

# Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados

Xicoténcatl Arturo López-Clemente\*, Celerino Robles-Pérez\*, Vicente Arturo Velasco-Velasco\*\*, Judith Ruiz-Luna\*\*, José Raymundo Enríquez-del Valle\*\* y Gerardo Rodríguez-Ortiz\*\*

Recepción: 5 de febrero de 2014

Aceptación: 9 de diciembre de 2014

\*Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F.

\*\*Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México.  
Correo electrónico: xicolopez15@hotmail.com;  
croblesp@ipn.mx; vicvel5@hotmail.com;  
judithruizl@hotmail.com; jenriquezdelvalle@yahoo.com;  
geraro65@gmail.com

Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista.

**Resumen.** La producción eficiente de composta requiere un conocimiento de la dinámica y la interacción de sus propiedades y de los materiales utilizados. Por esta razón, se analizaron los principales cambios en tres residuos agrícolas compostados. Los tres sustratos presentaron buena liberación de humedad (34.2%), espacio poroso total mayor a 85%, bajas densidades aparentes ( $0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ) y real ( $1.31 \text{ g cm}^{-3}$ ); incrementos de pH de ácido a neutro. La composta de paja de trigo mostró las mayores concentraciones de N (0.79%), P (3.0%) y K (0.54%), una CE significativamente mayor ( $6.65 \text{ dS m}^{-1}$ ) e índice de germinación superior a 120 en semillas de brócoli.

**Palabras clave:** composta, fitotóxico, residuos orgánicos, tasa de germinación.

## Physical, Chemical and Biological Properties of Three Agricultural Waste Composted

**Abstract.** The efficient production of compost requires an understanding of the dynamics and interaction of its properties and the materials used in the process. This research was done in order to analyze the main changes in three agricultural composted waste. In general, they showed good moisture release (34.2%), total pore space greater than 85%, low apparent densities ( $0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ) and real densities ( $1.31 \text{ g cm}^{-3}$ ) and a pH increase from acid to neutral. Wheat straw compost showed the highest concentrations of N (0.79%), P (3.0%) and K (0.54%), a significantly higher EC ( $6.65 \text{ dS m}^{-1}$ ) and germination rate higher than 120 in broccoli seeds.

**Key words:** compost, phytotoxic, organic waste, germination rate.

## Introducción

El uso de subproductos de origen vegetal y desechos agrícolas se ha incrementado de manera exponencial en las últimas décadas en México. Estos se han depositado en vertederos o incinerado para transformarse en gases de efecto invernadero como metano, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros (Raj y Antil, 2011). La composta es una alternativa para disminuir peso y volumen de desechos orgánicos para la producción de sustratos en la agricultura mediante la biodegradación natural de la materia orgánica. Los microorganismos termófilos, aeróbicos convierten materiales orgánicos en un producto bioestable (Mohee y Mudhoo, 2005). Estos microorganismos deben estar provistos de nutrientes, agua y oxígeno para desarrollarse.

El uso creciente de estiércoles y residuos agroindustriales hace necesario el estudio de sus características físicas, químicas y biológicas, tanto de manera específica como de sus mezclas, ya que pueden diferir en su transformación durante el proceso de compostaje y en su valor agrícola (Benito *et al.*, 2006).

La composta preparada a partir de diferentes residuos orgánicos difiere en su calidad y estabilidad, y su producción final depende de la composición de la materia prima y su variabilidad (Ranalli *et al.*, 2001).

El residuo debe ser concebido ahora como un subproducto, susceptible a un proceso de transformación, el cual debe ser utilizado en la agricultura para obtener ventajas del proceso de compostaje (Benito *et al.*, 2006).

Varios parámetros se han utilizado para evaluar la estabilidad y madurez de las compostas que incluyen la relación

c/N, capacidad de intercambio catiónico, contenido de humus, y evolución del dióxido de carbono (Huang *et al.*, 2001; Wu y Ma, 2002), fitotoxicidad de la composta (Zucconi *et al.*, 1981a), contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, tasa de aireación, estructura, espacio aéreo libre y ciertas propiedades térmicas (Mohee y Mudhoo, 2005).

En este estudio se determinaron características físicas, químicas y se realizaron bioensayos de fitotoxicidad de residuos compostados de paja de trigo, bagazo de caña y cáscara de naranja, debido a que se encuentran en gran disponibilidad en las regiones de Oaxaca, México.

## 1. Materiales y métodos

### 1.1. Área de estudio y elaboración de compostas

El proceso de compostaje se efectuó en el periodo otoño-invierno de 2012 durante 180 días en el Centro de Investigación interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, unidad Oaxaca, México. Este centro se localiza en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, situada a los 17° 01' 35" de latitud norte, 96° 44' 00" de longitud oeste y 1 520 msnm. Se caracteriza por un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, y precipitación pluvial entre 600 y 700 mm (INEGI, 2013).

En la elaboración de las compostas se utilizaron por separado residuos de bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.), cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y paja de trigo (*Triticum vulgare* L.). Este procedimiento, se realizó en un sistema abierto, en camas de mampostería de 1.2 m<sup>3</sup> de volumen (0.4 × 1.0 × 3.0 m), con pendiente de 5%. Las tres camas se cubrieron con una película plástica para disminuir la evaporación del agua y la volatilización del nitrógeno. Cada cama se dividió de manera transversal en tres partes, y cada parte se consideró una repetición. A 2.0 m de altura se colocó una malla de 25 × 25 hilos por pulgada cuadrada, con una sombra de 50%. Posteriormente se trituraron 80 kg de paja de trigo, 80 kg de bagazo de caña y 140 kg de cáscara de naranja en un molino de martillo hasta obtener partículas de 4-6 cm de diámetro para su análisis posterior. No se incorporó algún otro material y no se realizaron análisis previos de laboratorio. Cada material estuvo por 180 días. La temperatura para paja de trigo fluctuó de 30 a 40 °C, en bagazo de caña de 28 a 30 °C, y en cáscara de naranja de 30 a 35 °C.

Para evaluar las propiedades físicas y químicas, los materiales se establecieron en el diseño completamente aleatorio con tres repeticiones.

### 1.2. Determinación de características físicas

Tamaño de partículas: se determinaron colocando 100 g de material en un agitador electromagnético (Ro-Tap modelo RX-29 de vaivén), a 1 750 rpm durante 10 minutos. Se utilizaron tamices de 0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 3.36, 4.76 y 6.36 mm para separar los agregados (Martínez, 1993).

Índice granulométrico (IG): se expresó como el porcentaje acumulado en peso de todas las partículas con diámetro mayor de 1.0 mm (Abad *et al.*, 1993).

La caracterización hidrofísica de los materiales se efectuó empleando la metodología descrita por De Boodt *et al.* (1974). Se determinó agua fácilmente disponible que corresponde al agua liberada (%) del material entre succiones de 10 y 50 cm de columna de agua (c.c.a), y agua difícilmente disponible, que corresponde al agua retenida (%) a tensiones superiores a 100 c.c.a. y la capacidad de aireación, que corresponde al volumen del material a una succión de 10 c.c.a.

A partir de la curva de liberación de agua se determinaron los contenidos de agua y espacio poroso (De Boodt *et al.*, 1974).

La densidad aparente de los materiales se determinó como la masa de un material sólido por unidad de volumen, esto es, incluido el espacio poroso de las partículas. La densidad real se calculó entre la masa del material sólido seco y el volumen real, excluyendo el espacio poroso (Fernández *et al.*, 2006).

### 1.3. Determinación de características químicas

En los materiales compostados se determinaron la conductividad eléctrica (CE), pH en agua en relación 1:5 (Warncke, 1986), carbono orgánico total (COT) por el método de combustión seca a 540 °C (Warncke, 1986) y nitrógeno total por el método de digestión húmeda Kjeldahl (Horneck y Miller, 1998). Después de la combustión seca se evaluó el K por absorción atómica y P por colorimetría mediante el método de Bray y Kurtz (Lachica *et al.*, 1973; NOM-021-RECNAT-2000, 2002).

### 1.4. Bioensayo de fitotoxicidad

Preparación de extractos acuosos: se tomaron cinco muestras al azar (2.0 l) de cada material compostado y con agua destilada se prepararon suspensiones en relación 1:10 peso:volumen. Se colocaron en un agitador de vaivén durante 1.0 h y posteriormente se filtraron para obtener un líquido o extracto acuoso libre de partículas en suspensión.

El bioensayo de fitotoxicidad (Zucconi *et al.*, 1981a; 1981b) se evaluó mediante la técnica de germinación de semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* L.). En cada caja petri se colocó papel filtro y sobre este se colocaron 10 semillas de la especie correspondiente y se cubrieron con ese mismo, los cuales se humedecieron aproximadamente con 10 ml de soluciones al

25, 50, 75 y 100% de extractos acuosos. Estos ensayos duraron cinco días en la oscuridad a 22 °C. En el tratamiento testigo se usó únicamente agua destilada. Estos trabajos se establecieron bajo el diseño completamente al azar con tres repeticiones, con arreglo factorial de 3 × 4 × 3, esto es, tres especies, cuatro soluciones y tres extractos. Finalmente se evaluó la germinación (%), la longitud radicular e índice de germinación (IG), según la metodología descrita por Tiquia (2000).

germinación (%) =

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

longitud radicular (%) =

$$\frac{\text{Elongación de la radículas en el extracto}}{\text{Elongación de la radículas en el testigo}} \times 100$$

$$\text{IG (\%)} = \frac{\% \text{ germinación} \times \% \text{ longitud radicular}}{100}$$

### 1. 5. Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de varianza de acuerdo con diseño el experimental utilizado y pruebas de media de Tukey ( $p = 0.05$ ). Se aplicó el modelo de regresión lineal. Estas pruebas estadísticas se evaluaron en el programa NCSS (Number Cruncher Statistical System). Puede encontrarse el demo 2004 en internet.

## 2. Resultados y discusión

### 2. 1. Características físicas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para el diámetro de partículas. En la composta de paja de trigo, la distribución de las partículas menores a 0.25 mm y entre 0.50 y 3.36 mm mostraron el mayor porcentaje en peso; las partículas entre 0.25 y 0.50 mm y superiores a 3.36 mm mostraron los menores porcentajes (cuadro 1). La granulometría de una composta es importante porque determina el espacio poroso, la densidad aparente, la aireación y la capacidad de retención de agua. Las compostas con residuos vegetales que presentan tamaño de partículas entre 2.0 y 4.0 mm, rango que incluye a los mejores resultados para paja de trigo en este estudio, permite una buena retención y disponibilidad de agua y un contenido de aire adecuado (Benito *et al.*, 2006). Cuanto más fino sea el

material, mayor es la disponibilidad del agua por unidad de volumen para la planta. Handreck (1983) menciona que el tamaño de partícula entre 0.10 y 0.25 mm tiene mayor influencia en la porosidad y retención de agua. Una reducción del tamaño de partícula lleva a una disminución de la capacidad de aireación (Gruda y Schnitzler, 2004).

A medida que avanza el compostaje aeróbico, el tamaño de partícula se fracciona a causa de la descomposición de las partículas más grandes y de los procesos de descomposición microbianos. La descomposición aeróbica de los materiales orgánicos aumenta el contenido de partículas finas y disminuye los sólidos (Tarre *et al.*, 1987; Raviv *et al.*, 1998).

La composta de cáscara de naranja mostró significativamente el mayor índice granulométrico (92.81%), lo que implica una excesiva aireación y una baja retención de humedad.

La densidad aparente tiene un papel importante en la manipulación y traslado de sustratos en las propiedades mecánicas como la porosidad, la fuerza y compactibilidad (Mohee y Mudhoo, 2005). Además, está relacionada con el contenido de humedad y el contenido de mineralización de las compostas. También sirve de anclaje para las plantas, mientras más altas sean éstas, mayor densidad deberá tener el sustrato. La composta de cáscara de naranja mostró significativamente la mayor densidad real (1.52 g cm<sup>-3</sup>) y aparente (0.29 g cm<sup>-3</sup>) (cuadro 2).

En las tres compostas evaluadas, el porcentaje de agua fácilmente disponible fue superior al nivel óptimo (20-30%) (De Boodt *et al.*, 1974; Abad *et al.*, 1993) (cuadro 2). Los resultados de este estudio concuerdan con los de Pire y Pereira (2003), quienes encontraron porcentajes de agua fácilmente disponible entre 45 y 65% en sustratos de bagazo de caña y fibra de coco después de ser compostados. Estos materiales tienen una alta capacidad de retención de agua debido a su alta porosidad y porque sus poros son pequeños (Bunt, 1988). Un alto porcentaje de agua disponible provoca una disminución en el número de poros que influyen considerablemente en la aireación de materiales de origen orgánico; por lo tanto, una reducción en su proporción dará lugar a un deterioro del aire en la zona radical (Gruda y Schnitzler, 2004).

**Cuadro 1. Análisis granulométrico e índice granulométrico (IG) para materiales compostados.**

Tipo de composta	Diámetro de partícula (mm)								IG
	< 0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.76	4.76-6.36	> 6.36	
	%								
Paja de trigo	12.8 a	2.5 b	37.4 a	23.9 a	16.0 a	3.6 b	0.7 c	3.6 b	23.8 a
Bagazo de caña	10.0 b	4.5 a	35.2 b	12.2 b	17.2 a	13.6 a	2.4 b	5.3 b	38.5 b
Cáscara de naranja	1.1 c	0.1 c	2.9 c	3.1 c	8.2 b	13.5 a	6.2 a	64.9 a	92.8 c
DMS	0.96	0.39	0.34	1.19	1.23	1.57	0.33	1.79	1.20

Nota: valores con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). DMS: diferencia mínima significativa.

Fuente: elaboración propia.

Las compostas de bagazo de caña y paja de trigo mostraron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) la mayor capacidad de aireación, 47% y 41% respectivamente, valor por encima del recomendado (20-30%) (cuadro 2). Pire y Pereira (2003) encontraron en sustratos de cáscara de arroz y bagazo de caña una aireación de 68 y 47% respectivamente. Un alto volumen de aireación favorece el libre drenaje, disminuye la capacidad de retención de agua y los riesgos frecuentes y evita problemas en el manejo del cultivo.

El espacio poroso está determinado por la densidad aparente, el tamaño y forma de la partícula, distribución de la partícula, y la disponibilidad del agua y aire en el sustrato (Raviv *et al.*, 1998). Un sustrato ideal presenta un espacio poroso total mayor a 85%; el mayor espacio poroso total que presentó la composta de paja de trigo fue de 96% y en bagazo de caña fue de 95%, encontrándose diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) (cuadro 2). En sustratos de cáscara de arroz y bagazo de caña, otros investigadores (Pire y Pereira, 2003) han obtenido espacios porosos de 85 y 92% respectivamente.

**2. 2. Características químicas**

Los valores de pH de las compostas paja de trigo y bagazo de caña se incrementaron hasta 6.0 y 6.3 respectivamente (cuadro 3). La composta con cáscara de naranja continuó incrementándose hasta alcanzar un valor de 7.9. Este valor

alcalino coincide con Heereden *et al.* (2001), quienes obtuvieron un pH de 7.2 con residuos de cáscara de naranja e hidróxido de calcio, después de 80 días de compostaje. Jayasinghe *et al.* (2010) analizaron compostas producidas a partir de residuos de caña (60%) y materiales sintéticos (40%), y obtuvieron un pH final de 6.4, el cual fue similar al reportado en esta investigación.

El aumento del pH de un sustrato orgánico se debe a la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica y por liberación de iones hidroxilo en el medio, mientras que la disminución en el pH es causado por la volatilización de amonio (Roca *et al.*, 2009).

Las compostas de cáscara de naranja (3.9 dS m<sup>-1</sup>) y bagazo de caña (4.2 dS m<sup>-1</sup>) mostraron los menores valores de CE (cuadro 3). El valor de la variable fue incrementándose de manera constante desde el inicio del proceso hasta la maduración de los materiales; el mayor valor se registró para la composta de paja de trigo (6.65 dS m<sup>-1</sup>). La salinidad excesiva en las compostas puede causar fitotoxicidad directamente, los valores altos de CE pueden ser un factor limitante para las plantas sensibles a la salinidad (Mengel *et al.*, 2001). La salinidad se desarrolla a partir de la mineralización y la producción de ácidos orgánicos (Epstein, 1997).

Las compostas de bagazo de caña y paja de trigo tienen propiedades similares a los valores reportados en compostas derivadas de residuos de la poda de árboles (Benito *et al.*, 2005; 2006). Los valores reportados por Bustamante *et al.* (2009) en compostas de residuos de naranja y estiércol de ganado con una CE de 2.8 dS m<sup>-1</sup> son similares a los encontrados en esta investigación. Fornes *et al.* (2010) analizaron tres compostas de residuos orgánicos y registraron un valor promedio de 6.9 dS m<sup>-1</sup>, valor mayor a los reportados en este estudio.

El carbono orgánico total (COT) es un parámetro para evaluar la evolución de las compostas, ya que su concentración disminuye rápidamente con el proceso. La concentración del COT se redujo con el tiempo. Los mismos resultados fueron encontrados por Roca *et al.* (2009) y Meunchang *et al.* (2005) para residuos paja de arroz y bagazo de caña.

El contenido de nitrógeno total de residuos de paja de arroz (0.7%) analizados por Roca *et al.* (2009) fue similar a lo encontrado en esta investigación;

**Cuadro 2. Densidades.**

Tipo de composta	DR	DA	CA	EPT	AFD	ADD
	g cm <sup>-3</sup>		Volumen (%)			
Paja de trigo	1.26 b	0.06 b	41.00 a	95.00 a	44.24 b	24.57 b
Bagazo de caña	1.11 b	0.06 b	47.00 a	96.00 a	48.31 a	24.12 b
Cáscara de naranja	1.52 a	0.29 a	25.00 b	83.00 a	¶60.31 c	¶54.72 a
DMS	0.30	0.01	10.15	11.57	0.03	0.15
Óptimo	1.40-2.60	< 0.40	20-30	> 85	20-30	25-31

Nota: Valores con la misma letra dentro de cada columna son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey, ( $p \leq 0.05$ ). DMS: diferencia mínima significativa. ¶En la composta cáscara de naranja los valores de AFD y ADD resultó más del 100% debido a que este material aún no alcanzaba su estabilidad. Densidad real (DR), densidad aparente (DA), capacidad de aireación (CA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD) y agua difícilmente disponible (ADD) de las compostas en estudio.

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 3. Características químicas en extracto de saturación de residuos de paja de trigo, bagazo de caña y cáscara de naranja compostados.**

Tipo de composta	pH	Conductividad	N total	P	K	COT	C/N
		eléctrica (CE)					
		(dS m <sup>-1</sup> )	%				
Paja de trigo	6.01 b	6.65 a	0.79 b	3.0 b	0.54 b	48.24 b	60.36 a
Bagazo de caña	6.36 b	4.20 b	0.63 c	3.0 b	0.47 c	53.57 a	83.58 a
Cáscara de naranja	7.98 a	3.96 b	2.56 a	3.8 a	0.77	46.49 b	18.12 b
DMS	1.31	0.59	0.22	0.27	0.32	3.68	23.63

Nota: valores con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). COT: Carbono orgánico total; DMS: diferencia mínima significativa.

Fuente: elaboración propia.

sin embargo, Meunchang *et al.* (2005) al compostar cachaza y bagazo de caña de azúcar obtuvieron una mayor concentración de nitrógeno (1.4%).

La composta de cáscara de naranja presentó la menor relación C/N (18.1) (cuadro 3). La relación C/N tiende a disminuir durante el proceso de biodegradación debido a la pérdida de C en forma de CO<sub>2</sub> y a la pérdida de agua por evaporación durante la mineralización de la materia orgánica mientras que el contenido de N por unidad de material es mayor que el inicial. Este comportamiento coincide con lo reportado por Kapetanios *et al.* (1993) y Fang *et al.* (1999).

Goyal *et al.* (2006), después de 90 días obtuvo una relación C/N de 28 en mezcla de residuos de caña y estiércol. Jaysinghe *et al.* (2010) analizaron residuos de caña y materiales sintéticos y reportaron una relación C/N de 26, menor que el valor reportado en esta investigación (83) debido a que los residuos de caña estuvieron combinados con materiales sintéticos.

La relación C/N no es un buen indicativo de la madurez de las compostas porque tiene una gran variabilidad y a menudo indica errores en este parámetro; tampoco refleja si el material está lo suficientemente degradado (Benito *et al.*, 2006). Golueke (1991) menciona que la relación C/N por debajo de 20 es indicativo de la madurez de la composta; sin embargo, es mejor si la relación C/N es menor a 15 (Bernal *et al.*, 2009).

La composta de cáscara de naranja presentó la mayor concentración de fósforo (3.8%) y potasio (0.7%) (cuadro 3). Son valores semejantes a los reportados en la investigación realizada por Heereden *et al.* (2001), que tiene el mismo residuo.

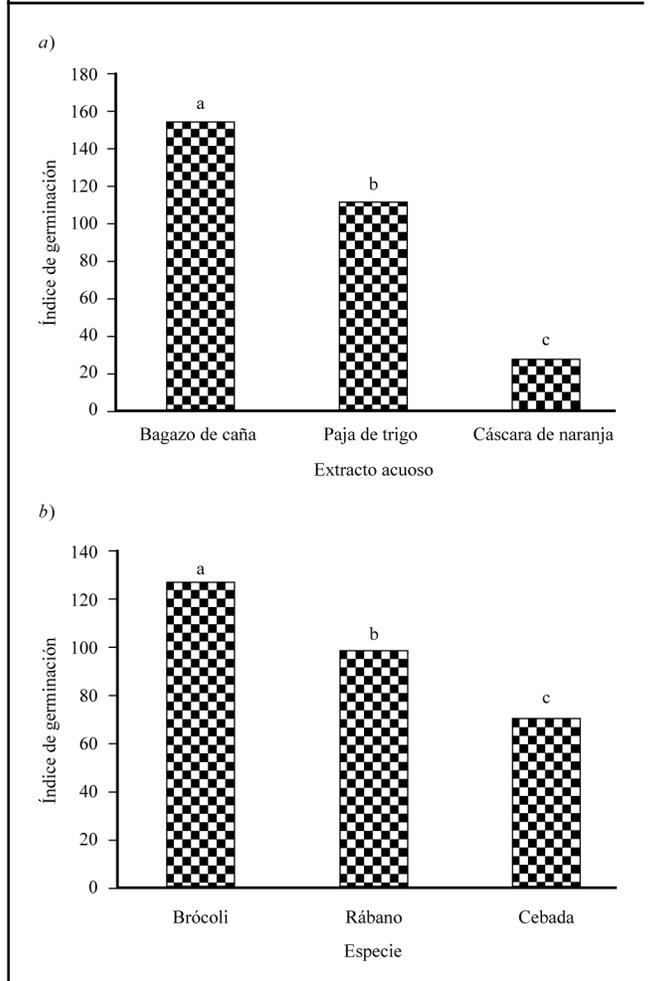
### 2. 3. Bioensayo de fitotoxicidad

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) para los factores especie, solución y extracto, así como para las interacciones. Las semillas de brócoli mostraron significativamente el mayor índice de germinación (126.72) respecto del rábano (97.72) y de la cebada (69.90) (gráfica 1 a). El extracto acuoso procedente de la composta de bagazo de caña presentó el mayor índice de germinación ( $p \leq 0.05$ ) (gráfica 1 b).

La solución al 25% (sin importar el tipo de extracto) tuvo significativamente el mayor índice de germinación (159.7), y a medida que se aumentó la concentración de la solución, este índice disminuyó significativamente. El modelo polinómico de segundo grado (gráfica 2) predijo con confiabilidad  $R^2 = 0.99$ , el índice de germinación con el uso de extractos acuosos.

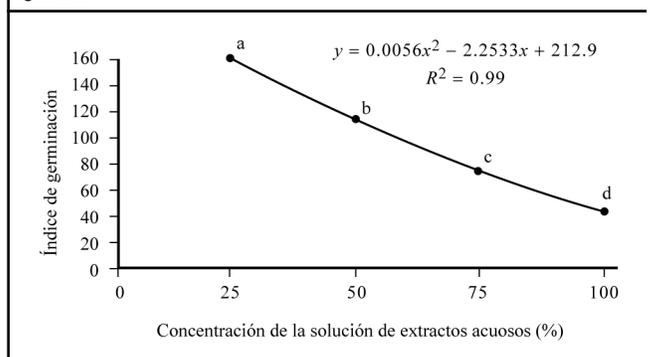
El índice de germinación fue superior a 100 en el extracto de bagazo de caña (154.06) y paja de trigo (111.76), considerándose a éstos como productos fitoestimulantes en la agricultura (Aggelis *et al.*, 2002). Benito *et al.* (2005) encontraron índices

**Gráfica 1.** Índices de germinación: a) en los diferentes extractos acuosos y b) en las especies.



Nota: las barras verticales en columnas indican la desviación estándar. Valores con la misma letra dentro de cada gráfica no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 2.** Comportamiento del índice de germinación respecto a la concentración de soluciones preparadas a partir de extractos acuosos de compostas de residuos agrícolas.



Nota: valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Fuente: elaboración propia.

de germinación de 111 hasta 154 con materiales de celulosa, hemicelulosa y lignina, aptos para ser utilizados directamente en la agricultura y libre de elementos fitotóxicos (Zucconi *et al.*, 1981a). La disminución de la fitotoxicidad durante el compostaje es el resultado de la degradación de sustancias como los ácidos orgánicos generados por microorganismos (Bernal *et al.*, 2009).

El extracto de cáscara de naranja mostró significativamente el menor índice de germinación (28.51), valor por debajo del establecido como mínimo (60) (Aggelis *et al.*, 2002), por lo que éste extracto se considera fitotóxico. Bustamante *et al.* (2009) obtuvieron un índice de germinación superior a 50 con semillas de *Lepidium sativum* L. en extractos de cáscara de naranja combinados con hidróxido de calcio. Lo anterior confirma que los extractos provenientes de residuos de naranja (aun combinado este material) pueden presentar características fitotóxicas (Aggelis *et al.*, 2002). La fitotoxicidad puede ser resultado de varios factores como la acumulación de compuestos tóxicos (ácidos orgánicos), inmovilización de nitrógeno, presencia de metales pesados y sales minerales (Epstein, 1997).

En la combinación de los factores de estudio, los mayores índices de germinación (260.0-267.3) se obtuvieron con las semillas de brócoli en soluciones de extractos al 25 y 50% en composta de trigo y bagazo de caña, respectivamente (cuadro 4) con diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). El índice de germinación es uno de los parámetros sensibles para evaluar la toxicidad que afecta el crecimiento de raíces y la germinación (Bernal *et al.*, 2009), ya que existen múltiples factores que intervienen para su definición (Raj y Antil, 2011).

### Análisis prospectivo

Para dar respuesta a la creciente necesidad en el aprovechamiento sustentable de los recursos utilizados en las diferentes actividades agrícolas, así como de los residuos generados en ellas, se han realizado diferentes investigaciones relacionadas al compostaje de materiales agrícolas tanto para determinar las condiciones óptimas para realizarlo así como en la evaluación de diversas propiedades físicas, químicas y biológicas de las compostas resultantes; sin embargo, las características de estos residuos no sólo dependen de un sinfín de condiciones edafoclimáticas del cultivo de origen, sino también del manejo posterior de los residuos; por lo tanto, es imprescindible continuar con investigaciones que permitan dar una respuesta contundente a interrogantes como ¿cuál es el tamaño adecuado de partículas de residuo para elaborar una composta?, ¿cuál es el periodo para que una composta alcance su madurez?, ¿cuáles son las características adecuadas del sustrato, producto de una composta?, ¿la calidad de la composta será benéfica para utilizarla como abono?, entre otras. La presente investigación contribuye con una pequeña aportación al universo del conocimiento que aún falta por descubrir, con lo que se permita dar respuesta pertinente a los retos referentes a la sostenibilidad de los recursos.

### Conclusiones

Los residuos agrícolas de bagazo de caña y paja de trigo obtienen una mejor distribución del fraccionamiento de partículas durante el compostaje, lo que permite una adecuada distribución de agua en la curva de liberación de humedad. La estabilidad de las compostas se alcanzó al mineralizarse los materiales y obtener valores de pH alcalinos y al aumentar la concentración de nutrientes (N, P y K), lo cual provocó una disminución en la relación C/N en cada uno de los materiales agrícolas. Las mayores tasas de germinación se obtuvieron en extractos acuosos de bagazo de caña al 25%. La mayor fitotoxicidad se obtuvo con los niveles de extractos de mayor concentración (75 y 100%) y la composta de cáscara de naranja. La composta de residuos debe ser evaluada mediante dos o más parámetros para satisfacer su estabilidad.

**Cuadro 4. Índices de germinación en función de la interacción especie-solución de extracto (%)-composta.**

Especie	Solución (%)	Extracto	Índice de germinación	Especie	Solución (%)	Extracto	Índice de germinación
Rábano	25	Naranja	158.14 d	Cebada	75	Trigo	72.28 j
Rábano	50	Naranja	25.38 m	Cebada	100	Trigo	80.38 ij
Rábano	75	Naranja	8.50 op	Brócoli	25	Trigo	267.38 a
Rábano	100	Naranja	3.67 op	Brócoli	50	Trigo	261.66 a
Cebada	25	Naranja	58.58 k	Brócoli	75	Trigo	119.50 f
Cebada	50	Naranja	7.81 op	Brócoli	100	Trigo	27.27 m
Cebada	75	Naranja	11.24 no	Rábano	25	Caña	229.27 b
Cebada	100	Naranja	0.0 p	Rábano	50	Caña	206.97 c
Brócoli	25	Naranja	52.93 k	Rábano	75	Caña	164.63 d
Brócoli	50	Naranja	10.94 no	Rábano	100	Caña	117.05 f
Brócoli	75	Naranja	0.0 p	Cebada	25	Caña	106.90 gh
Brócoli	100	Naranja	0.0 p	Cebada	50	Caña	103.49 h
Rábano	25	Trigo	158.39 d	Cebada	75	Caña	86.38 i
Rábano	50	Trigo	43.93 l	Cebada	100	Caña	58.04 k
Rábano	75	Trigo	38.37 l	Brócoli	25	Caña	260.08 a
Rábano	100	Trigo	18.36 mn	Brócoli	50	Caña	263.03 a
Cebada	25	Trigo	140.62 e	Brócoli	75	Caña	166.38 d
Cebada	50	Trigo	113.05 fg	Brócoli	100	Caña	86.50 i

Nota: valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).  
DMS = 6.36  
Fuente: elaboración propia.



## Bibliografía

- Abad, M., Martínez, G. P. F. y Martínez, H. M. D. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11: 141-154.
- Aggelis, G., Ehaliotis, C., Nerud, F., Stoychiev, I., Luberatos, G. y Zervakis, G. (2002). Evaluation of white-rot fungi for detoxification and decoloration of effluents from the green olives debittering process. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 59: 353-360.
- Benito, A., Masaguer, R., De Antonio, R. y Moliner, A. (2005). Use of pruning waste compost as a component in soil-less growing media. *Bioresource Technology*, 96: 597-603.
- Benito, A., Masaguer, R., De Antonio, R. y Moliner, A. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology*, 97: 2071-2076
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. y Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology*, 100: 5444-5453.
- Bunt, C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. London: Unwind Hyman Ltd.
- Bustamante, M., Paredes, C., Morales, J. Mayoral, A. y Moral, R. (2009). Study of the composting process of winery and distillery wastes using multivariate techniques. *Bioresource Technology*, 100: 4766-4772.
- De Boodt, M., Verdonck, O. y Cappaert, I. (1974). Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticult.*, 37: 2054-2062.
- Epstein, E. (1997). *The science of composting*. Florida: CRC Press LLC.
- Fang, J., Wong, C., Ma, K. y Wong, H. (1999). Co-composting of sewage sludge and coal fly ash: nutrient transformations. *Bioresource Technology*, 67:19-24.
- Fernandez, J., Cora, E. y Braz, T. (2006). Desempenho de sustratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. *Hortic. Bras.*, 20: 559-560.
- Fornes, F., Carrion, C., Garcia, de la F. R., Puchades, R. y Abad, M. (2010). Leaching composted lignocellulosic wastes to prepare container media: feasibility and environmental concerns. *Journal of Environmental Management*, 91: 1747-1755.
- Golueke, C. G. (1991). Principles of composting, in The staff of biocycle journal of waste recycling. *The art and science of composting* (pp. 14-27). Pennsylvania: The JG Press Inc.
- Goyal, S., Dhull, S. K. y Kapoor, K. K. (2006). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96:1584-591.
- Gruda, N. W. y Schnitzler, H. (2004). Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. *Scientia Horticulturae*, 100: 309-322.
- Handreck, K. A. (1983). Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14: 209-222.
- Heerden, V. I., Cronjé, C., Swart, S. H. y Kotzé, J. M. (2001). Microbial chemical and physical aspects of citrus waste composting. *Bioresource Technology*, 81: 71-76
- Horneck, D. A. y Miller, R. O. (1998). Determination of total nitrogen in plant tissue, en Y. P. Karla (ed.), *Handbook of reference methods for plant analysis tissue* (pp. 75-83). Boca Ratón: CRC Press.
- Huang, G. F., Fang, M., Wu, Q. T., Zhou, L. X., Liao, X. D. y Wong, J. W. C. (2001). Co-composting of pig manure with leaves. *Environmental Technology*, 22: 1203-1212.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2013). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Clave geoestadística 20385.
- Jayasinghe, G. Y., Liyana, I. D. y Tokashiki, Y. (2010). Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 1412-1418.
- Kapetanios, E. G., Loizidou, M. y Valkanas, G. (1993). Compost production from greek domestic refuse. *Bioresource Technology*, 44:13-16.
- Lachica, M., Aguilar, A. y Yañez, J. (1973). Análisis foliar: métodos analíticos utilizados en la estación experimental del Zaidin. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 32: 1033-1047.
- Martínez, F. X. (1993). Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Acta Horticult.* 11: 55-66.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H. y Appel, T. (2001). *Principles of plant nutrition*. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Meunchang, S., Panichsakapayaand, S. y Weaver, R. (2005). Co-composting of filter cake and bagasse, by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology*, 96: 437-442.
- Mohee, R. y Mudhoo, A. (2005). Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology*, 155: 92-99

- NOM-021-RECNAT-2000. (2002). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Pire, R. y Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela, propuesta metodológica. *Bioagro.*, 15: 55-63.
- Raj, D. y Antil, R. S. (2011). Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*, 102: 2868-2873.
- Ranalli, G., Botturea, G., Taddei, P., Garavni, M., Marchetti, R. y Sorlini, G. (2001). Composting of solid and sludge residues from agricultural and food industries. Bioindicators of monitoring and compost maturing. *Journal of Environmental Science and Health*, 36: 415-436.
- Raviv, R., Zadman, B. y Kapulink, Y. (1998). The use of compost as a peat substitute for organic vegetable transplants production. *Compost Science and Utilization*, 1: 46-52.
- Roca, P., Martínez, C., Mancilla, P. y Boluda, R. (2009). Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil - plant system. *Chemosphere*, 75: 781-787.
- Tarre, S., Raviv, M. y Shelef, G. (1987). Composting of fibrous solids from cow manure and anaerobically digested manure. *Biological Wastes*, 19: 299-308.
- Tiquia, S. M. (2000). Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system, en P. R. Warman y B.R. Taylor (ed.) *Proceedings of the International Composting Symposium* (pp. 625-647). CBA Press Inc. Truro, NS.
- Warncke, D. D. (1986). Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Horticultural Science*, 21: 223-225.
- Wu, L. K. y Ma, L. Q. (2002). Relationship between compost stability and extractable organic carbon. *Journal of Environmental Quality*, 31: 1323-1328.
- Zucconi, F., Forte, M., Mónaco, A. y De Bertoldi, M. (1981a). Biological evaluation of compost maturity. *BioCycle*, 22: 27-29.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y De Bertoldi, M. (1981b). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22: 54-57.

