

## LOMBRICOMPOSTA Y COMPOSTA DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO LECHERO COMO FERTILIZANTES Y MEJORADORES DE SUELO

### Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilisers and in soil improvement

MA Olivares-Campos, A Hernández-Rodríguez ✉, C Vences-Contreras, JL Jáquez-Balderrama, D Ojeda-Barrios

(MAOC)(AHR)(CVC)(JLJB)(DOB) Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua V. Carranza y Escorza S/N. Col. Centro. 31000 Chihuahua, Chihuahua, México Apartado Postal 24 aernande@uach.mx

**Artículo recibido:** 24 de octubre de 2008, **aceptado:** 20 de abril de 2012

**RESUMEN.** El estiércol de ganado vacuno no tratado constituye un importante reservorio de contaminantes, al situarse entre las principales fuentes de contaminación de mantos freáticos y del suelo. El objetivo fue evaluar la aplicación de composta y lombricomposta obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno lechero después de un período de almacenamiento, en la asimilación de nutrientes por el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Un segundo objetivo fue cuantificar los cambios en las características fisicoquímicas del suelo para reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar sus características. Se establecieron 6 tratamientos: fertilización con lombricomposta, composta, urea, urea + lombricomposta, urea + composta y el testigo. Se evaluó el contenido de macro y micronutrientes tanto en el tejido foliar de lechuga como en el suelo, en el cual se incluyó la determinación de MO, pH y Da. Para el análisis estadístico se ajustó un modelo lineal. El análisis de varianza se realizó con Proc GLM del SAS versión 9.1 y la comparación de medias mediante la prueba de Dunnett. Los resultados mostraron que el contenido nutricional de N foliar en plantas de lechuga tratadas con composta y lombricomposta, fue similar respecto a la aportación equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico. Se observaron diferencias en el contenido de Ca, Mg, Zn y Mn foliar en las diferentes técnicas de fertilización. Se obtuvieron las mejores condiciones de MO y en la concentración de macronutrientes en los suelos con fertilización a base de lombricomposta y composta.

**Palabras clave:** *Lactuca sativa*, orgánico, inorgánico, equivalente.

**ABSTRACT.** The untreated manure of dairy cattle constitutes an important reservoir of pollutants, as it is among the main sources of pollution of the water table and soils. The objective of this study was to evaluate the use of compost and worm compost obtained from dairy cattle manure after a period of storage, on the assimilation of nutrients by lettuce (*Lactuca sativa* L.). A second objective was to quantify changes in the physicochemical characteristics of the soil in order to reduce the use of chemical fertilisers and improve soil characteristics. Six treatments were established: fertilisation with worm compost, compost, urea, urea + worm compost, urea + compost, and the control. The content of macro and micronutrients was assessed both in leaf tissue of lettuce and in the soil, including the analysis of MO, pH and Da. A linear model was adjusted for the statistical analyses. An analysis of variance was carried out using Proc GLM, SAS version 9.1, and the means were compared using the Dunnett test. Results showed that the nutritional content of leaf N in lettuce plants treated with compost and worm compost was similar to the equivalent contribution of inorganic nitrogen fertiliser. Differences were observed in the leaf content of Ca, Mg, Zn and Mn with the different fertilisation techniques. The best conditions of MO and of macronutrient concentrations were obtained in the soils that were fertilised with worm compost and compost.

**Key words:** *Lactuca sativa*, organic, inorganic, equivalent.

## INTRODUCCIÓN

Los estiércoles manejados en forma inadecua-

da pueden causar problemas ambientales, y en México aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento. La ganadería

de bovinos lecheros es una de las principales actividades productivas del estado de Chihuahua, México, que genera alrededor de 312,609 t sobre materia seca (SMS) al año de estiércol (NRAES 1999; Jurado 2004), constituyéndose en un importante reservorio de contaminantes de mantos freáticos y del suelo al ocasionar un aumento en la concentración de nitratos (N-NO<sub>3</sub>). Esta realidad implica un enorme daño al ambiente, o desde otra perspectiva, una potencial industria novedosa y de gran aplicación, si se toma en cuenta que contienen una gran proporción de nutrientes ingeridos por el animal; los cuales, pueden representar una fuente potencial de nutrientes disponibles para las plantas cuando son reciclados mediante el compostaje (Kowalchuk *et al.* 1999; Mondini *et al.* 2003).

El compostaje es una transformación microbiana de los residuos orgánicos en condiciones controladas. Este proceso se identifica como lombricompostaje cuando participan diversas especies de lombrices. Existe la creencia de que ambos procesos biotecnológicos son excelentes para elaborar abonos orgánicos, pero que, en el caso del lombricompostaje, el material obtenido está enriquecido química y biológicamente (Ferrera & Alarcón 2001; Nogales *et al.* 2005). Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos (Rodríguez *et al.* 2009) además, los abonos orgánicos mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación (Nieto *et al.* 2002). Sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varía según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (FAO 1991; Abawi & Thurston 1994).

Además, muchas sustancias encontradas en compostas inmaduras pueden producir una reducción en el rango de crecimiento de las plantas, el cual depende de la fuente del material empleado y del proceso de compostaje (Wu & Ma 2001; Wolowski 2003).

El objetivo de este estudio fue comparar el contenido nutricional de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tratadas con composta y lombricom-

posta, obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno lechero después de un período de almacenamiento, como fertilizantes orgánicos respecto a la aportación equivalente de nitrógeno con un fertilizante inorgánico, así como también, el efecto en características físico-químicas del suelo. Los resultados permitirán coadyuvar a impulsar el uso de estiércol vacuno en la elaboración de abonos orgánicos para reducir el uso de los fertilizantes químicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

El estudio se estableció el 3 de marzo de 2008 en la ciudad de Chihuahua, Chih., en un invernadero tipo capilla con dimensiones de 16 x 45 m con estructura de fierro galvanizado y cubierta de fibra de vidrio. Se utilizaron los abonos orgánicos obtenidos a partir de estiércol vacuno lechero y aserrín, bajo dos sistemas de descomposición; compostaje y lombricompostaje. El estiércol vacuno crudo se obtuvo de una unidad productiva, correspondiendo a ganado vacuno Holstein de 2 a 5 años de edad, alimentado a base de maíz rolado, salvado de trigo, harinolina, pasta de soya, alfalfa y silo de maíz, confinado en un área de 50 x 40 m<sup>2</sup>. El estiércol vacuno se mezcló con aserrín de pino de partícula fina (< de 2 mm) como fuente de carbono, obtenido en una empresa comercializadora local, para la elaboración de la mezcla inicial de compostaje con una relación C/N de 25/1, el cual se encuentra dentro del rango sugerido como óptimo para el inicio de los procesos de compostaje y lombricompostaje (Labrador 2001; Hansen *et al.* 2001). La cantidad requerida de cada residuo se estimó utilizando el programa "Moisture and C/N Ratio Calculation", desarrollado por Richard (1995) (Tabla 1). Para ello se cuantificó los residuos orgánicos, el N-total por el método Micro-Kjeldahl (APHA 1992), C-orgánico usando el método propuesto por ASTM (2000) y humedad por el método de secado. La mezcla inicial se depositó en contenedores de plástico de 58 L de capacidad con dimensiones 36 x 58 x 28 cm (Nogales *et al.* 2005); la mitad de los contenedores se destinaron al proceso de compostaje y la otra a lombricompostaje. En el sistema de compostaje, la mezcla se

removió cada semana para aumentar la aireación y reducir la formación de zonas anaerobias. En el caso del lombricompostaje una vez realizadas las mezclas éstas se sometieron a un proceso de precompostaje durante 15 d. Posteriormente se hizo la siembra de la lombriz roja californiana, consistiendo en una población de 580 lombrices adultas por unidad experimental, es decir 10 lombrices  $L^{-1}$  (Hernández *et al.* 2002). Los riegos se realizaron a criterio con el objetivo de mantener la humedad del sustrato en un 50-60 % en la composta y de 70-80 % en el tratamiento de lombricompostaje (NRAES 1999; Soto y Muñoz 2002). La composta y lombricomposta empleadas en este estudio contaban con 25 semanas de madurez y 39 semanas de almacenamiento presentando las características que se muestran en la Tabla 2.

### Establecimiento del Estudio

Se emplearon plántulas de lechuga variedad Grandes Lagos, de 10 cm de altura. Como soporte para el crecimiento de las plantas se utilizó un suelo procedente de un banco cercano a la localidad, con las características descritas en la Tabla 3. En base a la clasificación de los suelos cultivados de zonas desérticas en función de su contenido de MO reportado por Castellanos *et al.* (2000) se estimó la cantidad necesaria a ser incorporada para llevar el suelo de 0.74 % de MO clasificado como bajo a un nivel alto de este mejorador (1.5 %), con el uso de la densidad aparente del suelo ( $1.38 \text{ gr cm}^{-3}$ ) y considerando una profundidad de la capa arable de 30 cm, lo que representó una aportación de  $31 \text{ t ha}^{-1}$  de la fuente orgánica (Ortiz & Ortiz 1990). A partir de este dato, se estimó la dosis de 26.2 g SMS por unidad experimental para ambas fuentes orgánicas con la finalidad de que el aporte de N orgánico fuera similar, y qué de acuerdo con el contenido de N de 2.24 % y 2.2 % en lombricomposta y composta respectivamente, correspondió a una media de 0.58 g de N por maceta. Los tratamientos con fertilización inorgánica consistieron en una dosis de 0.032 g de urea (46 % N) por unidad experimental aplicada una semana después del trasplante, dosis equivalente al aporte de N orgánico aprovechable, considerando que solo aproximadamente el

2.5 % del N orgánico es aprovechable en el ciclo del cultivo (Ortiz & Ortiz 1990), lo que correspondió a una dosis de  $37.28 \text{ kg de N ha}^{-1}$  del fertilizante inorgánico.

Los tratamientos se establecieron en macetas con 3.5 kg de suelo, quedando de la siguiente manera: T-1 con 26.2 g SMS de lombricomposta; T-2 con 26.2 g SMS de composta; T-3 con 0.032 g de urea; T-4 con 0.032 g de urea y 26.2 g SMS de lombricomposta; T-5 con 0.032 g de urea y 26.2 g SMS de composta, y T-6 testigo. Las evaluaciones se realizaron 8 semanas después del trasplante. El diseño utilizado fue completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis de varianza se realizó con el Proc GLM del SAS versión 9.1, y la comparación de medias mediante la prueba de Dunnett con  $\alpha = 0.05$  (Rubio 2003). Todos los resultados de las variables que se presentan corresponden a la media del análisis por duplicado de cada uno de las muestras foliares y edáficas recolectadas.

### Parámetros Evaluados

El contenido nutricional foliar en lechuga: N-total, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn. En el suelo, la concentración de:  $\text{N-NO}_3$ , P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, MO, así como Densidad aparente (Da) y pH.

### Procedimientos de Laboratorio

El muestreo y el análisis de los abonos orgánicos, muestras foliares y de suelo se efectuaron siguiendo la metodología utilizada en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Regionales del Noroeste (CIRNO - INIFAP) en la Cd. de Obregón Sonora (Uvalle-Bueno 1993). El muestreo de suelo se realizó en cada uno de las macetas que conformaron la unidad experimental, de la cual se tomaron aproximadamente 200 g de muestra. Una vez en el laboratorio las muestras se secaron a la sombra y posteriormente en una estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h. Se procedió al tamizado de muestras en malla 10 y 20 y se reempacaron en bolsas de polietileno, para su posterior análisis. Las muestras foliares se dejaron secar a la sombra y posteriormente en una estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h.

Posteriormente fueron molidas y tamizadas

**Tabla 1.** Cantidad de estiércol vacuno lechero y aserrín para la preparación de la mezcla inicial con una relación C/N de 25/1.

**Table 1.** Quantity of dairy cattle manure and sawdust for the preparation of the initial mixture with a C/N ratio of 25/1.

Residuo orgánico	Humedad (%)	C (%)	N (%)	Cantidad de residuo en la mezcla inicial (kg)
Estiércol vacuno	77.9	10.3	2.1	1.3
Aserrín	11.4	25.8	0.5	1.0

**Tabla 2.** Características nutricionales de la lombricomposta y composta empleadas.

**Table 2.** Nutritional characteristics of the worm compost and compost used.

Característica	Lombricomposta	Composta
C (%)	18.57	14.91
N-total (%)	2.24	2.20
Relación C/N	8.13	7.05
N-NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	532	769.00
P (%)	0.12	0.14
K (%)	0.79	0.22
Ca (%)	1.33	0.95
Mg (%)	1.21	0.84
Na (%)	0.12	0.26
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	357.00	367.00
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	91.00	86.00
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	196.00	213.00
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	38.00	41.00
pH	6.00	7.42

con una malla No. 35 en Molino Willy, Thomas Scientific 800-345-2100, para su análisis nutricional.

### Análisis foliar

El N-total fue cuantificado por el método Kjeldahl (Digestor Novatech; USA y Micro Kjeldahl Labconco rapid distillation Unit, USA) (Jackson 1964); N-NO<sub>3</sub> por el método de Brucina y espectrofotometría (HACH DR 5000-UV-visible) (Uvalle-Bueno 1993), los iones Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn y Zn mediante digestión con 25 ml de mezcla triácida (HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en relación 10:1:0.25) y espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 100); P-total mediante el método del vanadato-molibdato de amonio y análisis mediante espectrofotometría UV-visible, (Nogales et al. 2005).

### Análisis de suelo

El contenido total de materia orgánica fue

medido por el método de la oxidación de dicromato de Walkley-Black y N-NO<sub>3</sub> por el método de Brucina y espectrofotometría (HACH DR 5000-UV-visible) (Uvalle-Bueno 1993); pH en dilución en agua 1:2 (p/v) usando un potenciómetro (340 Corning, USA). La determinación de elementos mayores: K, Ca, Mg y Na, mediante acetato de amonio y su lectura en espectrofotómetro de absorción atómica. La determinación de elementos menores: Cu, Fe, Zn y Mn mediante DTPA y se procedió a su lectura en espectrofotómetro de absorción atómica. Densidad Aparente con el método de la Probeta (Uvalle-Bueno 1993).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el análisis de muestras foliares y de suelos después de 8 semanas mostraron lo siguiente:

**Tabla 3.** Características fisicoquímicas del suelo empleado.  
**Table 3.** Physicochemical characteristics of the soil used.

Característica	Valor	Interpretación
Arena (%)	57.94	Franco arcillo arenoso
Limo (%)	20.82	
Arcilla (%)	21.24	
pH	6.76	Ligeramente ácido
Materia orgánica (%)	0.74	Bajo
CaCO <sub>3</sub> (%)	1.045	Muy bajo
Densidad aparente (g cm <sup>3</sup> <sup>-1</sup> )	1.38	Alta
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	1.575	Ligeramente salino

**Tabla 4.** Contenido nutricional foliar en lechuga.  
**Table 4.** Nutrient content in lettuce leaves.

Tratamiento	N	P	K	Ca %	Mg	Na	Cu	Fe	Zn mg kg <sup>-1</sup>	Mn
T-1	1.2	0.26	2.53	0.71*	0.77*	1.89	8.7	144.2	21.5*	56.5*
T-2	1.25	0.22	2.31	0.63	0.66	2.08	8.3	156.2	19.5*	58.0*
T-3	1.86	0.19	1.85	0.7	0.7	2.44	8.8	158.2	35.9	67
T-4	1.38	0.2	2.1	0.65	0.77*	1.74	8.9	191.0	30.3	70.8
T-5	1.44	0.23	2.35	0.65	0.7	1.99	6.9	165.7	23.8*	59.8*
T-6	1.34	0.25	1.4	0.60	0.51	1.85	6.6	153.2	40.1	74.5
C.V. (%)	24.14	27.87	26.42	8.44	27.79	24.69	16.1	16.8	16.69	8.09

Medias con (\*) son significativamente diferentes (Dunnnett, 0.05). C.V.: Coeficiente de variación.

### Contenido nutricional foliar de macronutrientes en lechuga

El tratamiento T-1 fertilizado con lombricomposta fue diferente al testigo ( $Pr > F = 0.0973$ ) con una concentración de Ca de 0.71%. Otra diferencia se encontró en el contenido de Mg de los tratamientos T-1 y T-4 correspondiendo a la fertilización con lombricomposta y urea más lombricomposta con concentraciones de 0.77% ( $Pr > F = 0.4104$ ) en ambos casos, siendo más alta que el testigo. El resto de macronutrientes evaluados no fueron diferentes al testigo en ninguno de los tratamientos.

### Contenido nutricional foliar de micronutrientes en lechuga

Los tratamientos T-1, T-2 y T-5, presentaron concentraciones de Zn de 21.5, 19.5 y 23.8 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente las cuales fueron más bajas ( $Pr > F = 0.0010$ ) al testigo que presentó 40.1 mg kg<sup>-1</sup>.

La concentración de Mn en los mismos tratamientos (T-1, T-2 y T-5) con 56.5, 58.0 y 59.8 mg

kg<sup>-1</sup>, fueron diferentes al testigo con 74.5 mg kg<sup>-1</sup> ( $Pr > F = 0.0033$ ). El promedio de la concentración de nutrientes en tejido foliar de lechuga se muestra en la Tabla 4. Con respecto a la concentración de los micronutrientes Cu y Fe, estos no presentaron diferencia significativa con el testigo para los diferentes tratamientos de fertilización.

### Características Fisicoquímicas en Suelo

No se presentaron diferencias significativas en los valores de Da y pH entre los diferentes tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica con respecto al testigo (T-6) (Tabla 5).

Respecto al efecto de la fertilización en el contenido de MO del suelo, los tratamientos T-1, T-2, T-4 y T-5 tuvieron un incremento significativo promedio de 0.42, 0.78, 0.34 y 0.44% ( $Pr > F < 0.0001$ ) respectivamente respecto al control (Tabla 5).

### Contenido nutricional en suelo

La concentración de macro y micronutrientes

**Tabla 5.** Características fisicoquímicas del suelo.  
**Table 5.** Physicochemical characteristics in the soil.

Tratamiento	Da g ml <sup>-1</sup>	MO %	pH
T-1	1.24	1.47*	6.75
T-2	1.23	1.58*	6.81
T-3	1.34	0.97	6.78
T-4	1.23	1.39*	6.68
T-5	1.25	1.49*	6.70
T-6	1.28	0.98	6.70
C.V. (%)	2.39	8.28	0.98

Da: densidad aparente; MO: material orgánica; pH: reacción del suelo. Medias con (\*) son significativamente diferentes (Dunnett, 0.05). C.V.: Coeficiente de variación.

**Tabla 6.** Contenido nutricional en suelo.  
**Table 6.** Nutrient content in soil.

Tratamiento	P	K	Ca	Mg %	Na	NO <sub>3</sub>	Cu	Fe	Zn	Mn
								mg kg <sup>-1</sup>		
T-1	0.54**	0.12**	0.48	0.42	0.10**	463.40	19.00	92.00**	117.00	141.00
T-2	0.72**	0.12**	0.45	0.52**	0.09**	271.70	19.00	93.00**	129.00	169.00
T-3	0.26	0.09	0.46	0.38	0.08	282.30	19.00	104.00	130.00	116.00
T-4	0.39	0.07	0.46	0.40	0.05	284.50	21.00	99.00	129.00	180.00*
T-5	0.51	0.08	0.45	0.47	0.07	436.20	21.00	96.00	128.00	173.00*
T-6	0.32	0.09	0.46	0.39	0.06	320.80	21.00	103.00	110.00	140.00
C.V.(%)	21.25	11.13	8.50	9.36	13.51	19.29	5.03	4.81	9.88	10.50

Medias con (\*) y (\*\*) son significativamente diferentes (Dunnett, 0.05 y 0.01 respectivamente. C.V.: Coeficiente de variación.

en suelo se muestra en la Tabla 6. Los suelos fertilizados con lombricomposta y composta (T-1 y T-2) presentaron valores diferentes al testigo con contenidos más altos ( $Pr > F < 0.0001$ ) en P con 0.54 y 0.72 % respectivamente, K con 0.12 % ( $Pr > F < 0.0001$ ) en ambos tratamientos orgánicos y en Na con 0.10 y 0.09 % ( $Pr > F < 0.0001$ ) respectivamente. En el caso del Mg el tratamiento T-2 fertilizado con composta presentó diferencia con un valor más alto respecto al testigo con 0.52 % ( $Pr > F = 0.0008$ ).

Respecto a los micronutrientes, presentaron contenidos de Fe más bajos diferentes al testigo ( $Pr > F = 0.00069$ ) los tratamientos T-1 y T-2 con 92 y 93 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente y más altos en Mn con respecto al testigo en los tratamientos T-4 y T-5 con 180 y 173 mg kg<sup>-1</sup> ( $Pr > F = 0.0001$ ) respectivamente. No se presentaron valores diferentes al testigo para NO<sub>3</sub>, Ca, Cu y Zn.

## DISCUSIÓN

### Contenido nutricional foliar de macronutrientes en lechuga

La concentración de los macronutrientes para los diferentes tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica oscilaron para N entre 1.20 a 1.86 %, P entre 0.19 a 0.26 %, K de 1.40 a 2.53 %, Ca de 0.60 a 0.71 %, Mg 0.51 a 0.77 % y Na de 1.74 a 2.40 %. Ningún tratamiento alcanzó los nivel de suficiencia foliar para estos elementos según el Rango de Suficiencia de Nutrientes para cultivos de hoja propuesto por A&L Agricultural Laboratories (1990), el cual establece una concentración de 3.5 a 6.0 % de N, 0.4 a 1.0 % de P, 3.5 a 8.0 % de K, 1.25 a 2.5 de Ca. El contenido de Mg estuvo dentro del rango normal (0.3 a 1.0 %). Sn embargo, en el caso del Na, los seis tratamientos presentaron concentraciones superiores al rango establecido para cultivos de



hoja, el cual se ubica de 0.01 a 0.20 %. Cabe hacer mención que los niveles de suficiencia utilizados, no fueron los específicos para el cultivo de lechuga, como tampoco para la época, ni para las condiciones de trabajo en que se realizó este estudio ya que no se cuenta con criterios regionales.

Los altos valores en los Coeficientes de Variación (C.V.) de algunas de las variables estudiadas pueden deberse a los cambios de temperatura dentro del invernadero al carecer de equipamiento adecuado para el control del clima, lo que provoca cambios diarios y estacionales de temperatura característicos de la región, los que impactan en el crecimiento del cultivo. Además, se ha encontrado una alta variación en la determinación rutinaria de algunos nutrientes, principalmente,  $\text{NO}_3$ , P, K y Ca.

El nivel más alto de N en el contenido nutricional foliar de lechuga mostró la mayor absorción de este nutriente con la fuente inorgánica a base de urea que se caracteriza por ser una fuente rica en N, con alta solubilidad de este nutriente (Capulín *et al.* 2001).

Según Fricke & Vogtmann (1993), para prevenir la competencia de N orgánico por las plantas y los microorganismos del suelo, las compostas deben presentar una relación C/N de 18 o menos, con propósitos de producción de plantas. En este estudio la lombricomposta y composta empleadas, presentaron una relación C/N de 8.13/1 y 7.05/1 respectivamente, encontrándose en el rango sugerido como óptimo para promover la mineralización de N, sin embargo los resultados de este estudio permiten ubicar a la composta y lombricomposta empleadas como fertilizantes nitrogenados de lenta liberación porque mineralizaron solamente una fracción del contenido total de N orgánico incorporado, el cual en este caso, parece haber sido de alrededor del 2.5 % para el ciclo de cultivo como ha sido reportado por Castellanos *et al.* (2000) y Sikora & Szmidt (2005), valor que fue considerado en el planteamiento de este trabajo para el cálculo de la dosis equivalente de urea utilizada en el T-3.

Sin embargo, Eghball (2000) reportó tasas de mineralización de N en composta de bovino de 11 % y de acuerdo con Rodríguez *et al.* (2009), ésta se incrementa con la temperatura, factor que pudo haber

influido en los resultados obtenidos en este estudio al carecer de control adecuado de temperatura.

Según los resultados de este estudio la incorporación de las fuentes orgánicas fueron capaces de producir el mismo efecto que el equivalente de la fuente inorgánica y que la incorporación de abonos orgánicos junto con la adición de N inorgánico no presentaron un efecto inferior a las aplicaciones de fertilizante orgánico o inorgánico por separado. Lo anterior coincide con lo reportado con López *et al.* (2001) quienes encontraron que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización nitrogenada inorgánica paulatinamente.

Además, se ha reportado que aplicaciones relativamente altas de residuos composteados deben ser añadidos para suplir las necesidades de N del cultivo y para producir rendimientos similares a aquellos encontrados con dosis recomendadas del fertilizante comercial (Wolkowski 2003) y que la incorporación de compostas tiene un efecto positivo en los cultivos solo cuando se realizan aplicaciones adicionales de N (Bar-Tal *et al.* 2004) o cuando se realizan aplicaciones en un lapso mayor de tiempo.

Fricke & Vogtmann (1993), indicaron que solamente del 20 al 40 % del P total contenido en compostas está en forma disponible para las plantas. En base a lo anterior y de acuerdo a los bajos contenidos de P encontrados en la lombricomposta y composta elaborados a partir de estiércol vacuno lechero utilizados en este estudio, estos no representaron una fuente importante de P asimilable para el cultivo. También indicaron que más del 85 % del K total contenido en las compostas está en formas disponibles para la planta. Esto enfatiza la importancia de la composta como una fuente potencial de K para los cultivos.

Además, en la elaboración de la composta deben incluirse ingredientes ricos en fósforo y potasio para alcanzar relaciones entre estos elementos y el carbono orgánico, que promueven tasas de mineralización óptima de la materia orgánica al incorporarse a los suelos (León *et al.* 2006).

### Contenido nutricional foliar de micronutrientes en lechuga

Los niveles estuvieron dentro del Rango de

Suficiencia de Nutrientes para cultivos de hoja propuesto por A&L Agricultural Laboratories (1990), los cuales se indican de 6 a 20 mg kg<sup>-1</sup> para Cu y de 60 a 200 mg kg<sup>-1</sup> para Fe. En el caso del Mn los seis tratamientos rebasaron los niveles normales para este elemento los cuales se encuentran entre 25 a 40 mg kg<sup>-1</sup>. La disponibilidad de Mn depende además del aporte orgánico de la actividad microbiana y del pH del suelo, incrementándose conforme baja el pH del suelo. La toxicidad por Mn es poco común en los cultivos ya que el ión Mn<sup>2+</sup> se lava fácilmente del suelo, además de que ocurren generalmente en suelos con pH menor a 5.4 (Castellanos *et al.* 2000).

Respecto al contenido de Zn foliar, se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El testigo (T-6) con una media de 39 mg kg<sup>-1</sup>, el tratamiento con fertilización a base de urea (T-3) con una media de 35.9 mg kg<sup>-1</sup> y el T4 con (30.3%) presentaron los niveles más altos ubicándose dentro del rango de suficiencia de nutrientes para cultivos de hoja propuesto por A&L Agricultural Laboratories (1990), el cual se indica de 30 a 50 mg kg<sup>-1</sup>. Por otro lado las medias más bajas correspondieron a los tratamientos con fertilización a base de lombricomposta (T-1), composta (T-2) y composta + urea (T-5), con medias de 21.5, 19.5 y 23.8 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente.

En este estudio el uso de lombricomposta y composta elaboradas a partir de estiércol vacuno lechero no mostraron un mejor aporte de micronutrientes para el cultivo de lechuga en relación con el testigo y la fertilización química a base de urea. Sin embargo, se debe resaltar que la composta puede mejorar una gran cantidad de características del suelo, permitiendo mejorar los suelos agrícolas, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrientes, capacidad de retención de agua y pH alto (Nieto *et al.* 2002). Además, según estos mismos autores, el tiempo mínimo necesario para que se muestren los efectos de la aplicación de composta es de 8 meses.

### Características Físicoquímicas en Suelo

La fertilización a base de abonos orgánicos

(T-1 y T-2) y combinación de abonos orgánicos con urea (T-4 y T-5) presentaron los valores más bajos de Da con medias que oscilaron entre 1.23 y 1.25 g ml<sup>-1</sup> mientras que el tratamiento a base de fertilización química (T-3) y el testigo presentaron los valores más altos con 1.28 y 1.34 g ml<sup>-1</sup> respectivamente, lo que indica mayor compactación y una disminución de la porosidad del suelo (Pérez 2004).

En el caso del contenido de MO en el suelo, los tratamientos con las medias más altas correspondieron a aquellos que incluyeron composta y lombricomposta con o sin urea (T-2, T-5, T-1 y T-4), mientras que los valores más bajos correspondieron a los tratamientos químicos y al testigo (T-3 y T-6) resultados que concuerdan con lo reportado por varios autores en que el efecto de la incorporación de composta y lombricomposta impacta directamente en el contenido de MO de los suelos manifestándose en una menor densidad aparente y, por ende en una alta fertilidad natural (Castellanos *et al.* 2000; Porta *et al.* 1999; Castillo *et al.* 2002 y Pérez 2004).

De acuerdo a estos resultados la incorporación de composta y lombricomposta tienen efecto positivo en el suelo en la misma época de aplicación. Sin embargo, estos resultados no coinciden con lo reportado por Bar-Tal *et al.* (2004) quienes reportaron que la incorporación de compostas presenta un incremento en el contenido de MO en los suelos tratados con composta con el tiempo.

La concentración de macro y micronutrientes en suelo se muestra en la Tabla 6. No se presentaron diferencias significativas en la concentración de NO<sub>3</sub> para los diferentes tratamientos de fertilización. Con respecto al contenido de P, la fertilización orgánica a base de composta superó al resto de los tratamientos presentando las concentraciones más bajas los tratamientos T-3, T-4 y el testigo (T-6). Para las concentraciones de K, Mg y Na los tratamientos orgánicos (T-1 y T-2) superaron a los tratamientos con fertilización química (T-3), fertilización combinada orgánica + urea (T-4 y T-5) y al testigo. La utilización de abonos orgánicos y mejoradores del suelo es debida a su contribución de materia orgánica y nutrientes, principalmente N y P (Fuentes *et al.* 2006), ya que la mayoría del N que se encuentra en los suelos (98%), se asocia con el material



orgánico (Castellanos *et al.* 2000) y del 33 al 67 % del P total (Ortiz y Ortiz 1990). Para Melgarejo *et al.* (1997) la disponibilidad de los nutrientes en los abonos orgánicos no depende de su contenido total en el material, sino de la dinámica del proceso; así algunos elementos pueden llegar a estar más disponibles por efecto del pH, de la humedad y de la aireación; o en los compostajes sin lombrices, por la temperatura alcanzada que permite el desarrollo de

organismos especializados (Melgarejo *et al.* 1997).

De acuerdo con el análisis estadístico hubo diferencia significativa entre tratamientos en el contenido de micronutrientes para Fe y Mn, presentando la media más bajas para Fe los tratamiento T-1 y T-2 y para Mn los más altos los T-3 y T-4.

Diferentes dosis de composta y lombricomposta deben ser evaluadas para alcanzar los niveles de suficiencia del cultivo.

## LITERATURA CITADA

- Abawi GS, Thurston HO (1994) Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de coberturas sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. CATIE-CIIFAD. 97-108 p.
- A&L Agricultural Laboratories (1990) Agronomy handbook. Soil and plant analysis. Memphis, Usa 114 p.
- Bar-Tal A, Yermiyahu U, Beraud J, Keinan M, Rosenberg R; Sohar D, Rosen V, Fine P (2004) Nitrogen, phosphorus and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. Journal Environmental Quality 33: 1855-1865.
- Capulín GJ, Núñez ER, Etchevers BJ, Baca GA (2001) Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. Agrociencia 35(3): 287-299.
- Castellanos JZ, Uvalle-Bueno JX, Aguilar-Santelises A (2000) Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Segunda Edición. INIFAP- Gto. Chapingo-Edo de México. 1-6 p.
- Castillo AE, Quarín SH, Iglesias MC (2002) Caracterización química y física de composta de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agricultura Técnica. Instituto de Investigación Agropecuaria 60(1): 74-79.
- Eghball B (2000) Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. Soil Science Society of America Journal 64: 2024-2030.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1991) Manejo del suelo producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín 56:180.
- Ferrera CD, Alarcón A (2001) La agricultura del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum 8: 175-183.
- Fricke K, Vogtmann H (1993) Quality of source separated compost. BioCycle. ProQuest Agriculture Journals 34(10): 64.
- Fuentes B, Bolan N, Naidu R, Mora M (2006) Phosphorus in organic waste-soil systems. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 6(2): 64-83.
- Hernández JA, Mayarez M, Romero E, Ruiz J, Contreras C (2002) Efecto de la altura del cantero sobre el comportamiento de la lombriz Roja (*Eisenia spp.*). Lombricultura y abonos orgánicos. UAEM. México. 83-85 p.
- Hansen B, Alroe HF, Kristense ES (2001) Approaches to assess the environmental impact of organism farming with particular regard to Denmark. Agronomy Ecosystem. Environmental 83: 11-26.
- Jurado J (2004) Encuestas aplicadas a Productores y Procesadoras 2004. J.J. Consultores. Publicado por Fundación Produce.

- Kowalchuk G, Naumenko Z, Derikx P, Felske A, Stephen J, Arkhipchenko EI (1999) Molecular analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the  $\beta$  subdivision of the class Proteobacteria in compost and composted materials. *Journal of Applied and Environmental Microbiology* 65(2): 396-403.
- Labrador MJ (2001) *La Materia Orgánica en los Agroecosistemas*. Grupo Mundi-Prensa. España. 169-171 pp.
- León NJ, Gómez AR, Hernández DS, Álvarez SJ, Palma LJ (2006) Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 22(2): 163-174
- López MJ, Díaz EA, Martínez RE, Valdez CR (2001) Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra latinoamericana* 19(4): 239-299.
- Melgarejo MR, Ballesteros MI, Bendeck M (1997) Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y compost derivados. *Revista Colombiana de Química* 26(2).
- Mondini C, Dell' Abate MT, Leita L, Benedetti A (2003) An integral chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation. *Journal Environmental Quality* 32: 2379-2386.
- Nieto G A, Murillo AB, Troyo DE, Larrinaga MJ, JL García H (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
- Nogales R, Cifuentes C, Benítez E (2005) Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 1234: 659- 673.
- NRAES. (Fiel Guide to On-Farm composting) (1999) Nature Resource, Agriculture and Engineering Service. Cooperative Extensión-152 Riley-Robb Hall. New York. 27-28, 32 p.
- Ortiz VB, Ortiz CA (1990) Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos. 148-150 p.
- Porta CJ, López-Acevedo RM, Roquero de LC (1999) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. México. 183-184, 778-787 p.
- Pérez J (2004) Manejo sostenible de suelos. Facultad de Ingeniería. Universidad de Ciego de Avila, Ciego de Avila. CP 69450. Cuba.
- Richard T (1995) Moisture and carbon/nitrogen ratio calculation. Cornell Waste Management Institute, Department of Agricultural and Biological Engineering, Ithaca, New York, USA.
- Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa VU, Favela CE, Moreno RA, Márquez HC, Ochoa ME, Preciado R (2009) Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Rubio AH (2003) *Estadística Experimental: práctica, útil y sencilla*. México. 240 p.
- Sikora LJ, Szmidt RA (2005) Los compost como fuentes de nitrógeno, aportación a la mineralización y ventajas para la nutrición nitrogenada de las plantas. *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. Editores Científicos. Ediciones Mundi-Prensa. 287-292 p.
- Soto G, Muñoz C (2002) Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 65: 123-125.
- Uvalle-Bueno X (1993) Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Regionales del Noroeste (CIRNO-INIFAP). Obregón, Sonora.
- Wolkowski RP (2003) Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. *Journal Environmental Quality* 32: 1844-1850

Wu L, Ma LQ (2001) Effects of sample storage on biosolids compost stability and maturity evaluation.  
Journal Environmental Quality 30: 222-228.

