

# Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato

## Characteristics of organic fertilizers and manures for use as substrate components

Patricia Acevedo-Alcalá <sup>1</sup>; Oswaldo-Rey Taboada-Gaytán <sup>2</sup>; Javier Cruz-Hernández <sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. ✉ [acevedo\\_paty@hotmail.com](mailto:acevedo_paty@hotmail.com).

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. ✉ [toswaldo@colpos.mx](mailto:toswaldo@colpos.mx).

<sup>3\*</sup> Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. ✉ [javi\\_69rey@hotmail.com](mailto:javi_69rey@hotmail.com).

Rec.: 09-01-2020 Acep.: 10-07-2020

### Resumen

La turba es utilizada frecuentemente como sustrato en la propagación de plántulas, no obstante, su recolección ocasiona efectos negativos en el ambiente. Para reducir estos efectos, existen enmiendas orgánicas que se pueden aplicar como componentes de medios de cultivo. El objetivo del estudio fue caracterizar física, química, biológica y microbiológicamente los fertilizantes orgánicos comerciales Solep® y Fernatol®, los estiércoles de vacuno y ovino, y musgo comercial (Peat moss®) como componentes de sustratos. En el Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México, en muestras de cada uno de estos materiales se midieron por triplicado las propiedades físico-químicas, el contenido de materia orgánica (MO), la relación C/N, y los nutrientes extraíbles y asimilables; además, se realizó un análisis microbiológico como parámetro de inocuidad y se estimó la fitotoxicidad de extractos al 20% por bioensayo de germinación con semillas de rábano (*Raphanus sativus* L), como especie indicadora de la presencia de sustancias fitotóxicas. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los resultados fueron comparados con estándares establecidos para sustratos en normas nacionales e internacionales. El fertilizante comercial Solep y el estiércol vacuno presentaron valores adecuados de pH, CE, MO, C/N, sodio, metales pesados y ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., por tanto, se consideran apropiados para la producción de plántulas; no obstante, su presencia en el medio de cultivo no debe ser mayor de 20%.

**Palabras clave:** Compost; Enmienda orgánica; Fitotoxicidad; Germinación; Metales pesados.

### Abstract

Peat is a moss commonly used as a substrate in the propagation of seedlings, but its extraction generates negative effects on the environment. To replace or reduce their use, organic amendments can be applied as substrate components, but must comply with quality parameters established in official standards. The objective was to characterize physically, chemically, biologically and microbiologically two commercial organic fertilizers (Solep, Fernatol), two manures (cattle, sheep) and Peat moss for use as substrate components in seedling production. At Campus Puebla in Colegio de Postgraduados, México, in samples of each material, it was measured in triplicate: bulk density, percentage of pores, particle size, pH, electrical conductivity (EC), carbon (C), organic matter (OM), nitrogen (N), C/N ratio, content of extractable and assimilable nutrients and heavy metals; also, a microbiological analysis was performed as a safety parameter and the phytotoxicity of extracts at 20% was estimated by germination bioassay with radish seeds (*Raphanus sativus* L) as an indicator species of the presence of phytotoxic substances. Analysis of variance, Tukey mean comparison test ( $P \leq 0.05$ ) was performed and the results were compared with established national and international substrate standards. Solep fertilizer and cattle manure presented adequate values of pH, EC, OM, C/N, assimilable sodium, heavy metals and absence of *E. coli* and *Salmonella*, therefore these amendments can be considered appropriate for use as substrate components in the seedling production, but according to the phytotoxicity bioassays, the fertilizers or manure characterized should not be applied in proportions greater than 20% as a substrate component.

**Key words:** Compost; Germination; Heavy metals; Organic amendments; Phytotoxicity.

## Introducción

El tipo de sustrato y sus características físicas, químicas y microbiológicas son propiedades importantes en la producción de plántulas (Ortega Martínez et al., 2010). Como sustratos se utilizan diversos materiales, entre ellos, musgos, agrolitas, perlitas, biosólidos, suelo y residuos de la industria agropecuaria (Sánchez Hernández et al., 2016) en diferentes proporciones (García Morales et al., 2011). No obstante, para que una enmienda o abono orgánico pueda ser utilizado, es necesario que cumpla con parámetros de calidad, tales como estabilidad y maduración del material (Ansorena, Batalla y Merino, 2014). La estabilidad indica el grado de descomposición biológica que las materias primas de una composta han logrado y está relacionada con la actividad de las poblaciones microbianas; mientras que la maduración se refiere al nivel de integridad de la enmienda e implica cualidades de envejecimiento de un producto, la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos (Bernal et al., 2011). Las enmiendas maduras no deben tener efectos negativos sobre la germinación de las semillas o en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Bernal et al., 2017). Una enmienda no madura puede generar malformaciones en las plántulas, reducido crecimiento radical, una irregular o nula germinación (Dos Santos et al., 2010) y la inmovilización del nitrógeno (Abad et al., 2002).

Entre las características que debe cumplir un buen sustrato se pueden citar: porosidad > 85%, capacidad de aeración entre 10 y 30%, agua fácilmente asimilable entre 20 y 30%, textura de media a gruesa, con una distribución de partículas de 0.25 a 5.0 mm (Abad et al., 1993; citado por Rodríguez Narváez, 2013), retención de humedad entre el 55 y 70% y una densidad aparente entre 0.15 y 0.45 g/cm<sup>3</sup> (López Baltazar et al., 2013). Además, los fertilizantes orgánicos deben cumplir con parámetros de inocuidad como: *Escherichia coli* ≤ 1000 NMP/g, *Salmonella* spp. ausente en 25 g (Norma NCh (2004); norma mexicana NOM-FF-109-SCFI-2007; Real Decreto 865/2010) o 3 NMP/4 gramos y hongos fitopatógenos ausentes. Las normas y legislaciones españolas y europeas establecen los límites de metales pesados que pueden contener las compostas orgánicas antes de ser utilizadas en la agricultura (Real Decreto 865/2010 (Bernal et al., 2017).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar por sus propiedades físicas, químicas, biológicas y microbiológicas dos fertilizantes orgánicos comerciales (Solep, Fernatol), estiércoles locales de vacuno y ovino, y musgo comercial (Peat moss®) como posibles sustitutos de turbas en la producción de plántulas.

## Materiales y métodos

El estudio fue realizado en el Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México. Como materiales de evaluación fueron utilizados Solep® (Soluciones Ecológicas de Puebla, México), Fernatol® (Fertilizante Natural Obtenido por Lombricomposteo S. A. DE C. V. Puebla, México), estiércoles de vacuno y ovino (recolectados en pequeñas unidades de producción ganadera de San Nicolás de los Ranchos, Puebla), y Peat moss® (musgo Sunshine Mezcla 3®). Para análisis, de cada enmienda se obtuvo una muestra de 5 lt que fue secada al aire hasta un peso constante.

### Caracterización física y química de las enmiendas

Las variables determinadas en las muestras seca fueron, peso de la fracción granulométrica (PFG), diámetro medio (DM), diámetro medio de dos tamices consecutivos (DMD) e índice de grosor (IGr), densidad aparente (DA), densidad de partícula (DP), porosidad (Po), nitrógeno amoniacal (NA<sub>m</sub>) y nitrógeno nítrico (NNi) con base en las metodologías indicadas por García De La Fuente (2011). La humedad (H), el contenido de cenizas (Ce), la materia orgánica (MO), el carbono orgánico (CO), el nitrógeno total (NT) y la relación C/N se midieron según la Norma Mexicana NOM-FF-109-SCFI-2007. Para la cuantificación de calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K) se usó la Norma Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. El nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), y los minerales calcio (Ca<sup>2+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>) fácilmente asimilables se midieron con el equipo Compact Water Quality Meter LAQUAtwin (HORIBA Scientific); para pH y conductividad eléctrica (CE) se usó un pH-meter (Thermo Scientific™ Orion™ Star A215) (García, Bernal y Roig, 2002). La determinación de metales pesados como: cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), en mg/kg de materia seca, (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004) fue realizada en el Laboratorio de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

### Caracterización biológica y microbiológica

Para determinar el grado de maduración y la toxicidad de las enmiendas se estableció un bioensayo de germinación con semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion como especie indicadora de la presencia de sustancias fitotóxicas, según Zucconi et al. (1981). Para el efecto se prepararon extractos en concentración de 1:5 v/v (enmienda sólida en agua destilada). De cada uno de estos extractos fueron tomados 10 ml que se colocaron sobre papel filtro

Whatman No.1 en cajas Petri, antes proceder a sembrar 20 semillas de rábano en cada una de ellas. Cinco días después fueron colocadas en cámara de crecimiento (25 °C, 85 % HR, BL Barnstead/Lab-li.ne®) para registrar el número de semillas germinadas (NSG) y la longitud de raíz (LR) en cm. Con estos datos se calcularon los índices de germinación normalizado (IGN) y de elongación radical (IER) (Rodríguez Romero et al., 2014). Para interpretar los resultados de ambas variables se consideró que, los valores > 0 indican estimulación del crecimiento de las semillas, valores entre 0 y -0.25 presentan baja toxicidad, entre -0.25 y -0.5 moderada toxicidad, entre -0.5 y -0.75 alta toxicidad y entre -0.75 y -1 muy alta toxicidad (Bagur González et al., 2011).

Para la caracterización microbiológica se cuantificó la presencia de bacterias y hongos totales (Fernández Linares et al., 2006); la población de Levaduras, *E. coli*, coliformes totales y *Salmonella* según Cano Ruera (2006). Los datos se presentan en UFC/g (unidades formadoras de colonias/g).

## Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones para cada enmienda orgánica y cinco tratamientos correspondientes a los productos evaluados. Los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis System 9.4®. Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Previo al análisis estadístico, en las variables registradas en porcentaje se realizó una transformación de los datos con las fórmulas indicadas por Montgomery (2003). Para el análisis estadístico de las variables microbiológicas se realizó una transformación de datos aplicando  $\text{Log}_{10}$  UFC (Durán y Henríquez, 2007).

**Tabla 1.** Valores promedio de la caracterización física de enmiendas orgánicas y fertilizantes comerciales. Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México.

Enmienda/ fertilizante	Características físicas				
	IGr (%)	H (%)	DA (g/ml)	DP (g/ml)	Po (%)
Solep	37.04 e*	16.42 a	0.94 c	966.55 c	0.99900 b
Fernatol	9.36 a	15.95 b	1.00 e	933.87 b	0.99890 c
Vacuno	27.37 c	8.29 c	0.98 d	981.70 d	0.99900 b
Ovino	26.99 b	6.59 d	0.88 b	957.37 c	0.99910 a
Peat moss	29.11 d	17.39 a	0.26 a	267.31 a	0.99903 ab
DMS	1.14	1.25	0.04	15.00	0.0001

\*Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). IGr: índice de grosor, H: humedad, DA: densidad aparente, DP: densidad de partícula y Po: porosidad. DMS: diferencia mínima significativa.

## Resultados

Los análisis mostraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre enmiendas en índice de grosor (IGr), humedad (H), densidad aparente (DA), densidad de partículas (DP) y porosidad (Po) (Tabla 1). Todos los materiales evaluados presentaron un IGr entre los intervalos establecidos en la NMX-FF-109-SCFI-2007 y la Norma NCh (2004). Las características físicas del musgo Peat moss fueron sobresalientes de acuerdo con la Norma Nch (2004), en comparación con los fertilizantes orgánicos comerciales y el estiércol vacuno, con DA y DP inferiores a las observadas en esta última enmienda. Lo anterior permite sugerir el uso del musgo como componente de sustrato, seguido de las enmiendas comerciales.

En los valores de pH, CE, MO, carbono orgánico (CO), relación C/N y nitrógeno amoniacal (NAM) se observaron diferencias significativas (Tabla 2). En el estiércol vacuno y en el fertilizante Solep se observaron niveles superiores de pH, CE y NAM en comparación con Fernatol y musgo; el pH y la CE se encuentran dentro del intervalo establecido en la NMX-FF-109-SCFI-2007 y la NCh (2004). Si bien el fertilizante Fernatol presentó buenas características, es un producto menos poroso, por tanto, no debería ser incluido como componente de sustratos.

El estiércol vacuno presentó los mayores niveles de P y K extraíbles y el fertilizante Solep los mayores contenidos de  $\text{NO}_3$ , K y Na fácilmente asimilables (Tabla 3) en comparación con el musgo, el cual solo presentó altos niveles de Mg. Así, por ejemplo, el estiércol vacuno presentó 483 mg/kg de P vs. 106 mg/kg en musgo; mientras que el fertilizante Solep contenía 266% más de  $\text{NO}_3$  y 926% más de Na, en comparación con este sustrato.

**Tabla 2.** Valores promedio de la caracterización química de cinco enmiendas orgánicas y fertilizantes comerciales. Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México.

Enmienda/ fertilizante	Características químicas					
	pH	CE (dS/m)	MO (%)	CO (%)	Relación (C/N)	NAm (mg/kg)
Solep	7.34 b*	2.67 e	19.45 c	11.28 c	10.13 b	28.07 b
Fernatol	9.66 e	1.87 b	22.18 b	12.86 b	16.32 b	12.02 b
Vacuno	8.54 c	2.47 d	18.19 d	10.55 d	10.43 b	148.67 a
Ovino	9.09 d	2.17 c	20.22 c	11.73 c	12.82 b	174.51 a
Peat moss	6.43 a	0.69 a	77.72 a	45.08 a	40.77 a	13.91 b
DMS	0.08	0.19	1.25	0.73	20.17	56.31

\*Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). CE: conductividad eléctrica, % MO: porcentaje de materia orgánica, % CO: porcentaje de carbono orgánico, Relación C/N: relación carbono/nitrógeno y nitrógeno amoniacal (NAM). DMS: diferencia mínima significativa.

En las enmiendas y fertilizantes analizados, los metales pesados se encontraron en los intervalos establecidos en normas de Europa, EEUU y Canadá (Ansorena, Batalla y Merino, 2014; Bernal et al., 2017) (Tabla 4), sobresaliendo por sus bajos contenidos, el estiércol vacuno y el fertilizante Solep.

Los índices de toxicidad (IGN, IER) de los fertilizantes y el estiércol (Tabla 4) indican una alta a muy alta fitotoxicidad (entre -0.72 y -1.0). Por esta razón siempre es necesario tener en cuenta la cantidad o proporción que se utiliza de estas enmiendas como componentes de sustratos, ya que pueden ser fitotóxicas.

Con base en la caracterización microbiológica (Tabla 5), el fertilizante Solep y el estiércol vacuno presentaron bajos contenidos de bacterias totales, levaduras, hongos, *E. coli* y *Salmonella* en comparación con el musgo. El primero presentó 93% menos bacterias totales y el estiércol ovino 97% menos levaduras, comparados con el musgo, además, cumplen con lo establecido en la NMX-FF-109-SCFI-2007 y el Real Decreto 865/2010.

### Discusión

Las características físicas de los productos evaluados permiten recomendar su uso. Los valores de IGr encontrados difieren de los obtenidos por López Baltazar et al. (2013) (0.25 – 2.0 mm); no obstante, son aceptables para su uso en sustratos.

Aunque la DA y la DP fueron inferiores en las enmiendas evaluadas en comparación con el estiércol vacuno, los resultados no coinciden con el intervalo indicado en la NMX-FF-109-SCFI-2007, ni con los valores observados en musgo por Gómez Merino et al. (2013) y Crespo González et al. (2013). Las características físicas del estiércol fueron mejores que las sugeridas por Durán y Henríquez (2007). Los valores recomendados para la DA se encuentran entre 0.40 y 0.90 g/ml, con porosidad > 85% y retención de humedad entre 55 y 70%, según la recomendación de la NMX-FF-109-SCFI-2007. Las características entre estos intervalos se asocian con porcentajes altos de germinación y emergencia, mejor crecimiento y desarrollo de las plántulas, además, facilitan el almacenamiento y manipulación del sustrato en los contenedores (Delgado Arroyo et al., 2016). De acuerdo con lo anterior, el estiércol de ovinos es la enmienda que proporciona los mejores resultados, ya que presenta las mejores características físicas, seguido del fertilizante Solep y del estiércol vacuno.

El estiércol vacuno y el fertilizante Solep presentaron valores altos de pH, CE y NAM, valores, que al igual que el contenido de MO, fueron diferentes a los encontrados por Pérez, Céspedes y Núñez (2008) en estiércol vacuno. La relación C/N fue similar a la encontrada por Bernal et al. (2017), por el contrario, la MO en los tratamientos con fertilizantes y los estiércoles fue menor a lo encontrado por estos mismos

**Tabla 3.** Valores promedio de la caracterización de nutrientes extraíbles y fácilmente asimilables de cinco enmiendas orgánicas y fertilizantes comerciales. Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México.

Enmienda/ fertilizante	Características químicas (mg/kg)						
	Nutrientes extraíbles			Nutrientes fácilmente asimilables			
	P	K	Mg	NO <sub>3</sub>	K	Ca	Na
Solep	221.5a*	455.0 a	1896.1 b	720.0 d	480.0 b	47.7 b	166.7 a
Fernatol	463.0 a	345.5 a	2413.0 b	1900.0 a	403.3 c	11.0 d	78.3 b
Vacuno	483.0 a	637.0 a	1876.0 b	1200.0 c	620.0 a	23.0 c	42.0 c
Ovino	443.0 a	757.5 a	1538.2 b	1400.0 b	413.3 c	11.0 d	35.0 c
Peat moss	106.5 b	207.5 b	5574.2 a	270.0 e	45.7 d	210.0 a	18.0 d
DMS	272.4	418.6	1021.2	186.9	30.2	3.2	7.2

\*Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, P ≤ 0,05).

DMS: diferencia mínima significativa.

**Tabla 4.** Valores de metales pesados e índices de toxicidad de cinco enmiendas orgánicas y fertilizantes comerciales. Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México.

Enmienda/ fertilizante	Metales (ppm)							Índices de toxicidad (%)	
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	IGN	IER
Solep	0.12	0.25	0.15	0.10	0.25	0.38	0.53	-0.77 b*	-0.99 c
Fernatol	0.03	0.04	0.19	0.10	0.15	0.34	0.98	-0.97 c	-1.00 d
Vacuno	0.01	0.11	0.17	0.10	0.18	0.17	1.42	-0.72 a	-0.98 b
Ovino	0.01	0.06	0.10	0.10	0.19	0.07	0.54	-0.77 b	-0.97 a
Peat moss	0.01	0.69	0.04	0.10	0.14	0.03	0.18	-0.72 a	-0.98 b

\*Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, P ≤ 0,05). IGN: índice de porcentaje de germinación residual normalizado e IER: índice de porcentaje de elongación radical residual normalizado.

**Tabla 5.** Caracterización microbiológica de cinco enmiendas orgánicas y fertilizantes comerciales. Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, México.

Enmienda orgánica	Microorganismos (UFC/g)			
	Bacterias totales	Levaduras	Hongos	Coliformes Totales
Solep	29x104 a*	12x101 a	1x101 a	79x101 b
Fernatol	63x103 b	2x101 a	3x101 a	8x101 a
Vacuno	124x104 c	5x101 a	16x101 b	46x101 b
Ovino	161x104 c	ND a	22x101 b	26x101 b
Peat moss	429x104 d	18x102 b	61x101 b	1x101 a
DMS	0.07	0.74	2.55	4.11

\*Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

UFC: unidades formadoras de colonias, ND: no detectado, DMS: diferencia mínima significativa.

investigadores, no obstante, se encuentran dentro de los intervalos establecidos en NMX-FF-109-SCFI-2007 y NCh (2004). El musgo Peat moss resultó con niveles superiores a los indicados en estas normas. Los valores de pH, CE, MO y C/N en el fertilizante Solep y el estiércol vacuno indican una mayor humificación de los compuestos orgánicos, pero ambos estiércoles (vacuno y ovino) presentaron contenidos altos de NAM, por lo que requieren un mayor grado de mineralización (Bernal et al., 2017). Como es conocido, la proporción de estiércol y compostas no deben superar 20% del volumen total de los sustratos, ya que concentraciones más altas pueden afectar los valores de pH, CE, NAM y la relación C/N (Tombion et al., 2016).

El estiércol vacuno y el fertilizante Solep presentaron los valores más altos en elementos fácilmente extraíbles, los cuales no coinciden con los datos presentados por Durán y Henríquez (2007) y Gómez Brandón, Lazcano y Domínguez (2008), quienes obtuvieron menores contenidos de P y K. Por el contrario, López Baltazar et al. (2013) indican niveles muy altos de K y Mg extraíbles. Con contenidos altos de Na y CE en las enmiendas, existen riesgos potenciales de sodificación en los suelos (Ansorena, Batalla y Merino, 2014) que pueden ocasionar inhibición de la germinación, reducido crecimiento y menor longitud radicular (Torres et al., 2016). El estiércol vacuno y el musgo Peat moss se caracterizaron por presentar bajos valores de pH, CE y Na en comparación con las demás enmiendas orgánicas, con niveles aceptables por su menor riesgo de salinización y sodificación cuando son utilizados como componentes de sustratos. El estiércol de ovino alcanzó un contenido bajo en Na, pero valores altos de pH y CE, en comparación con el fertilizante Solep.

Con base en la normativa española, las enmiendas orgánicas en este estudio se consideran de clase A por su bajo contenido de metales pesados, por tanto, son adecuados para la producción de cultivos para consumo humano (Real Decreto 865/2010). Los niveles de Cu y Zn coinciden con los observados por Pérez, Céspedes y Núñez (2008), mientras que los de Cd resultaron similares a los obtenidos por Martínez et al. (2016).

La toxicidad en las enmiendas evaluadas varió de alta a muy alta, con valores diferentes a los encontrados por Martínez et al. (2016). La alta y muy alta toxicidad en las enmiendas evaluadas en este estudio están asociados con una baja germinación de semillas de rábano y es característico de enmiendas con bajo grado de madurez (Bagur González et al., 2011). La aplicación de estiércol en concentraciones > 20% pueden causar problemas de fitotoxicidad y escaso crecimiento radical (Torres et al., 2016).

El fertilizante Solep y el estiércol vacuno fueron las enmiendas con menor presencia de microorganismos, resultados que coinciden con Ruesga et al. (2016) quienes encontraron ausencia de *E. coli* y *Salmonella*, así como NMP de coliformes totales y escasa presencia de bacterias y hongos en los productos evaluados por Durán y Henríquez (2007). La presencia de bacterias totales y hongos puede estar en relación directa con el contenido de MO y la madurez de cada material (Garbanzo León y Vargas Gutiérrez, 2017).

## Conclusiones

El fertilizante Solep y el estiércol vacuno presentaron características adecuadas de pH, CE, MO y C/N para ser utilizadas en sustratos para cultivo de plántulas. Por su contenido de metales pesados, las enmiendas se encuentran dentro de los niveles establecidos en las normas oficiales y se clasifican como de Clase A, aptos para la producción de cultivos con destino al consumo humano. El fertilizante Solep y el estiércol vacuno no presentaron colonias de *E. coli* ni de *Salmonella*, lo que los hace apropiados para la producción de cultivos con bajo riesgo de contaminación. Los materiales evaluados presentaron alta fitotoxicidad en concentraciones > 20% en el bioensayo de germinación con rábano como especie indicadora, ocasionando bajos porcentajes de germinación. En general, el fertilizante Solep y el estiércol vacuno presentaron algunos parámetros químicos y microbiológicos de calidad, adecuados para su uso como componentes de sustratos para la producción de plántulas.

## Referencias

- Abad, M.; Noguera, P.; Puchades, R.; Maquieira, A.; Noguera, V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3), 241-245. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00189-4)
- Ansorena, J.; Batalla, E.; Merino, D. 2014. *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. Ed. Escuela Agraria de Fraisoro. España. 75p. <http://publicaciones.poscosecha.com/es/material-vegetal/126-evaluacion-de-la-calidad-y-usos-del-compost-como-componente-de-sustratos-enmiendas-y-abonos-organicos.html>
- Bagur González, M. G.; Estepa Molina, C.; Martín Peinado, F.; Morales Ruano, S. 2011. Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments*, 11(2), 281-289. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>
- Bernal, C. Ma. P.; Albuquerque, M. J. A.; Bustamante, M. Ma. A.; Clemente, C. R. 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Ed. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CSIC, Murcia, España. 113p. [http://213.229.136.11/bases/ainia\\_probiogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/\\$FILE/PROBIOGAS\\_GuiaDigerido.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/89A368DD73F7282DC125753F00587325/$FILE/PROBIOGAS_GuiaDigerido.pdf)
- Bernal, M. P.; Sommer, S. G.; Chadwick, D.; Qing, C.; Guoxue, L.; Michel Jr, F. C. 2017. Chapter Three - Current approaches and future trends in compost quality criteria for agronomic, environmental, and human health benefits. *Advances in Agronomy*, 144, 143-233. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Cano Ruera, S. 2006. *Métodos de Análisis Microbiológico*. Normas ISO, UNE. Consultora Analiza Calidad. España. 35 p. <https://studylib.es/doc/5714338/m%C3%A9todos-de-an%C3%A1lisis-microbiol%C3%B3gi-co-normas-iso>
- Crespo González, M. R.; González Eguiarte, D. R.; Rodríguez Macías, R.; Rendón Salcido, L. A.; del Real Laborde, J. I.; Torres Morán, J. P. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(8), 1161-1173. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n8/v4n8a4.pdf>
- Delgado-Arroyo, M.; Miralles-de Imperial-Hornedo, R.; Masaguer-Rodríguez, A.; Martín-Sánchez, J. 2016. Estudio de turbas y residuos avícolas procedentes de pollo de engorde como componente de sustratos de cultivo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4), 455-462. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.09>
- Dos Santos, M. R.; Sediya, M. A. N.; Salgado, L. T.; Vidigal, S. M.; Reigado, F. R. 2010. Produção de mudas de pimentão em sustratos à base de vermicomposto. *Bioscience Journal*, 26(4), 572-578. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7147>
- Durán, L.; C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 41-51. <http://www.redalyc.org/pdf/436/43631105.pdf>
- Fernández Linares, L. C.; Avelizapa, R.; Carrillo, R.; Islas, R.; Elenacoaut, M. 2006. *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. 173 p. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>
- Garbanzo León, G.; Vargas Gutiérrez, M. 2017. Actividad microbiana en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 159-169. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5716>
- García De La Fuente, R. 2011. *Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medioambiental*. Tesis de doctorado. Universitat Politècnica de València. España. 488 p. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11406/tesisUPV3618.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- García, G. A.; Bernal, M. P. Roig, A. 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource technology*, 83(2), 81-87. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00211-5)
- García Morales, C.; Taboada Gaytán, O. R.; López Sánchez, H.; López, P. A.; Mora Aguilera, G.; Tlapal Bolaños, B. 2011. Calidad de plántulas de chile 'poblano' en la Sierra Nevada de Puebla, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(2), 115-121. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000200010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000200010)
- Gómez Brandón, M.; Lazcano, C.; Domínguez, J. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70(3), 436-444. <https://www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- Gómez Merino, F. C.; Trejo Téllez, L. I.; García Albarado, J. C.; Morales Ramos, V. 2013. Lulo *Solanum quiroense* Lamarck.) como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 877-887. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-09342013000900002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013000900002&lng=es&nrm=iso)
- López Baltazar, J.; Méndez Matías, A.; Pliego Marín, L.; Aragón Robles, E.; Robles Martínez, M. L. 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1139-1150. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013001000006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013001000006)
- Martínez, M.; Ortega, R.; Janssens, M.; Angulo, J.; Fincheira, P. 2016. Selection of maturity indices for compost derived from grape pomace. *Journal of soil*

- science and plant nutrition, 16(2), 262-267. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000021>
- Montgomery, D. C. 2003. *Diseño y análisis de experimentos*. 2da Edición. Editorial Limusa Wiley. México. 700p.
- Norma Chilena de Compost. NCh 2880. 2004. Norma Chilena Oficial. Compost-Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización INN, Santiago, Chile. 27p. <https://vdocuments.site/nch-2880.html>
- Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007. 2007. Humus de lombriz (lombricomposta) -especificaciones y métodos de prueba de lombriz. México. 28p. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SAGARPA/Normas/Oficiales/nmx-ff-109-scfi-2007.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1. 2004. Diario Oficial de la Federación. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. México. 69p. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat-ssa1-2004.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Diario Oficial de la Federación. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México, 73p. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Ortega Martínez, L. D.; Sánchez Olarte, J.; Díaz Ruiz, R.; Ocampo Mendoza, J. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Ra Ximhai*, 6(3), 365-372. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46116015005.pdf>
- Pérez, A.; Céspedes, C.; Núñez, P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 10-29. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcsuelo/v8n3/art02.pdf>
- Real Decreto 865/2010 de 2 de julio. Ministerio de la Presidencia. «BOE» núm. 170, de 14 de julio de 2010. BOE-A-2010-11153. Sobre sustratos de cultivo. España. 30 p. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-11153-consolidado.pdf>
- Rodríguez Narváez, D. 2013. *Evaluación de sustratos orgánicos alternativos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 85 p. <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3400/MPA1EVA01301.pdf?sequence=2>
- Rodríguez Romero, A. J.; Robles Salazar, C. A.; Ruiz Picos, R. A.; López López, E.; Sedeño Díaz, J. E.; Rodríguez Dorantes, A. 2014. Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 307-316. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n3/v30n3a7.pdf>
- Ruesga, L.; Ocando, M.; López, M.; Gutiérrez, E.; Caldera, Y.; Gutiérrez, E. 2016. Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín. *Revista Tecnocientífica URU*, 9, 71-80. [https://www.researchgate.net/publication/339630030\\_APORTE\\_NUTRICIONAL\\_DE\\_UN\\_BIOSOLIDO\\_AVICOLA\\_OBYENIDO\\_EN\\_UN\\_PROCESO\\_DE\\_DIGESTION\\_AEROBIA SOBRE\\_UN\\_CULTIVO\\_DE\\_CEBOLLIN](https://www.researchgate.net/publication/339630030_APORTE_NUTRICIONAL_DE_UN_BIOSOLIDO_AVICOLA_OBYENIDO_EN_UN_PROCESO_DE_DIGESTION_AEROBIA SOBRE_UN_CULTIVO_DE_CEBOLLIN)
- Sánchez Hernández, D. J.; Fortis Hernández, M.; Esparza Rivera, J. R.; Rodríguez Ortiz, J. C.; De la Cruz Lázaro, E.; Sánchez Chávez, E.; Preciado Rangel, P. 2016. Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia*, 41(3), 213-217. [https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/213-Preciado-40\\_3.pdf](https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/213-Preciado-40_3.pdf)
- Tombion, L.; Puerta, A. V.; Barbaro, L. A.; Karlanian, M. A.; Sangiacomo, M. A.; Garbi, M. 2016. Características del sustrato y calidad de plantines de lechuga *Lactuca sativa* L.) según dosis de lombricompost. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 32(1), 46-52. <http://www.dx.doi.org/10.4067/S0719-38902016000100005>
- Torres, D.; Mendoza, B.; Marco, L. M.; Gómez, C. 2016. Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quibor-Venezuela. *Multiciencias*, 16(2), 133-142. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90452745003.pdf>
- Zucconi, F.; Pera, A.; Forte, M.; De Bertolli, M. 1981. Evaluations toxicity in immature compost. *BioCycle*, 22 (2), 54-57. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8229728>