

Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México

Characterization of biofertilizers used in the agricultural valley of Guasave, Sinaloa, Mexico

Luis Carlos González-Márquez¹ , Rubén Félix-Gastélum² , Jorge Antonio Sandoval-Romero¹ ,
Diana Cecilia Escobedo-Urías³  y Rosa María Longoria-Espinoza^{1*} 

¹ Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Departamento de Ingeniería Ambiental, Avenida Universidad s/n. 81120 Guasave, Sinaloa, México.

* Autora para correspondencia (rosamarialongoria@hotmail.com)

² Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Departamento de Ciencias Biológicas. Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional s/n. 812223 Los Mochis, Sinaloa, México.

³ Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Unidad Sinaloa). Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joachin. 81101 Guasave, Sinaloa, México.

RESUMEN

El desequilibrio ambiental que fertilizantes químicos ocasionan en los suelos, y la necesidad de preservar la materia orgánica para la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas, ha propiciado retornar al uso de abonos orgánicos. El objetivo del presente estudio fue determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas, como indicadores de calidad, en abonos orgánicos. El experimento se realizó en diseño de bloques al azar, cuatro repeticiones y siete tratamientos, T1: lixiviado de calcio, T2: extracto líquido de humus de Ca, T3: humus de plátano, T4: humus concentrado de Ca, T5: lombricomposta, T6: extracto líquido de lombricomposta y T7: abono de origen comercial (control). Los abonos lombricomposta, humus de plátano y comercial mostraron valores altos de nitrógeno y fósforo. Los abonos presentaron niveles de pH y conductividad eléctrica (CE) inferiores a los indicados en NOM-021-RECNAT-2000. El coeficiente de correlación fue positivo entre CE y nutrientes. El abono comercial presentó concentraciones elevadas en Cr y Pb, sin exceder los límites máximos permisibles por la NOM-052-SEMARNAT-2005. Como respuesta biológica, las semillas de lechuga y rábano presentaron el IG más bajo en humus de plátano, humus concentrado de calcio y abono comercial.

Los análisis microbiológicos presentaron ausencia en el indicador de *Salmonella* spp. y resultados mayores al límite máximo permisible para uso en la agricultura en coliformes fecales y totales. Los abonos orgánicos son elaborados con residuos de origen vegetal, animal o ambos, algunos sin control adecuado, por lo que se convierten en un problema de contaminación. Debido a la creciente demanda de abonos orgánicos es importante su estudio, ya que no existe normatividad mexicana que defina normas técnicas que establezcan características de calidad en abonos orgánicos para uso en la agricultura. Las características fisicoquímicas y biológicas varían dependiendo del material utilizado en la elaboración, lo cual es un factor que debe considerarse para obtener un producto final que aporte nutrientes disponibles a las plantas.

Palabras clave: contenido de nutrientes, fitotoxicidad, inocuidad, manejo fitosanitario, microorganismos.

SUMMARY

The environmental imbalance that chemical fertilizers cause in soils and the need to preserve organic matter for the sustainability and productivity of agricultural systems, has resumed the use of organic fertilizers. The objective of the present study was to

Cita recomendada:

González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C. y Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-14. e859. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859>

Recibido: 21 de agosto de 2020. Aceptado: 12 de febrero de 2021.
Artículo. Volumen 39, mayo de 2021.

determine the physicochemical and microbiological characteristics as indicators of quality in organic fertilizers. The experiment was carried out in a randomized block design, four replications and seven treatments, T1: calcium leachate, T2: calcium humus liquid extract, T3: banana humus, T4: concentrated calcium humus, T5: vermicompost, T6: vermicompost liquid extract and control T7: fertilizer of commercial origin (control). (4) The vermicompost, banana humus and commercial fertilizers showed high values of nitrogen and phosphate. The fertilizers had lower pH and electric conductivity (EC) levels than those indicated in NOM-021-RECNAT-2000. The correlation coefficient was positive between EC and nutrients. The commercial fertilizer presented high concentrations of Cr and Pb, without exceeding the maximum permissible limits for the NOM-052-SEMARNAT-2005. As a biological response, lettuce and radish seeds had the lowest GI in banana humus, concentrated calcium humus and commercial fertilizer. The microbiological analyzes showed an absence of the *Salmonella* indicator and results greater than the maximum allowable limit for use in agriculture in fecal and total *coliforms*. Organic fertilizers are made with residues of plant, animal or both, some without adequate control, so they become a contamination problem. Due to the increasing demand for organic fertilizers, its study is important since there is no Mexican regulation that defines technical norms to establish quality characteristics in organic fertilizers to be used in agriculture. The physicochemical and biological characteristics vary depending on the material used in the elaboration, since it is a factor that must be considered to obtain a final product that provides available nutrients to the plants.

Index words: *nutrient content, phytotoxicity, safety, phytosanitary management, microorganisms.*

INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos y de prácticas agrícolas incorrectas como el uso excesivo de químicos de diversa índole, la quema de rastrojos y la poca rotación de cultivos, ha contribuido en problemas para el medio ambiente, como contaminación de cuerpos de agua, erosión, disminución de materia orgánica pérdida de biodiversidad y contaminación por metales pesados. Lo anterior deriva en la degradación

de suelos y pérdida de capacidad productiva; sin embargo, pese a los impactos de la agricultura, la naturaleza presenta resiliencia (Rodríguez-Romero *et al.*, 2014). Los cambios en las condiciones del medio ambiente y su efecto en la agricultura, han contribuido de manera importante en el uso de insumos alternativos permitiendo abordar los agroecosistemas desde la integración cultural y socio-económica en pro de prácticas agrícolas sostenibles (Volverás, Amézquita y Táfur, 2007). Los abonos orgánicos deben evaluarse por los beneficios y efectos nocivos que aportan, por lo cual previo a su uso, es importante conocer la composición química de éstos como antecedente evitando con ello efectos perjudiciales en los cultivos (Beltrán-Morales *et al.*, 2019).

En la práctica, los abonos orgánicos son utilizados sin ser caracterizados, creando incertidumbre a los productores agrícolas por falta de registros que aseguren dosificación y uso (Plazas-Leguizamón y García-Molano, 2014). Actualmente los fertilizantes líquido-orgánico son utilizados en el control de plagas y enfermedades sin considerarse plaguicidas, por la gran diversidad de microorganismos benéficos que los componen los cuales están relacionados con el incremento de la capacidad biológica del suelo, favoreciendo con ello la reducción del número de patógenos (Rodríguez-Romero *et al.*, 2014). Los abonos orgánicos son considerados complemento a la fertilización integral, por la aportación de materia orgánica, nutrientes y microorganismos, favoreciendo la nutrición de las plantas y la fertilidad del suelo; sin embargo, el emplearlos sin un grado de madurez adecuado puede provocar efectos negativos en las plantas, debido a la presencia de metabolitos fitotóxicos como altos contenidos de amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales, que en concentraciones elevadas inhiben la germinación de semillas o el crecimiento de raíces. Ello ha incentivado la realización de bioensayos con semillas sensibles a fitotóxicos, para evaluar los efectos de estas sustancias sobre la germinación y el crecimiento de las plantas (Rodríguez-Romero *et al.*, 2014; Camelo-Rusínque, Moreno, Romero y Bonilla, 2017; Cervera-Mata *et al.*, 2019). Es importante mencionar que los lixiviados tradicionalmente han sido considerados como fertilizantes líquido-orgánico, definiéndolos como extractos que contienen microorganismos benéficos que protegen a las plantas de microorganismos patógenos

como bacterias, cenicillas y royas, y aportan nutrientes solubles con características para la aplicación foliar y en suelo (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2009).

El éxito de los abonos orgánicos radica principalmente en su preparación, microorganismos presentes, almacenamiento de los biopreparados y el método de aplicación. La calidad de un biofertilizante no está definida en la Normatividad Mexicana, existe un acuerdo emitido por SAGARPA con lineamientos para la operación orgánica de las actividades agropecuarias (Cancino-Méndez, Rosales y Herrera, 2018), pero no alguna norma en la que indique el tipo de pruebas a la que deben someterse. Como ejemplo podemos mencionar la norma técnica colombiana NTC 5167 (Norma Técnica Colombiana, 2004), en la cual se establecen las características y tipo de pruebas que deben someter los productos utilizados como biofertilizantes (Cancino-Méndez *et al.*, 2018).

En el municipio de Guasave, Sinaloa, México, la agricultura es la principal actividad económica, que cuenta con tecnología agrícola avanzada. Actualmente, la superficie de cultivo es de 181 542 hectáreas; oficialmente registradas de riego, siendo el único municipio en el estado que no cuenta con superficie agrícola de temporal, por lo que se cuenta con una amplia oferta de fertilizantes químicos y biológicos como compostas, residuos de cultivos, abonos orgánicos elaborados de manera artesanal entre otros. El deterioro ambiental causado por el uso indiscriminado de agroquímicos, ha motivado a los productores a considerar la aplicación de biofertilizantes como alternativa, incrementándose el número de productores que producen sus abonos orgánicos sin alguna certificación de calidad; en el municipio los fermentados líquidos (compostas líquidas y biofertilizantes líquidos) son de mayor demanda, principalmente entre productores de plántulas en invernadero, que los aplican por agua de riego (por gravedad o presurizado), argumentando que así tienen mayor control por ser volumen y no peso (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

En Sinaloa, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) promueve entre los productores agrícolas el uso de biofertilizantes, realizando diversos ensayos experimentales en cultivos de maíz de alto rendimiento, utilizando biofertilizantes y fertilizantes nitrogenados, obteniendo que se puede reducir 30% de fertilizantes químicos sin afectar los rendimientos e incluso incrementándolos. Por lo que

objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad nutricional e inocuidad de abonos orgánicos de elaboración artesanal y de origen orgánico comercial, utilizados con frecuencia en la región, para determinar la cantidad de macro y micronutrientes en ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de abonos orgánicos se realizó en patios traseros de productores (microempresas familiares), en el período enero-julio 2018, seleccionando abonos elaborados de manera artesanal con materias primas de uso común disponibles en la zona como lombricomposta, guano humus de plátano y lixiviados de calcio, preparados sin medidas de control de calidad por los productores agrícolas de las comunidades rurales (La Brecha y La Trinidad), pertenecientes al Municipio de Guasave, Sinaloa, México; situado entre las coordenadas geográficas 25° 19' 04" y 25° 65' 36" N y 108° 05' 26" y 108° 47' 24" O. Cada muestra consistió en una masa de 1 kilogramo.

Materiales Analizados

El experimento se realizó con seis abonos orgánicos producto de fermentación aeróbica elaborado por habitantes de dos comunidades rurales y uno de la zona urbana de Guasave, Sinaloa. La Brecha (Lixiviado de calcio, extracto líquido de humus de calcio, humus de plátano, humus concentrado de calcio), La Trinidad (extracto líquido de lombricomposta con guano) y Guasave (lombricomposta), elaborada con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*); y un abono orgánico comercial como testigo llamado Humivit (Comercializadora Hydro Environment S.A. de C.V), elaborado al 100% de Humus de lombriz o ácidos húmicos naturales, con registro RSCO-205/II/08, y licencia sanitaria 06FNV16 050 0006, certificado por OMRI listed para uso en agricultura orgánica. Con un total de seis tratamientos correspondientes a los seis abonos orgánicos elaborados de manera artesanal y un abono orgánico de origen comercial utilizado como testigo.

Determinación de Propiedades Físicoquímicas

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Occidente, Unidad Guasave. En cada uno de

los abonos se determinó la conductividad eléctrica (CE) y el pH; a través de una sonda multiparamétrica (marca YSI, modelo Professional Plus). Posteriormente se tomaron de 5 mL de cada uno de los abonos para la determinación de materia orgánica (MO), la cual se desarrolló según el método Walkley y Black (1934), por oxidación con dicromato de potasio 0.05 N, y se cuantificó por espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm. Se realizaron cuatro repeticiones, los resultados se analizaron a través del programa estadístico Statistic XL versión 1.8 con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Para el análisis de nutrientes de los abonos orgánicos utilizados en este estudio se filtraron 100 mL de cada uno de los abonos, a través de membranas de nylon de 0.45 μm (Millipore, HNWP); posteriormente los abonos se analizaron en un espectrofotómetro multiparámetro (Marca Hach, modelo DR 3900), siguiendo el protocolo del manual de operaciones con reactivos específicos para la evaluación de las concentraciones de cada elemento. Nitrógeno en diferentes formas: nitrógeno (N_T), amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-); fósforo (P_T), ion fosfato (PO_4^{3-}) y catión potasio (K^+). Como control interno se utilizó un reactivo estándar, para comparar las absorbancias de cada elemento, cada uno de los análisis se realizó por triplicado.

Método para la Determinación de Micronutrientes y Metales Pesados

Los abonos se analizaron por espectroscopia de absorción atómica, debido a la sensibilidad logrando determinar concentraciones mínimas. Se determinaron los contenidos de micronutrientes solubles en agua como Fe, Cu, Mn y Zn; así como el contenido de metales pesados (Pb, Cr y Cd), tomando como referencia los siguientes métodos: Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater), y metales por espectrometría de absorción atómica de flama (3111 B). Método directo de flama aire-acetileno (Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry 3111 B, Direct Air-Acetylene Flame Method). Los análisis mencionados se realizaron con equipo de espectroscopia de absorción atómica Perkin Elmer, Modelo 2380 AA. Donde la absorción del elemento en cada tratamiento se calculó restando el testigo (Pérez-López y Alvarado-Rodríguez, 2018).

Bioensayos de Índice de Germinación

Para evaluar el efecto tóxico de cada uno de los abonos utilizados, se emplearon semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.) variedad *radicula* y lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Duett, por ser de rápida germinación y sensibles a sustancias fitotóxicas (Sobrero y Ronco, 2008; Bagur-González, Estepa, Martín y Morales, 2011). La prueba de porcentaje de germinación, se llevó a cabo colocando 20 semillas en un trozo de papel filtro Whatman® de 90 mm de diámetro de poro No.3; en cajas Petri de 100 mm de diámetro, adicionando 2 mL de cada abono orgánico de manera uniforme, utilizando como control agua destilada desionizada estéril. Las cajas se sellaron con papel Parafilm® y se establecieron bajo condiciones de oscuridad durante siete días a $22 \pm 2^\circ\text{C}$, siguiendo el protocolo de Sobrero y Ronco (2008) con modificaciones. Posteriormente se revisó la cantidad de semillas germinadas, considerando aquellas con longitud radical mayor a 1mm; tomando en cuenta que 20 semillas representan 100%. El porcentaje de germinación permitió tener un indicio de afectación dependiendo de cada uno de los abonos. El índice de germinación en cada extracto (IG) se determinó de acuerdo a Zucconi, Monaco, Forte y de Bertoli (1985), mediante la siguiente Ecuación:

$$IG = \% SG \frac{Lrt}{Lrc} \quad (1)$$

donde:

IG = índice de germinación en %;

% SG = porcentaje de semillas germinadas con respecto al control;

Lrt = longitud media de las raíces de las plantas de los tratamientos;

Lrc = longitud media de las raíces del control.

El índice de germinación (IG) según Zucconi *et al.* (1985), establece que valores entre el 80 y 100% representa ausencia de sustancias fitotóxicas; por otra parte, rangos de 50 al 80% moderada presencia de sustancias fitotóxicas, y valores inferiores al 50% representa alta presencia de fitotóxicos. El experimento se realizó con un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para cada tratamiento; los resultados se analizaron

utilizando el programa estadístico Statistic XL versión 1.8, análisis de varianza y comparación de múltiples medias (Tukey HSD $P < 0.05$).

Análisis Microbiológicos

Para los análisis microbiológicos, se tomó la muestra por triplicado para cada uno de los abonos empleados en este estudio, utilizando como referencia para identificar de *Salmonella*, la norma oficial mexicana NOM 114-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana, 1995); para coliformes totales, el método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa de la NOM 113-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana, 1994); y para coliformes fecales, los métodos del número más probable (NMP), NMX-AA-42-1987 (Norma Mexicana, 1992) y *Escherichia coli* presuntiva, NMX-AA-42-1987 (Norma Mexicana, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de siete muestras de abonos orgánicos, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la composición físico-química (Cuadro 1). Los resultados obtenidos coinciden si consideramos el diferente origen de los materiales orgánicos utilizados en su elaboración, variando la composición química de estos.

Los abonos orgánicos de origen comercial y lombricomposta presentaron mayor contenido de Nt lo que podría asociarse a la calidad de los materiales, así como el proceso de elaboración (temperatura, humedad, pH). Estudios recientes mencionan que el biofertilizante de lombricomposta favorece la disponibilidad de nitrógeno, el cual es un elemento importante en la nutrición de los cultivos (Ramos-Oseguera *et al.*, 2019). Por otra parte, el abono de origen comercial presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la concentración de NO_3 y NH_3 , en relación con los abonos analizados lo que favorece a mayor toxicidad (Soria *et al.*, 2001).

Sin embargo, la utilización masiva de fertilizantes nitrogenados ha dado lugar a aumento importante en las emisiones en forma gaseosa durante el proceso de nitrificación y se pierde como amonio y óxido de nitrógeno (Manojlović, Čabilovski y Bavec, 2010; Grantina-Levina y Ievinsh, 2015). Los abonos orgánicos analizados presentan variabilidad en las concentraciones de micronutrientes y macronutrientes ya que son subproductos de origen animal y vegetal, así como compostaje de materia orgánica de diversa procedencia por lo que para cubrir las necesidades de fertilización se aplican en altas concentraciones. Por otra parte, los biofertilizantes de origen comercial al contener nutrientes en gran concentración se aplican en momentos específicos del desarrollo del cultivo ya

Cuadro 1. Contenido de nitrógeno (N), nitrato (NO_3), amoníaco (NH_3), fósforo (P), fosfato (PO_4^{3-}) y potasio (K^+) de los diferentes abonos orgánicos.

Table 1. Nitrogen (N), nitrate (NO_3), ammonium (NH_3), phosphorus (P), phosphate (PO_4^{3-}) and potassium (K^+) content of the different organic fertilizers.

Tratamiento	NH_3	NO_3	Nt	K^+	P_T	PO_4^{3-}
----- mg L ⁻¹ -----						
Lixiviado de calcio	4.8e [†]	0.4d	57d	3310b	6.45d	66d
Extracto líquido de humus de calcio	4.5e	0d	2.48g	1389d	2.94d	22.5f
Humus de plátano	214b	30b	39.4f	8735a	60.52b	180b
Humus concentrado de calcio	12d	24c	58.6d	2845c	8.02d	107c
Lombricomposta	23c	22c	195.8b	2620c	65b	102c
Comercial	38800a	7700a	14900a	2067c	184800a	176000a
Extracto líquido de lombricomposta con guano	3e	1d	147c	2378c	27.3c	31e

[†] Medias con diferente letra por columna difieren significativamente ($P \leq 0.05$).

[†] Means with different letters per column differ significantly ($P \leq 0.05$).

que presentan una composición química definida, pero por lo general no se utilizan de manera adecuada y la aplicación en exceso en determinado momento puede provocar importantes problemas de contaminación ambiental de manera particular los abonos nitrogenados (Tavakol *et al.*, 2018).

El fósforo (P) es uno de los principales macronutrientes esenciales, se clasifica como un nutriente primario en el crecimiento y reproducción óptima de las plantas; participa prácticamente en todos los principales procesos metabólicos, incluyendo la fotosíntesis y la respiración (Zhong *et al.*, 2017). La concentración de P en los abonos analizados presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos; el extracto líquido de humus de calcio presentó el valor más bajo, el de origen orgánico comercial valor más alto (Cuadro 1). El P es absorbido como ion fosfato por las plantas, los abonos con mayor concentración de PO_4^{3-} lo presentaron el humus de plátano, humus concentrado de calcio, lombricomposta y abono de origen comercial (Cuadro 1). El fosfato influye en importantes procesos fundamentales para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, incluso dentro de las células vegetales acelera la maduración y promueve la producción de semillas, así como también fortalece el sistema radical fomentando la extensión de las raíces y su ramificación lateral (Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres, 2016).

El potasio (K), nutriente esencial relacionado en el proceso de fotosíntesis aumenta la resistencia de las plantas en condiciones adversas, sequías y enfermedades (Tavakol *et al.*, 2018). Solo el abono orgánico de origen comercial mostró valores superiores en relación con N y P; sin embargo, todos los abonos analizados mostraron valores más elevados para K a los reportados por Quiñones-Ramírez, Trejo y Juscamaita (2016); el cual propone que los abonos orgánicos elaborados de manera artesanal deben ser ricos en nutrientes, con concentraciones mayores a 700 mg L^{-1} para N, 170 mg L^{-1} en P y un rango de 1300 mg L^{-1} , 1800 mg L^{-1} de K respectivamente. Los abonos orgánicos de producción artesanal presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de nutrientes en relación al de origen comercial el tratamiento siete (extracto líquido de lombricomposta con guano) presentó valores significativamente más bajos de nutrientes ($P < 0.05$), siendo más evidente en los contenidos de NO_3 y NH_3 y PO_4^{3-} (Cuadro 1).

La variabilidad en los resultados obtenidos en este estudio se relaciona a la diversidad de materiales

utilizados considerando que a mayor variedad de insumos en la elaboración mayor concentración de nutrientes, dificultando su estandarización; reflejando diferencias significativas en el contenido de nutrientes, lo que deja en evidencia la necesidad de mayor investigación en la caracterización y procesos de elaboración de abonos orgánicos. Es importante considerar que un abono que contiene altas concentraciones de nutrientes totales no necesariamente los libera con mayor facilidad (Vandevivere y Ramírez, 1995); sin embargo, en la práctica aquellos abonos orgánicos con altas concentraciones de nutrientes son considerados de mejor calidad. Asimismo, son utilizados como buena opción de fertilización y como alternativa en el control de patógenos. Dionne, Tweddell, Antoun y Avis (2012) realizaron un trabajo en plantas de tomate bajo condiciones *in vitro* en el control del complejo de hongos relacionados con damping-off, utilizando extracto líquido de composta demostrando que los extractos líquidos a base de composta de algas marinas, polvo de camarón, estiércol vacuno y ovino, reducían en gran medida el crecimiento del micelio de *P. ultimum*, *R. solani*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* y *Verticillium dahliae*.

Otro factor importante por considerar es el pH el cual está directamente relacionado con la absorción de nutrientes en las plantas; el pH ideal en una solución de nutrientes se encuentra en el rango de 5 y 6, mayor a 6 dificulta la absorción de Cu y fosfatos en las plantas, menor a 5 las plantas presentan problemas para asimilar N (Quiñones-Ramírez *et al.*, 2016). Los abonos de origen artesanal presentaron un pH variable, entre ácido y fuertemente alcalino (Cuadro 2), dicha variación posiblemente se encuentra relacionada a la mezcla de materiales utilizados en su elaboración. Las aplicaciones convencionales de biofertilizantes alcalinos no aumentan el pH del suelo a corto plazo. Los suelos naturales tienen una gran capacidad tampón, por lo que depende de muchos factores para que el pH del suelo se modifique; sin embargo, es importante conocer el pH de un biofertilizante para evitar problemas en el futuro. El extracto líquido de humus concentrado de Ca y extracto líquido de lombricomposta se encuentran dentro del rango ideal de pH por otra parte los valores más ácidos los presentaron el abono de origen comercial 3.3 y humus de plátano 4.2, se ha reportado que valores bajos de pH aumentan la solubilidad de algunos nutrientes como Mn y Al favoreciendo su disponibilidad lo que puede

Cuadro 2. Promedios de pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO) de los diferentes abonos orgánicos.
Table 2. Average pH, electrical conductivity (EC) and organic matter (OM) of the different organic fertilizers.

Tratamiento	pH	CE	MO
		dS m ⁻¹	%
Lixiviado de calcio	7.52b [†]	0.04b	23.02c
Extracto líquido de humus de calcio	7.75b	0.01c	21.1c
Humus de plátano	4.2d	0.03b	33.2b
Humus concentrado de calcio	6.3c	0.01c	31.02ab
Lombricomposta	7.52b	0.04b	34.2a
Comercial	3.3e	0.15a	24.2c
Extracto líquido de lombricomposta con guano	8.28a	0.05b	29.3d
	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$

[†] Letras iguales por columna no indican diferencias estadísticas Tukey ($P \leq 0.05$).

[†] Equal letters per column do not indicate Tukey statistical differences ($P \leq 0.05$).

producir intoxicación en la planta debido a que los absorbe con mayor facilidad (Fernández, Sotiropoulos y Brown, 2013; Peralta, Juscamaita y Meza, 2016).

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales solubles presentes en la solución, y se maneja como indicador en la aplicación de abonos orgánicos para fines agrícolas. Los valores de CE obtenidos en los abonos orgánicos analizados se encuentran por debajo de 1 dS m⁻¹, coincidiendo con lo citado por Yepes y Flórez (2013), quienes mencionan que valores bajos de CE facilita el manejo de fertilización ya que no se consideran fitotóxicos para la utilización en la agricultura. Por lo anterior, es importante conocer el pH y la CE de los abonos orgánicos producidos de manera artesanal, con la finalidad de no afectar la disponibilidad de nutrientes en los cultivos por el exceso de sales presentes en los abonos. Cabe mencionar que los abonos presentaron niveles de pH y CE inferiores a los indicados en NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana, 2000). Analizando la relación de CE entre N y P se observó correlación significativamente positiva, coincidiendo con lo citado por Beltrán-Morales *et al.* (2019); quienes mencionan que dicha relación se debe a la liberación de iones minerales contenidos en los abonos analizados. No así a la relación K/CE presentando correlación negativa, indicando que al disminuir el CE del abono se incrementa la concentración de K (Figura 1).

Otro parámetro importante es el contenido de materia orgánica (MO), la cual, en los abonos orgánicos elaborados de manera artesanal, consiste en materia orgánica cruda o no digerida durante el proceso de elaboración, los abonos analizados en este estudio presentaron valores mayores a 10%, de MO (Cuadro 2); por lo que podrían considerarse como calidad de segunda, según la Norma Mexicana, NMX-FF-109-SCFI-2007 (Norma Mexicana, 2008).

A pesar de los beneficios que aportan los abonos orgánicos a la calidad de los suelos, mejorando su estructura y propiedades, y favoreciendo el desarrollo de microbiota; la calidad de un biofertilizante aún no está definida; en México no existe una norma técnica que haga referencia de los requisitos que deben cumplir y las pruebas rutinarias que deben realizarse a los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes; a diferencia de otros países donde existen normas técnicas que establecen las características que debe tener un biofertilizante para uso en la agricultura convencional o la denominada agricultura orgánica (Cancino-Méndez *et al.*, 2018).

Por otra parte, los micronutrientes son elementos que los cultivos requieren en menor cantidad, lo que no significa que sean de menor importancia; están relacionados en funciones trascendentales en el desarrollo de las plantas y cualquier deficiencia ocasiona una baja en la productividad del cultivo

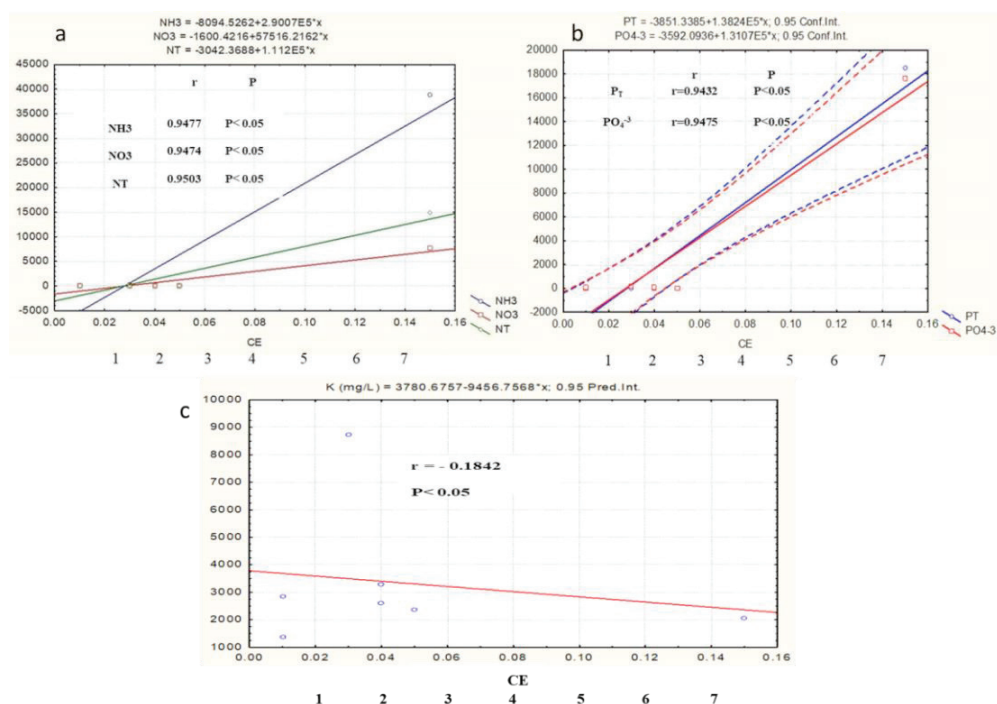


Figura 1. Correlación entre conductividad eléctrica (CE dS m⁻¹) y nutrientes (mg L⁻¹), en los abonos orgánicos de origen artesanal como: 1) lixiviado de calcio; 2) extracto líquido de humus de calcio; 3) humus de plátano; 4) humus concentrado de calcio; 5) lombricomposta; 6) comercial; 7) extracto líquido de lombricomposta con guano. (a) Nitrógeno en sus diferentes formas, (b) fósforo, (c) potasio.

Figure 1. Correlation between electrical conductivity (CE dS m⁻¹) and nutrients (mg L⁻¹), in organic fertilizers of artisan origin such as: 1) calcium leachate; 2) calcium humus liquid extract; 3) banana humus; 4) calcium concentrated humus; 5) vermicompost; 6) commercial; 7) vermicompost liquid extract with guano. (a) Nitrogen in different forms, (b) phosphorus, (c) potassium.

(Leblanc, Cerrato, Miranda y Valle, 2007). El Fe se encuentra involucrado en la fijación de N, además la presencia de Zn, Mn, Cu en cantidades balanceadas, tiene un efecto positivo en la tolerancia de las plantas ante las plagas y enfermedades (Pérez, Céspedes y Núñez, 2008). El Cu y Zn son asociados a rizotoxicidad afectando el crecimiento de raíces (Michaud, Chappellaz y Hinsinger, 2008). En este trabajo la concentración de Fe presentó diferencias significativas en extracto líquido de lombricomposta con guano y lombricomposta comparado con el abono comercial y humus concentrado de Ca los cuales no presentan diferencia estadística como se muestra en el Cuadro 3.

Es importante tener un balance de micronutrientes, debido a la naturaleza de algunos de estos, se tienen antagonismos o sinergismos, si un nutriente se encuentra en niveles suficientemente altos no permite la absorción de otro. Es conveniente mencionar que, en el municipio de Guasave, Sinaloa, no se dispone de

información sistemática con relación a contaminación por metales pesados a causa de la aplicación de fertilizantes químicos en suelos agrícolas. En el sector agropecuario los metales provienen de diversas fuentes como aguas residuales utilizadas para riego, guanos, compostas, plaguicidas, fertilizantes químicos y orgánicos; debido a la tendencia a acumularse en sistemas biológicos, representan un riesgo aun en bajas concentraciones para los ecosistemas y salud humana. Estudios de cuantificación de metales en biofertilizantes presentan variaciones significativas en la concentración, asumiendo dichos resultados a la gran diversidad de materia prima utilizada en el proceso de fabricación (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2014). La norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (Norma Mexicana, 2008), establece las especificaciones de calidad de lombricomposta producida o comercializada en territorio nacional, sin tomar en cuenta los metales pesados. Otra referencia para los materiales

Cuadro 3. Contenido de micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn (mg kg^{-1}) de abonos orgánicos de origen artesanal y comercial.
Table 3. Micronutrients Fe, Cu, Mn and Zn content (mg kg^{-1}) of organic fertilizers of artisanal and commercial origin.

Composición	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- mg kg^{-1} -----			
Lixiviado de calcio	5147b [†]	74b	281cd	111d
Extracto líquido de humus de calcio	4216b	46cd	224cd	306a
Humus de plátano	5614b	53c	362c	275b
Humus concentrado de calcio	7536a	48cd	553b	285a
Lombricomposta	2896c	45cd	585b	185c
Comercial	7533a	105a	700a	300a
Extracto líquido de lombricomposta con guano	4175b	57c	243cd	181cb

[†] Letras iguales por columna no indican diferencias estadísticas Tukey ($P \leq 0.05$).

[†] Equal letters per column do not indicate Tukey statistical differences ($P \leq 0.05$).

orgánicos es la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites permisibles de contaminantes en biosólidos para uso y disposición final (Norma Oficial Mexicana, 2003). Los diferentes abonos orgánicos analizados en este estudio no rebasaron los límites máximos permisibles para uso agrícola que indica esta norma, que son: 39 en Cd y 300 en Pb mg kg^{-1} de materia seca respectivamente.

En este estudio el abono orgánico de origen comercial presentó concentraciones elevadas especialmente Cr y Pb sin exceder los límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-052-SEMARNAT-2005 (Norma Oficial Mexicana, 2006), la cual establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos (Figura 2).

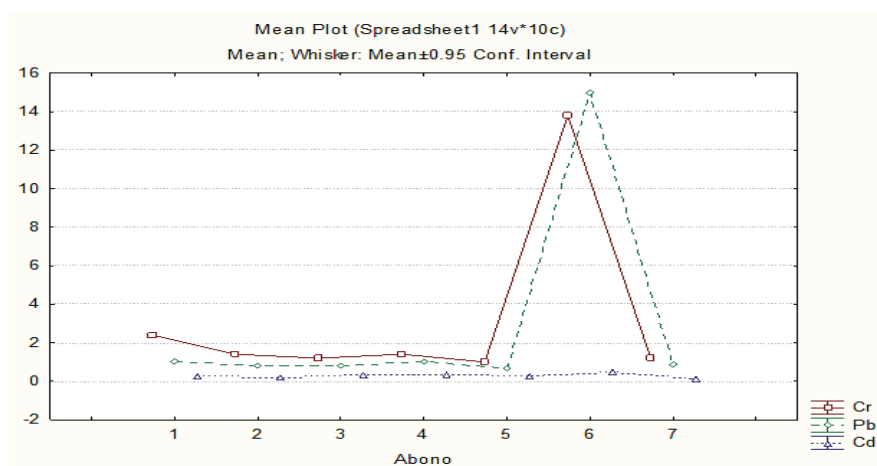


Figura 2. Contenido de metales pesados Cr, Pb y Cd (mg kg^{-1}), en los abonos orgánicos de origen artesanal como: 1) lixiviado de calcio; 2) extracto líquido de humus de calcio; 3) humus de plátano; 4) humus concentrado de calcio; 5) lombricomposta; 6) comercial; 7) extracto líquido de lombricomposta con guano.

Figure 2. Content of heavy metals Cr, Pb and Cd (mg kg^{-1}), in organic fertilizers of artisanal origin such as: 1) calcium leachate; 2) liquid extract of calcium humus; 3) banana humus; 4) calcium concentrated humus; 5) vermicompost; 6) commercial; 7) liquid extract of vermicompost with guano.

Sin embargo, en relación con el Cd ninguno de los abonos analizados alcanzó ni la décima parte del límite máximo permitido (LMP) (1 mg L^{-1}). En suelos agrícolas, la concentración de los metales pesados o elementos traza se han incrementado significativamente a través de los años, debido al uso excesivo de agroquímicos provocando fragilidad del sistema, así como también pueden ser movilizados por filtración hacia los mantos acuíferos afectando los suministros de agua potable (Balderas-Plata, Cajuste, Lugo y Vázquez, 2003; Granada-Torres y Prada-Millán, 2015). Por otra parte, el índice de germinación (IG) constituye un indicador de la interacción de los factores que promueven o inhiben la germinación, por lo que representa un buen parámetro para describir el potencial fitotóxico de un material orgánico (Andriolo *et al.*, 2005; Rodríguez-Romero *et al.*, 2014; Quiñones-Ramírez *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que los abonos orgánicos compuestos de humus de plátano, humus concentrado de calcio, extracto líquido de lombricomposta y de origen comercial presentaron el IG más bajo tanto en lechuga como en rábano (Figura 3).

Considerando que dichos abonos presentaron valores elevados de N amoniacal, los resultados coinciden con lo publicado por Li, Liu, Khan y Yamaguchi (2005), ellos mencionan que los compuestos nitrogenados estimulan la germinación, pero en concentraciones elevadas se convierten en una especie química nitrogenada que produce fitotoxicidad en el proceso de germinación. De igual manera los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con lo reportado por Wong, Cheung y Cheung (1983) y Fuentes *et al.* (2004); donde altas concentraciones de N amoniacal presentan efectos fitotóxicos sobre la germinación de las semillas de diversas plantas. Otro factor importante de considerar es la acidez de los abonos en este estudio el humus de plátano y orgánico comercial presentaron valores de pH ácidos 4.2 y 3.3 respectivamente, y el valor óptimo en lechuga es 5.8 con base en este criterio, permite sugerir que la acidez del abono orgánico comercial ejerce efectos fitotóxicos disminuyendo el IG en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) (Figura 3). Este análisis permite comprobar la sensibilidad del bioensayo de germinación generando respuestas biológicas

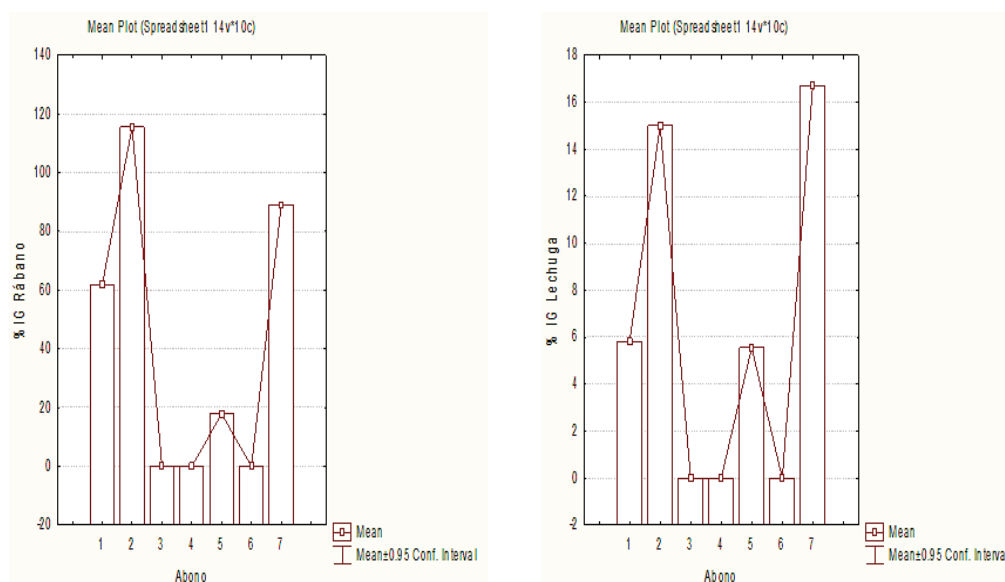


Figura 3. Evaluación del índice de germinación (%), como respuesta biológica de semillas rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en los abonos orgánicos de origen artesanal como: 1) lixiviado de calcio; 2) extracto líquido de humus de calcio; 3) humus de plátano; 4) humus concentrado de calcio; 5) lombricomposta; 6) comercial; 7) extracto líquido de lombricomposta con guano.

Figure 3. Evaluation of the germination index (%), as a biological response of radish (*Raphanus sativus*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seeds in organic fertilizers of artisanal origin such as: 1) calcium leachate; 2) liquid extract of calcium humus; 3) Banana humus, 4) calcium concentrated humus; 5) vermicompost; 6) commercial; 7) liquid extract of vermicompost with guano.

asociadas a la exposición de semillas con abonos orgánicos elaborados artesanalmente con diferentes características fisicoquímicas.

La calidad sanitaria de un material determina su aptitud para diferentes usos, en el presente estudio se observó ausencia de *Salmonella* spp. y *Pseudomona aeruginosa*, lo cual es de suma importancia dado que la ausencia de la primera es un requisito indispensable requerido por la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica), criterio sobre lo que están basados los estándares básicos mundiales de calidad en alimentos orgánicos (Cancino-Méndez et al., 2018). Sin embargo, fue positivo para coliformes fecales y *Escherichia coli* en los abonos lixiviado de Ca y humus concentrado de Ca (Cuadro 4).

Es importante evaluar microbiológicamente los abonos orgánicos principalmente los de origen artesanal ya que debido a la diversidad de materiales utilizados en su elaboración sin regulación sanitaria, presentan alto contenido de carga microbiana, por ejemplo el uso de estiércol transformado en composta, bioles (fermentados de excretas y otros subproductos agropecuarios), son una fuente potencial de contaminación si no son adecuadamente procesados, por otra parte, es importante considerar la diseminación en el medio ambiente (suelo, agua, superficie de las plantas), la cual merece especial atención por las consecuencias en salud e higiene ambiental; la presencia de bacterias

del grupo coliformes en abonos orgánicos se considera como un criterio de contaminación y mala calidad sanitaria (Cancino-Méndez et al., 2018).

CONCLUSIONES

Los abonos orgánicos de origen artesanal evaluados en este trabajo son elaborados con materiales locales económicos y de fácil disponibilidad. Sin embargo, el proceso de elaboración se realiza sin control de calidad, lo que refleja una significativa variabilidad en el contenido de nutrientes entre cada uno de los abonos analizados. El abono de origen comercial presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido de macronutrientes.

En este trabajo, los extractos líquidos de lombricomposta, lombricomposta con guano y extractos de origen mineral son considerados como buenas fuentes de nutrientes para los cultivos, sin embargo, en la Normatividad Mexicana aún no se encuentran definidas las características que debe cumplir un biofertilizante para su utilización.

Conocer la calidad nutricional de los abonos orgánicos elaborados de manera artesanal en la región proporciona seguridad al productor para un mejor manejo de sus cultivos. Aún son pocos los trabajos relacionados a la caracterización de nutrientes en abonos orgánicos en el municipio de Guasave, Sinaloa.

Cuadro 4. Composición microbiológica de los diferentes abonos orgánicos.

Table 4. Microbiological composition of the different organic fertilizers.

Tratamiento	<i>Salmonella</i> spp.	Coliformes fecales	<i>Pseudomona Aeruginosa</i>	<i>Escherichia coli</i>
		NMP /g ms		NMP /g ms
Lixiviado de calcio	Ausencia	1800	Ausencia	2232
Extracto líquido de humus de calcio	Ausencia	0	Ausencia	0
Humus de plátano	Ausencia	0	Ausencia	Nd
Humus concentrado de calcio	Ausencia	24000	Ausencia	Nd
Lombricomposta	Ausencia	43000	Ausencia	Nd
Comercial	Ausencia	1943	Ausencia	0
Extracto líquido de lombricomposta con guano	Ausencia	3956	Ausencia	Nd
Cumple Norma [†]		No		No

NMP = número más probable; ms = materia seca. [†] De acuerdo con NMX-FF-109-SCFI-2007 y NMX-AA-42- 1987, el Límite Máximo Permisible de coliformes fecales y *E. coli* es de ≤ 1000 NMP / g ms.

NMP = most probable number; ms = dry matter. [†] According to NMX-FF-109-SCFI-2007 and NMX-AA-42- 1987, the Maximum Permissible Limit of fecal coliforms and *E. coli* is ≤ 1000 NMP / g ms.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

Universidad de Occidente por parte de la Dirección de Investigación y Posgrado. “Programa Institucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado (PIFIP)”.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.C.G.M. y R.M.L.E. Metodología: L.C.G.M., R.M.L.E., J.A.S.R. y D.C.E.U. Software: L.C.G.M. y R.M.L.E. Validación: R.F.G. Análisis formal: R.M.L.E. Investigación: L.C.G.M. y R.M.L.E. Recursos: L.C.G.M., R.M.L.E., D.C.E.U. y R.F.G. Curación de datos: R.F.G. y R.M.L.E. Escritura, preparación de borrador original: R.M.L.E. Escritura, revisión y edición: L.C.G.M., R.M.L.E., R.F.G. y D.C.E.U. Visualización: R.M.L.E. y R.F.G. Supervisión: L.C.G.M. y D.C.E.U. Administración del proyecto: R.M.L.E. y L.C.G.M. Adquisición de fondos: L.C.G.M., R.M.L.E., D.C.E.U. y R.F.G.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Universidad Autónoma de Occidente y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Sinaloa, por el apoyo para la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Andriolo, J. L., Lopes da Luz, G., Witter, M. H., dos Santos Godoi, R., Barros, G., & Bortolotto, O. C. (2005). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira*, 23(4), 931-934. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000400014>
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. A., Montoya, L. G., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56. <https://doi.org/10.35197/rx.06.01.2010.07.aa>
- Balderas-Plata, M. Á., Cajuste, L., Lugo-de la Fuente, J. A., & Vázquez-Alarcón, A. (2003). Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho. *Terra Latinoamericana*, 21(4), 449-459.
- 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, 281-289. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>
- Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Díez, E., Alcala-Jauregui, J. A., & Murillo-Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 371-378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Camelo-Rusínque, M., Moreno-Galván, A., Romero-Perdomo, F., & Bonilla-Buitrago, R. (2017). Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(3), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.005>
- Cancino-Méndez, G. M., Rosales-Uc, E. M., & Herrera-Chalé, F. G. (2018). La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista del Centro de Graduados. Instituto Tecnológico de Mérida*, 33(72), 121-125.
- Cervera-Mata, A., Navarro-Alarcón, M., Delgado, G., Pastoriza, S., Montilla-Gómez, J., Llopis, J., Sánchez-González, C., & Rufián-Henares, J. A. (2019). Spent coffee grounds improve the nutritional value in elements of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and are an ecological alternative to inorganic fertilizers. *Food Chemistry*, 282, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.101>
- Dionne, A., Tweddell, R. J., Antoun, H., & Avis, T. J. (2012). Effect of non-aerated compost teas on damping-off pathogens of tomato. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(1), 51-57. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.660195>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2013). *Foliar fertilization scientific principles and field practices*. (1th ed.). Paris, France: IFA. ISBN: 979-10-92366-00-6.
- Fuentes, A., Lloréns, M., Sáez, J., Aguilar, M. I., Ortuño, J. F., & Meseguer, V. F. (2004). Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges. *Journal of Hazardous Materials*, 108(3), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.014>

- Granada-Torres, C. A., & Prada-Millán, Y. (2015). Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 169-182. <https://doi.org/10.22490/21456453.1414>
- Grantina-Ilevina, L., & Levinsh, G. (2015). *Microbiological characteristics and effect on plants of the organic fertilizer from vermicompost and bat guano*. In Annual 21st International Scientific Conference: Research for Rural Development. Volume 1. (pp. 95-101). Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture.
- Leblanc, H. A., Cerrato, M. E., Miranda, A., & Valle, G. (2007). Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Tierra Tropica*, 3, 97-107.
- Li, W., Liu, X., Khan, M. A., & Yamaguchi, S. (2005). The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrate, nitrite and light on the germination of dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions. *Journal of Plant Research*, 118, 207-214. <https://doi.org/10.1007/s10265-005-0212-8>
- Manojlović, M. S., Čabilovski, R., & Bavec, M. (2010). Organic materials: Sources of nitrogen in the organic production of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(2), 163-172. <https://doi.org/10.3906/tar0905-11>
- Michaud, A. M., Chappellaz, C., & Hinsinger, P. (2008). Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant and Soil*, 310, 151-165. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9642-0>
- Mixquititla-Casbis, G., & Villegas-Torres, O. G. (2016). Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(3), 55-61.
- Norma Mexicana NMX-AA-42-1987. (1992). Calidad del agua. Determinación del número más Probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007. (2008). Humus de Lombriz (Lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. (1994). Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994. (1995). Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en Alimentos. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. (2003). Protección ambiental. Lodos y biosólidos. especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. (2006). Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*, D. F.: SEGOB.
- Norma Técnica Colombiana 5167. (2004). Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. *ICONTEC*. Colombia.
- Peralta-Veran, L., Juscamaita-Morales, J., & Meza-Contreras, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización físico-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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000300002>
- Pérez López, E., & Alvarado Rodríguez, D. C. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 387-396. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998>
- Plazas-Leguizamón, N. Z., & García-Molano, J. F. (2014). Los abonos orgánicos y la agremiación campesina: una respuesta a la agroecología. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 170-176.
- Quiñones-Ramírez, H., Trejo-Cadillo, W., & Juscamaita-Morales, J. (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1726-2216. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.753>
- Ramos-Oseguera, C. A., Castro-Ramírez, A. E., León-Martínez, N. S., Álvarez-Solís, J. D., & Huerta-Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*, 37(1), 45-55. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Favela-Chávez, E., Moreno-Reséndez, A., Márquez-Hernández, C., Ochoa-Martínez, E., & Preciado-Rangel, P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 319-327.
- Rodríguez-Ortiz, J. C., Alcalá-Jáuregui, J. A., Hernández-Montoya, A., Rodríguez- Fuentes, H., Ruiz-Espinoza, F. H., García-Hernández, J. L., & Díaz-Flores, P. E. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 695-701.
- 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 biomonitorio de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 307-316.
- Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2008). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). En P. Ramírez Romero & A. Mendoza Cantú (Eds.). *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. La experiencia en México*. (pp. 55-68). México, D. F.: SEMARNAT.
- Soria-Fregoso, M. J., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J. D., Alcántara-González, G., Trinidad-Santos, J., Borges-Gómez, L., & Pereyda-Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 353-362.

- Tavakol, E., Jákli, B., Cakmak, I., Dittert, K., Karlovsky, P., Pfohl, P., & Senbayram, M. (2018). Optimized potassium nutrition improves plant-water-relations of barley under PEG-induced osmotic stress. *Plant and Soil*, 430(1-2), 23-35. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3704-8>
- Vandevivere, P., & Ramírez, C. 1995. Bioensayo microbiano para determinar los nutrimentos disponibles en abonos orgánicos. *Boltec*, 28(2), 90-96.
- Volverás, B., Amézquita, E., & Táfur, H. (2007). Efecto del tiempo de uso en las condiciones físicas del suelo andino en el departamento de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 56(1), 29-36. Recuperado a partir de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/566
- Walkley, A., & Black, A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wong, M. H., Cheung, Y. H., & Cheung, C. L. (1983). The effects of ammonia and ethylene oxide in animal manure and sewage sludge on the seed germination and root elongation of *Brassica parachinensis*. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 3(2), 109-123. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(83\)90008-9](https://doi.org/10.1016/0143-1471(83)90008-9)
- Yepes, L. F., & Flórez, V. J. (2013). Analysis of the electric conductivity and pH behaviors in recycled drainage solution of rose cv. Charlotte plants grown in substrate. *Agronomia Colombiana*, 31(3), 352-361.
- Zhong, H., Kim, Y. N., Smith, C., Robinson, B., & Dickinson, N. (2017). Seabird guano and phosphorus fractionation in a rhizosphere with earthworms. *Applied Soil Ecology*, 120, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.006>
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M., & de Bertoli, M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In Gasser, J. K. R. (Ed.). *Composting of agricultural and other wastes* (pp. 73-86). London, U.K.: Elsevier, Applied Science.