, son más recalcitrantes a la mineralización que sustancias de cadena lineal como la celulosa. Forero *et al.* (2008) reportan contenidos de lignina en promedio de 53% para compost de rosas y 54% para compost de porquinaza, comparado con 19,3% en compost de coneja y 13,3% en un compost comercial, lo que da una idea de la variación que existe dentro de los materiales procesados. Nahamo *et al.* (2004) encontraron relación entre el contenido de lignina y la tasa de mineralización en diversos residuos orgánicos de origen animal.
- Temperatura, humedad y otras condiciones ambientales del suelo, que afectan la velocidad de mineralización. González *et al.* (1995) mencionan que el contenido óptimo de humedad para la mineralización es del 75% de la capacidad de retención de humedad del material orgánico, y Benítez *et al.* (1998)

encontraron una mayor velocidad de mineralización a 30°C.

- Propiedades físicoquímicas del suelo: entre las que se destacan la textura, que afecta contenidos de agua y aireación, y el pH, que determina el tipo de microorganismos predominantes y otros factores; así como la posición geomorfológica y el uso del suelo (Ouédraogo *et al.*, 2001).
- Densidad de raíces: los exudados del sistema radical promueven la mineralización de la MO.

Debe tenerse en cuenta que aunque la tasa de mineralización de N es crucial para pronosticar el comportamiento de un abono orgánico en el suelo, el procedimiento para estimarla es, usualmente, demorado y no siempre puede llevarse a cabo. Se destaca que, en general, los residuos de origen animal tienen mayores tasas de mineralización que los residuos de origen vegetal, de acuerdo con los resultados obtenidos por Figueroa *et al.* (2008) y Galvis-Spinola y Hernández-Mendoza (2004). Desde el punto de vista práctico, lo que más se utiliza para estimar la tasa de mineralización de N es la relación C/N; en general, se recomienda utilizar abonos orgánicos con una relación C/N menor de 20, por debajo de la cual se estima una mayor velocidad y magnitud de descomposición de la MO, ya que si es mayor a 25, el proceso de descomposición será lento y podrá inducir inmovilización de N por parte de los microorganismos (Barbarika y Sikora, 1985; Feral *et al.*, 2003; Corbitt, 2003; Cerrato *et al.*, 2007).

Figueroa *et al.* (2008), en su estudio con diferentes abonos orgánicos utilizados o con potencial de

uso en hortalizas para la Sabana de Bogotá, encontraron que a mayor contenido de N inicial mayor tasa de mineralización, y que, en las condiciones de la incubación a 32°C y a capacidad de campo, a las tres semanas se había mineralizado más del 50% de N en los materiales estudiados. Lo anterior indica que si se mantiene una buena condición de humedad y las temperaturas no son inferiores a 15°C, es posible esperar que los abonos orgánicos altos en N, bajos en lignina y con una relación C/N adecuada, se mineralicen durante un ciclo de cultivo. Por tanto, el porcentaje de N de un abono orgánico puede utilizarse como base para calcular las dosis por utilizar, ya sea como complemento o sustituto de la fertilización de síntesis mineral. Cabe anotar que lo anterior no puede generalizarse para todas las condiciones y tipos de suelos, y que es necesario enfatizar en que la tasa de mineralización va a depender de las características del material orgánico, del suelo, del ambiente y de la interacción biológica tanto con las raíces como con los organismos presentes en el suelo.

En algunos casos es útil analizar la fracción soluble presente en un material orgánico, con el objetivo de determinar la cantidad presente de nutrimentos mineralizados; en la tabla 11 se presenta un ejemplo de este tipo de determinaciones, analizando el contenido soluble de N como N-NO₃ y N-NH₄, P, K y Ca en una extracción agua: muestra con base en volumen de 1,5:1, pero expresado en base seca, según la densidad aparente y el contenido de humedad. Para mayor información, en la tabla 12 se presentan los porcentajes de elementos solubles con relación a los contenidos de elementos totales.

Tabla 11. Contenidos solubles de nutrimentos para algunos abonos orgánicos.

Material orgánico	mg kg ⁻¹ en base seca					
	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Min	P	K	Ca
Compost de varios orígenes	79,41	347,06	426,47	372,06	4102,94	486,76
Porquinaza	1.200,47	30,94	1231,41	454,69	937,50	23,44
Residuo de cervecería	2.955,00	76,15	3031,15	1119,23	2307,69	57,69

N-Min = Nitrogeno mineral = N-NH₄ + N-NO₃
Fuente: Adaptado de Medina (2001)



El elemento que más se encuentra soluble es el K; en los tres materiales analizados estuvo por encima del 20% del K total contenido en el abono orgánico (tablas 11 y 12). Para N, P y Ca la proporción del elemento que se encuentra soluble es baja (menor del 10% del elemento total) y es bastante variable. Por lo anterior, se considera que los abonos orgánicos, en general, aportan inicialmente una alta concentración de K en forma soluble, y que se debe tener en cuenta este efecto para una adecuada dosificación del abono orgánico por aplicar, especialmente si se requieren dosis altas.

Tabla 12. Contenido de nutrimento soluble con respecto al contenido de elemento total para tres tipos de abonos orgánicos.

Material orgánico	(% en base seca)			
	N	P	K	Ca
Compost de varios orígenes	1,85	6,41	20,83	1,71
Porquinaza	6,28	9,28	26,04	0,38
Residuo de cervecería	3,16	4,15	51,28	0,41

Fuente: Adaptado de Medina (2001)

Criterios y modelos para calcular la cantidad de abono orgánico por aplicar

En agricultura, como se comentó anteriormente, los diferentes residuos orgánicos, frescos y procesados, se pueden utilizar para varias labores: como sustrato de enraizamiento, como cobertura o acolchado o como un insumo adicional del proceso productivo. En esta sección se discutirán algunos criterios para calcular las dosis de abono o MO cuando el objetivo de su aplicación es mantener o aumentar el nivel de MO del suelo o cuando se vaya a utilizar como suplemento o complemento de N en la fertilización, tal y como ha sido evaluado por Monsalve *et al.* (2008) para el caso del tomate.

Mantenimiento o mejoramiento de los niveles de MO del suelo

Este es un criterio de conservación y sostenibilidad, con el cual se busca mantener o incluso mejorar el nivel de MO original del suelo

mediante la aplicación de residuos orgánicos. En muchas fincas se desconoce el nivel de MO original del suelo; una recomendación práctica para conocerlo consiste en tomar muestras de suelos de áreas vecinas con poca intervención humana, como bosques, sabanas no alteradas o simplemente áreas en barbecho, y determinar el contenido de MO, comparándolo con el actual de la finca. En caso de que el suelo de la finca muestre niveles inferiores al suelo «natural», o con mínima intervención, se recomienda aplicar periódicamente MO; en este caso los cálculos se basarán en las siguientes ecuaciones:

$$MO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ((MO_O * 10000 - MO_S * 10000) * Dap * Pe) / 100$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = MO_A / (\%MO_{FO} / 100)$$

Donde:

MO_A = Materia orgánica por aplicar

MO_O = Contenido de materia orgánica original del suelo (%)

MO_S = Contenido de materia orgánica actual del suelo (%)

Dap = Masa específica (densidad) aparente del suelo ($g\text{ cm}^{-3}$)

Pe = Profundidad efectiva o profundidad de incorporación (m)

FO_A = Fertilizante orgánico por aplicar

MO_{FO} = Contenido de materia orgánica en el fertilizante orgánico por utilizar (%)

En la tabla 13 se presentan las variables de un ejemplo para el cálculo de la dosis o cantidad de abono orgánico por aplicar en un suelo dado.

Tomando los datos del ejemplo indicados en la tabla 13 los cálculos son:

$$MO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ([2 * 10000 - 1,76 * 10.000] * 1 * 0,2) / 100$$

$$MO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 4,8$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 4,8 / (46,69 / 100)$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 10,28$$

Tabla 13. Variables para un ejemplo de cálculo de cantidad de abono orgánico por aplicar según el criterio de mantenimiento o aumento del nivel de MO en el suelo.

Variables	Valores	Comentarios
MO ₀	2,00%	Tomada del promedio para suelos de secano semiárido
MO _s	1,76%	Tomada de un análisis de suelos de ejemplo
Dap	1 g cm ⁻³	Valor que normalmente se asume para calcular el peso de una hectárea, que equivale a 1 mg m ⁻³
Pe	0,20 m	Valor que normalmente se asume para calcular el peso de una hectárea
MO _{FO}	46,69%	Tomada de la tabla 5, para el «Compost de varios orígenes»

Teóricamente, si en estas condiciones se aplicaran 10,28 t ha⁻¹ del compost del ejemplo y se incorporan al suelo a 0,2 m de profundidad, se restituiría el nivel de MO del suelo, que para el caso del ejemplo se estableció en 2%. En muchos casos, este método reporta niveles bastante altos de MO por aplicar, que no siempre son viables desde el punto de vista económico, pero que dan una idea del requerimiento de abono orgánico que se debería aplicar.

Complemento o suplemento del N para una cosecha

En este caso también se pueden aplicar ecuaciones sencillas, pero que no son precisas debido a que usualmente no se cuenta con toda la información requerida. Medina y Cuellar (2004) proponen la ecuación que se indica a continuación para la fertilización de hortalizas de clima frío:

$$N_A \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (N_O + N_E) - N_D \text{ (expresados en kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (N_A / (\%N_{FO} / 100)) * (100 - \%H_{FO} / 100) / 1000$$

Donde:

$$N_A = N \text{ por aplicar (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$N_O = \text{Nivel de nitrógeno óptimo en el suelo (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$N_E = \text{Nitrógeno extraído por un cultivo dado, que a su vez depende del rendimiento esperado (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$N_D = \text{Nitrógeno disponible, que es el que reporta el análisis de suelos (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$FO_A = \text{Fertilizante orgánico a aplicar (kg ha}^{-1}\text{)}$$

$$N_{FO} = \text{Contenido de nitrógeno (\% base seca) en el fertilizante orgánico por utilizar}$$

$$H_{FO} = \text{Contenido de humedad (\%) en el fertilizante orgánico por utilizar}$$

Como se puede observar, se requiere igualmente de información que puede ser suministrada por el laboratorio de análisis, regionalmente o por resultados de investigación. En la tabla 14 se reportan los niveles que se consideran óptimos en el suelo para el cultivo del tomate; en la tabla 15, la absorción de elementos para algunas hortalizas comunes, y en la tabla 16, los parámetros que se necesitan para calcular un ejemplo.

Tomando los datos del ejemplo indicados en la tabla 13 los cálculos son:

$$N_A \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (250 + 336) - 91,8$$

$$N_A \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 494,2$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (494,2 / (2,3/100)) * (100 - 49/100) / 1000$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (494,2 / (2,3)) * (0,51) / 1000$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (494,2 / 0,01173) / 1000$$

$$FO_A \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = 42,13$$

Como se puede observar en el ejemplo, este modelo de cálculo da un requerimiento bastante alto de abono orgánico, incluso para cultivos con menores requerimientos que el tomate.

Si el cultivo fuera brócoli, con un rendimiento alto de 20 t ha⁻¹ y aplicando el mismo



procedimiento (mismo nivel óptimo y mismo resultado del análisis de suelos), se requerirían 27,55 t ha⁻¹ de compost, que sigue siendo una dosis alta y mayor que la calculada con el método de mantenimiento o aumento de la MO.

Una forma más sencilla para calcular la dosis de N es la descrita por Adams (1986):

$$N_A \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (N_E/\bar{O}) - N_D$$

pH, CE y elementos mayores			Na, S, Al y elementos menores		
Elemento	Unidad	Nivel óptimo	Elemento	Unidad	Nivel óptimo
pH	Unidades	6,2 – 6,8	Na	% saturación	< 1
CE	ds m ⁻¹	< 2,95	S	mg kg ⁻¹	25
N total	%	0,12 – 0,30	Fe	mg kg ⁻¹	20
N mineral	mg kg ⁻¹	125	Mn	mg kg ⁻¹	15
P ₂ O ₅	mg kg ⁻¹	550	Cu	mg kg ⁻¹	4,5
K ₂ O	% saturación	7	Zn	mg kg ⁻¹	1,5
Ca	% saturación	50	B	mg kg ⁻¹	0,45
Mg	% saturación	20	Al	meq/100 g	< 1

Fuente: CIAA (2009)

Cultivo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Brócoli ¹	3,70	0,46	4,00	2,22	0,28	—
Espárrago ²	19,30	6,64	21,48	14,00	1,49	—
Pepino ²	4,00	1,60	6,36	2,80	1,83	—
Pimentón ²	3,70	1,15	4,56	1,68	1,16	—
Tomate ²	2,80	0,92	5,40	3,92	1,16	0,90

Fuente: ¹YARA (2008); ²Ciampitti y García (2007)

Variables	Valores	Comentarios
N _o	250 kg ha ⁻¹	Tomado del valor de N mineral de la tabla, pero expresado en kg ha ⁻¹ para una densidad aparente de 1 y una profundidad efectiva de 0,2 m, que da una constante = 2, por lo que 125 ppm * 2 = 250 kg ha ⁻¹
Rendimiento esperado para un cultivo en invernadero	120 t ha ⁻¹	Rendimiento promedio esperado para un cultivo bajo cubierta.
N _E	336 kg ha ⁻¹	Se calcula multiplicando el N de la tabla 15 por el rendimiento esperado (2,80 kg t ⁻¹ * 120 t ha ⁻¹)
N _D	91,8 kg ha ⁻¹	Tomada de un análisis de suelos de ejemplo pero expresado en kgha ⁻¹ para una densidad aparente de 1 y una profundidad efectiva de 0,2 m que da una constante = 2, por lo que 45,9 mg kg ⁻¹ del análisis de suelos * 2 = 91,8 kg ha ⁻¹
N _{F0}	2,3%	Tomada de la tabla 7, para el «Compost de varios orígenes»
H _{F0}	49%	Tomada de la tabla 6, para el «Compost de varios orígenes»

Donde:

N_A = N por aplicar

N_E = Nitrógeno extraído por un cultivo dado, que a su vez depende del rendimiento esperado

N_D = Nitrógeno disponible, que es el que reporta el análisis de suelos

\tilde{O} = Eficiencia de la fertilización nitrogenada (que usualmente se calcula como un porcentaje de pérdidas asociadas a denitrificación, emisiones de N_2O y lixiviación de NO_3)

Utilizando los datos del ejemplo de la tabla 16 y asumiendo una eficiencia de la fertilización nitrogenada a partir del compost de 80% (20% de pérdidas), los cálculos para tomate darían:

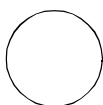
$$N_A \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = (336/0,8) - 91,8$$

$$N_A = 420$$

Sin embargo, aunque la dosis de N por aplicar da un 15% más baja, igualmente las necesidades de

compost o cualquier otra MO serán altas si se pretende cubrir la dosis completa en el primer ciclo. Se destaca que en este método la eficiencia de la fertilización que se asume o se estima tiene una gran influencia en la dosis que finalmente se va a aplicar.

Por lo anotado anteriormente y evidenciado en los cálculos, es difícil suplir la necesidad completa de N de un cultivo a partir de un abono orgánico. No obstante, en cultivos convencionales se puede reemplazar parte de los requerimientos de fertilizantes nitrogenados con un abono orgánico de alta calidad (que cumpla los requisitos mencionados y preferiblemente contenga más de 2% de N en base seca). En el caso de los cultivos orgánicos será necesario partir inicialmente con rendimientos bajos para ir recuperando el nivel de MO requerido en el suelo, mejorando sus características biológicas, de manera que las dosis se vayan ajustando. También es importante valorar el aporte de los residuos que se incorporan durante el proceso de cultivo, como son los residuos de malezas y los residuos de cosecha; estos aportan nutrientes, y se pueden descontar de la dosis final de MO por aplicar.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, C.R. y M.P. Early. 2004. Principles of horticulture. Forth edition. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. pp. 281–334. En: Atherton J.G. y J. Rudich (eds.). The tomato crop: A scientific basis for improvement. Chapman and Hall, London.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editores, México DF.
- Barbarika, A. y L.J. Sikora. 1985. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49, 1403-1406.
- Benítez, C.; M. Tejada y J.L. González. 1998. Influencia de condiciones edafoclimáticas en la mineralización de N-uréico en suelos mediterráneos. pp. 243. En: XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier, Francia.
- Bentrup, F.; J. Küster; H. Kuhlmann y J. Lammel. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. Eur. J. Agron. 20, 247-264.
- Brown, L.V. 2002. Applied principles of horticultural science. Butterworth Heinemann, Oxford, UK.



- Cegarra, J.; A. Roig; A.F. Navarro; M.P. Bernal; M. Abad; M.D. Climent y P. Aragón. 1993. Características, compostaje y uso agrícola de residuos sólidos urbanos. pp. 46-55. En: Memorias Jornadas de Recogidas Selectivas en Origen y Reciclaje. Córdoba, España.
- Cerrato, M.E.; H.A. Leblanc y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. *Tierra Tropical* 3(2), 183-197.
- CIAA. 2009. Información de Laboratorio de Suelos. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Chía, Colombia.
- Ciampitti, I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras. *Archivo Agronómico* 12, Buenos Aires.
- Corbitt, R.A. 2003. Manual de referencia de ingeniería medioambiental. McGraw-Hill, Madrid. pp. 8.163-8.168.
- Courtney, R.G. y G.J. Mullen. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresour. Technol.* 99, 2913-2918.
- Elwell, D.L.; H.M. Keener; M.C. Wiles; D.C. Borger y L.B. Willett. 2001. Odorous emissions and odor control in composting swine manure/sawdust mixes using continuous and intermittent aeration. *Trans. ASAE* 44(5), 1307-1316.
- Erhart, E. y W. Hartl. 2003. Mulching with compost improves growth of blue spruce in Christmas tree plantations. *Eur. J. Soil Biol.* 39(3), 149-156.
- Feral, C.J. W.; H.E. Epstein; L. Otterw; J.N. Aranibar; H.H. Shugart; S.A. Macko y J. Ramontshoz. 2003. Carbon and nitrogen in the soil-plant system along rainfall and land-use gradients in southern Africa. *J. Arid Environ.* 54(2), 327-343.
- Figuroa, A.; A. Forero; C. Salamanca; O. Monsalve y G. Álvarez. 2008. Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno de siete materiales orgánicos mediante pruebas de incubación. p. 33. En: XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. 29-31 de Octubre de 2008. Villavicencio, Colombia.
- Flores, J. 1988. Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Tesis de maestría. Colegio de Posgrados, Centro de Edafología, Montecillo, México.
- Forero, A.; H. Escobar y A. Medina. 2008. Caracterización de materiales orgánicos con aplicación potencial en la producción de hortalizas de hoja y brásicas en la Sabana de Bogotá. p. 81. En: XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. 29-31 de octubre de 2008. Villavicencio, Colombia.
- Galvis-Spinola, A. y T. Hernández-Mendoza. 2004. Cálculo del nitrógeno potencialmente mineralizable. *INCI* 29(7), 377-383.
- García, I. y C. Dorronsoro. 2001. Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada. En: <http://edafologia.ugr.es/index.htm>; consulta: 12 de octubre de 2009.
- Gay, S.W.; D.R. Schmidt; C.J. Clanton; K.A. Janni; L.D. Jacobson y S. Weisberg. 2003. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Appl. Eng. Agric.* 19 (3), 347-360.
- Gómez, J. 2000. Abonos orgánicos. Impresora Feriva S.A., Cali, Colombia. pp. 49-69.
- González, P.; M. Carballas y M.C. Villar. 1995. Organic nitrogen mineralization in temperate humid-zone soils after two and six weeks of aerobic incubation. *Biol. Fert. Soils* 20, 235-242.
- Grigattia, M.; M.D. Pérez; W.J. Blok; C. Ciavattaa y A. Veeken. 2007. A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization capacity of natural organic matter sources. *Soil Biol. Biochem.* 39, 1493-1503.
- Gros, A. 1981. Abonos. Guía práctica de fertilización. 7a. edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Henao, C.H. 1996. Manejo técnico de los residuos sólidos urbanos. pp. 8-18. En: Memorias Curso Taller Alternativas para Disminuir los Impactos Ambientales en los Sistemas de Producción Agropecuaria: Aspectos Técnicos y Legales. 4 a 6 de diciembre de 1996. Palmira, Colombia.
- Jakobsen, S.T. 1996. Leaching of nutrients from pots with and without applied compost. *Resour. Conserv. Recyc.* 18, 1-11.



- Krapac, I.G.; W.S. Dey; C.A. Smyth y W.R. Roy. 1998. Impact of bacteria, methods, and nutrients on groundwater at two hog confinement facilities. pp. 22-50. En: Proc. National Ground Water Association Animal Feeding Operations and Ground Water: Issues, Impacts, and Solutions: A Conference for the Future. St. Louis, MO.
- Labrador, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. 2a. edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 152-180.
- León, T. y J. Espinoza. 2005. Agricultura ecológica y su normatividad en Colombia: un análisis histórico. pp. 131-162. En: Garrido, S. (ed.). Recomendaciones y estrategias para desarrollar la agricultura ecológica en Iberoamérica. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED, Madrid.
- Mazzarino, M. 2002. Circulación de nutrientes en ecosistemas naturales: Conservación en la vegetación y dinámica en el suelo. En: XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina.
- Medina, L.A. y J. Cuellar. 2004. Fertilización de hortalizas de clima frío y moderado. En: Memorias Seminario Manejo Integral de la Fertilización en Cultivos de Clima Frío. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Tunja, Colombia.
- Medina, L.A. 2001. Criterios para el uso de fertilizantes orgánicos en preparación de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA), Universidad Jorge Tadeo Lozano, Chía, Colombia.
- Medina L.A. 2004. Caracterización de sustratos para el cultivo sin suelo. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA), Universidad Jorge Tadeo Lozano, Chía, Colombia.
- Miyasaka, S.C.; J.R. Hollyer y L.S. Kodani. 2001. Mulch and compost effects on yield and corm rots of taro. *Field Crops Res.* 71, 101-112.
- Monsalve, O.; H. Escobar y L.A. Medina. 2008. Estrategias de fertilización para sistemas de producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero basadas en el uso de materiales orgánicos. Estudio de caso. p. 34. En: XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. 29-31 de octubre de 2008. Villavicencio, Colombia.
- Morse, D. 1995. Environmental considerations of livestock producers. *J. Anim. Sci.* 73, 2733-2740.
- Mullins, G.L. y C.C. Mitchel. 1995. Crops. pp. 1-40. En: Rechcigl, J.E. (ed.). Soil amendments. Impacts on biotic systems. Agriculture and Environment Series, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Nahamo, N.; H.K. Murwira y K.E. Giller. 2004. The relationship between nitrogen mineralization patterns and quality indices of cattle manures from different smallholder farms in Zimbabwe. pp. 299-315. En: Bationo, A.; B. Waswa; J. Kihara y J. Kimetu. (eds.). Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Nedelkoska, T.V. y P.M. Doran. 2000. Characteristics of the heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Eng.* 13(5), 549-561.
- Porta, J.; M. López y C. Roquero. 1994. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- O'Brien, J. 2008. Metales pesados. Boletín nutricional vegetal. Albion Plant Nutrition, Clearfield, UT.
- O'Neill, D.H. y V.R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air round them. *J. Agric. Eng. Res.* 53, 23-50.
- Ouédraogo, E.; A. Mando y N.P. Zombré. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric. Ecosys. Environ.* 84(3), 259-266.
- Plaster, E.J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Prado, O. y J. Rodríguez. 1978. Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. *Ciencia e Investigación Agraria* 5, 29-40.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.



-
- Soto, M. G. 2003. Abonos orgánicos. Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. pp. 20-49. En: Meléndez, G. (ed.). Abonos orgánicos: definiciones y procesos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), San José.
- Stanford, G. y J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 36, 465-472.
- Swift, M.J. y P.L. Woome. 1993. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. pp. 3-18. En: Mulongoy, K. y R. Merokx (eds.). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Wallace, A. 1994. Soil Organic matter must be restored to near original levels. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 25(1), 29-36.
- Yara International S.A. 2008. Brassica plantmaster. En: www.yara.com; consulta: mayo de 2009.