

Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica

Inorganic nitrogen, phosphorus and potassium content of natural fertilizers for use in organic agriculture

Félix Alfredo Beltrán-Morales¹ , Alejandra Nieto-Garibay^{2†} ,
Jesús Salvador Argenis Murillo-Chollet¹ , Francisco Higinio Ruiz-Espinoza¹ ,
Enrique Troyo-Díez² , Jorge Alonso Alcalá-Jauregui³  y Bernardo Murillo-Amador² 

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5. 23080 La Paz, B.C.S., México.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, B.C.S., México.

[†] Autora para correspondencia (anieto04@cibnor.mx)

³ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Carretera San Luis-Matehuala km 14.5. Apartado Postal 32. 78321, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

RESUMEN

El uso indiscriminado de fertilizantes ha contribuido a la salinidad del suelo tanto como al agotamiento de recursos minerales del mismo ocasionando así dependencia a los fertilizantes sintéticos por parte de los productores agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido inorgánico de N, P, K en las formas asimilables para las plantas de seis abonos orgánicos potenciales a utilizarse en la agricultura orgánica, bajos los principios del cuidado al medio ambiente. Las determinaciones de los elementos fueron realizados a través de un espectrofotómetro marca HANNA modelo HI83225-01. El abono con mayor contenido de nitrógeno es sus formas asimilables fue el guano de murciélago, seguido por la gallinaza y lombricomposta Fertium®. En el caso del fósforo, el abono que mostró la más alta cantidad fue de igual manera el guano de murciélago seguido por la gallinaza y estiércol de vaca. Para la determinación de potasio fue el guano de murciélago quien obtuvo el resultado más alto junto con la gallinaza y lombricomposta Fertium®. Los seis abonos observaron valores altos de conductividad eléctrica (CE), y la gallinaza, guano de murciélago y estiércol de vaca observaron los mayores valores de éste parámetro, relacionados de forma significativa con el contenido

de nutrientes. En cuanto al pH los seis abonos se encontraron con valores dentro de los permitidos por las normas mexicanas. Los resultados permiten generar información del contenido de nutrientes de los seis abonos para realizar su adecuada aplicación por los productores.

Palabras clave: contenido de nutrientes, espectrofotómetro, estiércoles.

SUMMARY

The indiscriminate use of fertilizers has contributed to soil salinity as well as to the depletion of soil mineral resources, causing farmers to depend on synthetic fertilizers. The objective of this study was to determine the content of plant-assimilable forms inorganic N, P, K in six organic fertilizers with potential use in organic agricultural production under principles of caring for the environment. Element determinations were performed with a HANNA spectrophotometer model HI83225-01. The fertilizer with the highest content of assimilable nitrogen was bat guano, followed by chicken manure and vermicompost Fertium®. In the case of phosphorus, the fertilizer that showed the highest amount was similarly bat guano followed by the chicken and cow manure. For the determination of

Cita recomendada:

Beltrán-Morales, F. A., A. Nieto-Garibay, J. S. A. Murillo-Chollet, F. H. Ruiz-Espinoza, E. Troyo-Díez, J. A. Alcalá-Jauregui y B. Murillo-Amador. 2019. Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana* 37: 371-378.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>

Recibido: 11 de marzo de 2019.

Aceptado: 31 de mayo de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 371-378.

potassium was bat guano that obtained the highest score along with the manure and vermicompost Fertihum®. The six organic fertilizers showed high values of electric conductivity (CE); chicken manure, bat guano and cow manure had the highest values. CE was significantly related to the nutrient content of organic fertilizers. The six organic fertilizers were within the values allowed by Mexican norms. The results generated in this study provide important information about the nutrient content of six organic fertilizers for their proper use.

Index words: *nutrient content, spectrophotometer, manures.*

INTRODUCCIÓN

El impacto que el inadecuado uso de los fertilizantes químicos provoca ha sido ampliamente estudiado, desde aspectos de su impacto en el suelo, agua, aire y en los últimos años en la emisión de gases de efecto invernadero (Pingali *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2018). Consecuentemente crece la demanda por una producción de alimento más sana tanto para la salud humana como para el ambiente pudiendo adoptar los principios de la producción orgánica, biológica o ecológica como parte de la solución (SOAAN-IFOAM, 2013). Este tipo de agricultura demanda insumos inocuos que funcionen adecuadamente como fertilizantes o abonos proporcionando al suelo y a la planta lo necesario para su conservación y desarrollo (Roussos *et al.*, 2017). Dentro de los insumos más utilizados en la producción inocua de cultivos vegetales están los abonos orgánicos nombrados así por su origen natural y porque sirven a la agricultura orgánica, término que se usará en este artículo como una agricultura que de acuerdo a la International Federation of Organic Agriculture (IFOAM, 2005) es holística, respetando y emulando los procesos ecológicos para la obtención de alimentos sanos cuidando la salud ambiental y humana lo que incluye el respeto a los ciclos naturales. Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes y mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Herencia y Maqueda, 2016). La composición química de los abonos orgánicos varía de acuerdo a su origen que incluye a residuos de plantas, frutas, los residuos de cosecha, los estiércoles, guanos de aves y murciélagos incluso

residuos de industrias acuícolas y que por ello difieren grandemente en cuanto a los elementos que contienen. Dentro de los principales nutrientes para las plantas están los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en sus diferentes formas y que constituyen parte muy importante en la nutrición vegetal. El N es uno de los componentes de compuestos orgánicos en las plantas (aminoácidos, proteínas, clorofila y ácidos nucleicos), sus formas más asimilables son NO_3^- y NH_4^+ (Zhong *et al.*, 2017). Por otro lado, si bien los abonos orgánicos han sido evaluados en sus beneficios al suelo y aporte nutricional, también deben considerarse posibles efectos nocivos, tales como contaminación por metales pesados, patógenos y un exceso o desbalance en el contenido de los nutrientes (Westerman y Bicudo, 2005; Hill y Baldwin, 2012). Este tipo de trabajos han sido escasos en cuanto a su caracterización nutrimental. Bajo este contexto, es necesario el conocimiento de estas variaciones de la composición química como antecedente para la aplicación de los abonos orgánicos y poder establecer un balance nutrimental dependiendo del cultivo y suelo en que se cultivan. Tan importante es el balance de nutrientes, que si es negativo (aplicar menos nutriente de lo que se extrae en el cultivo) disminuye el rendimiento de los cultivos. Si es uno positivo exagerado (aplicar nutrientes en mayor cantidad de los extraídos por los cultivos) provoca menos eficiencia en el uso de fertilizantes y problemas ambientales de contaminación (Whitbread *et al.*, 2003). Entre los abonos orgánicos más usados en la agricultura, están las compostas y lombricompostas. La primera como el resultado de un proceso de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos hasta la obtención de un producto bioquímicamente estable (Soobhany *et al.*, 2015). En el caso de la lombricomposta como un proceso de transformación de los residuos orgánicos a través del tracto digestivo de la lombriz de tierra. De acuerdo a Doana *et al.* (2013) ambos casos se caracterizan por tener nutrientes fácilmente asimilables por las plantas comparados al uso de residuos orgánicos como guanos y estiércoles sin procesar. Por esta razón, el objetivo de este trabajo, es caracterizar algunos de los abonos orgánicos que se utilizan para la agricultura orgánica y conocer algunas propiedades químicas de los mismos, para conocer su potencialidad en el uso de producción de cultivos, contribuyendo al conocimiento y generación de información necesaria para la toma de decisiones de productores agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), que se encuentra situada en el km 5.5 carretera al Sur, ubicada en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México. Localizada en 24° 10 N y 110° 19 O, a 18.5 m de altitud.

Materiales Analizados

Se examinaron seis abonos orgánicos, estiércol de vaca y gallinaza que se obtuvieron de los corrales de engorda de aves y bovinos la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), la lombricomposta se obtuvo del lombricario de la UABCS. Se analizó una lombricomposta comercial llamada Fertium® (MICADAN S.A. de C.V. de Navolato Sinaloa, México), elaborado a base de humus de lombriz y está certificado por OMRI y Bioagricert S.C. para utilizarse en la agricultura orgánica certificada. El guano de pato se obtuvo de la empresa Guanos del Pacífico situada en Ciudad Constitución ubicada al norte del estado y el guano de murciélago de la localidad de Los Barriles en el municipio de Los Cabos B.C.S.

Método de Determinación de Macroelementos

Los abonos se analizaron a través de un análisis colorimétrico que se basa en el principio de que componentes específicos reaccionan con otros para formar un color con una intensidad. La cantidad de radiación absorbida se obtiene por la ley de Lambert-Beer (Higson, 2007). Por lo tanto, la concentración molar de la sustancia puede calcularse a partir de la absorbancia de la sustancia como de otros factores que son conocidos. Este análisis químico fotométrico está basado en la posibilidad de desarrollar a una absorbancia compuesta de una reacción química específica entre la muestra y los reactivos. Lo anterior es el principio del espectrofotómetro multiparámetro para medir nutrientes (marca HANNA modelo HI83225-01) donde se utilizan reactivos específicos para cada elemento. Siguiendo las instrucciones del Manual de Operaciones (HANNA MAN83225, 2013¹) se utilizan reactivos para cada elemento y con un reactivo estándar se comparan

las diferentes absorbancias para determinar la cantidad de cada elemento. Se determinaron los contenidos de N, P, K en sus diferentes formas: amoníaco (NH_3), amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), fósforo (P), ion fosfato (PO_4^{3-}), catión potasio (K^+) y óxido de potasio (K_2O). Para la preparación de la muestra, cada abono orgánico fue cribado con un tamiz número 10 (USA standard testing sieve W.S. Tyler Incorporated.). En un recipiente de plástico se añadió 1 kg de cada abono orgánico, donde posteriormente se agregó agua destilada con el fin de llevar el abono a capacidad de campo, después de concluir con ese paso, se colocó un lisímetro o tubo de acceso a la solución del suelo marca Irrrometer (SSAT Riverside California) para la extracción de la solución de la muestra. Se realizaron cuatro repeticiones para cada parámetro incluyendo mediciones de conductividad eléctrica (CE) en dS m^{-1} y el pH de cada abono orgánico con un instrumento marca HANNA modelo HI98130. El análisis de los resultados se realizó utilizando el programa estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2012). Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar y se corrió un análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Tukey HSD $P = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitrógeno (N)

Los resultados de éste trabajo mostraron que el abono de guano de murciélago y la gallinaza presentaron la cantidad más alta de nitrógeno en las formas de NH_3 y NH_4^+ (Cuadro 1), cantidades similares de nitrógeno a las encontradas en este estudio, han sido también reportados por Szpak *et al.* (2012a), quienes a su vez mencionan que el guano de aves marinas fue el fertilizante económicamente más significativo durante el siglo XX debido a estos altos contenidos de nitrógeno. Los contenidos más altos en nitrógeno en forma de NO_3^- fue la lombricomposta Fertium® (Cuadro 1), estos resultados están de acuerdo con lo encontrado por Suthar (2008) y Beltrán (2016) quienes mencionan que la acción de la lombriz de tierra sobre los residuos orgánicos que ingesta implica la combinación de la motilidad muscular que permite homogeneizar el material, mientras que le va agregando mucosidad y

¹ HANNA Instruments. 2013. Instruction Manual HI 83225 Grow Master for Nutrient Analysis. Woonsocket, RI 02895 USA.

Cuadro 1. Contenido de nitrógeno (N), en sus diferentes formas, nitrato (NO₃), amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄⁺).
Table 1. Nitrogen content (N), in its different forms, nitrate (NO₃), ammonia (NH₃) and ammonium (NH₄⁺).

Tratamiento	Elementos		
	NO ₃ ⁻	NH ₃	NH ₄ ⁺
	----- mg L ⁻¹ -----		
Lombricomposta Fertihum®	7040 a [†]	20 c	21.5 c
Lombricomposta UABCS	1360 b	12 c	12 c
Guano de pato	89 b	52 c	56 c
Guano de murciélago	0 b	9400 a	9960 a
Gallinaza	376 b	4790 b	5080 b
Estiércol de vaca	180 b	550 c	590 c
	<i>P</i> < 0.000002	<i>P</i> < 0.00000	<i>P</i> < 0.00000

[†] Literales diferentes por columna indican diferencias estadísticas según a la prueba de Tukey (*P* ≤ 0.05).

[†] Different letters for each column indicate statistical differences, according to the Tukey test (*P* ≤ 0.05).

enzimas incrementando el área de contacto de la acción microbiana. De esta forma se incrementa la cantidad de nitrógeno en sus formas más asimilables para este tipo de abonos comparadas con los guanos de pato, murciélago, gallinaza y estiércol de vaca. Desde el punto de vista agrícola el nitrógeno en forma de NO₃⁻ es útil para las plantas (Hadas y Rosenberg, 1992) por lo que los fertilizantes analizados de lombricomposta resultan adecuados por el contenido de nitrógeno en esa forma. El guano de murciélago y la gallinaza con el más alto contenido de NH₄⁺ que es asimilable por las plantas, también se presentan como buenos fertilizantes (Gross *et al.*, 2012). En estos dos abonos orgánicos es importante considerar el alto contenido de nitrógeno en forma de NH₃, por lo que su aplicación en suelo con fines de fertilización deberá sufrir una nitrificación para absorberlo (Manojlović *et al.*, 2010).

Fósforo (P)

Después del N el P es el segundo nutriente más importante para la nutrición vegetal, pero a diferencia del N está menos disponible (Zonga *et al.*, 2017), éste tiene que ser incorporado con fertilizantes inorgánicos, cuyo costo es alto si proviene de roca fosfórica, por lo que existen alternativas más económicas mediante el uso de abonos orgánicos provenientes de residuos de las excretas de animales ya sean procesadas o no (Peirce *et al.*, 2013). De acuerdo a Otero *et al.* (2015) el contenido de P en el guano varía entre el 1.2 y 16% en peso seco. En el caso de los datos obtenidos del análisis

de guano de murciélago el PO₄⁻³ presentó los valores significativamente más altos de las dos formas estudiadas de P que el resto de los abonos (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los encontrados por Szpak *et al.* (2012b) en guanos de aves marinas en Perú y que son utilizados como fertilizantes. La gallinaza presentó los segundos valores más altos de P y PO₄⁻³ (Cuadro 2) lo cual ofrece una buena oportunidad en su uso como fertilizante sobre todo por la parte soluble del P. Pierce *et al.* (2013) menciona que el estado de mineralización del fósforo en el suelo es importante para su viabilidad como nutriente en las plantas y éste dependerá del tiempo que haya estado en el suelo o en abonos provenientes de la lombricomposta o composta, probablemente esta también sea la razón por la que el estiércol, la lombricomposta UABCS y el guano de pato presentarán menor contenido de P y sus formas (Cuadro 2) comparados a los dos mencionados con mayor valor.

Potasio (K)

El K⁺ es un macroelemento que desempeña un papel muy importante en las plantas, en la apertura estomática donde las células guarda se abren con la acumulación del K⁺ y se cierran con su pérdida. Contribuye a mantener niveles altos de turgencia a través de la retención de agua en las células, participa en la activación de enzimas en la fotosíntesis, así como en la calidad de los cultivos (Tavakol *et al.*, 2018). Los resultados del análisis de cada abono orgánico

Cuadro 2. Contenido de fósforo (P), fosfato (PO_4^{-3}), potasio (K^+) y óxido de potasio (K_2O) de diferentes abonos orgánicos.
Table 2. Content of phosphorus (P), phosphate (PO_4^{-3}), potassium (K^+) and potassium oxide (K_2O) of different organic fertilizers.

Tratamiento	Elementos			
	P	PO_4^{-3}	K^+	K_2O
	----- mg L ⁻¹ -----			
Lombricomposta Fertihum®	22.5 c [†]	68.5 c	7080 abc	8480 abc
Lombricomposta UABCS	15 c	34 c	1120 cd	1320 cd
Guano de pato	50 c	146b c	192 d	232 d
Guano de murciélago	2140 a	6520 a	11675 a	14080 a
Gallinaza	200 b	600 b	10160 ab	12160 ab
Estiércol de vaca	87.5c	268.5bc	4640bcd	5520 bcd
	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$

[†] Literales diferentes por columna indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

[†] Different letters for each column indicate statistical differences, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

mostraron que la lombricomposta comercial, el guano de murciélago y la gallinaza tuvieron los valores más altos de las dos formas de potasio que se analizan (K^+ , K_2O) (Cuadro 2). Lo anterior concuerda con autores como Grantina-Ievina y Ievish (2015) quienes plantean que en el caso del guano estos valores son altos debido a una alta mineralización del guano en el suelo después de que las aves lo depositan. En el caso de la lombricomposta, Suthar (2008), reportó que durante el proceso de vermicomposta se incrementa el contenido de K^+ entre un 104 a 160% del material inicial, si bien esto puede variar dependiendo de los materiales vermicompostados, la tendencia siempre es a aumentar su contenido durante el proceso.

Conductividad Eléctrica (CE) y pH

El pH y la CE tienen una estrecha relación con las formas encontradas de los nutrientes NPK en los abonos orgánicos y la posibilidad de que sean utilizados por las plantas una vez que son aplicados al suelo. Hadas y Rosenberg (1992) encontraron que el porcentaje de N liberado de manera soluble se incrementa de un pH 7 a 8.5 o más, por lo que todos los abonos orgánicos analizados en este trabajo, en sus dos formas asimilables de N, presentan una mayor posibilidad de solubilización o mineralización para servir como nutrientes a las plantas. Incluso el guano de pato con pH más bajo que el intervalo mencionado (Cuadro 3). Los valores mencionados de pH han sido

también reportados por autores como Cervera-Mata *et al.* (2019) quienes explican que el decremento del pH puede movilizar los nutrientes como K y P, además del N y otros elementos, para hacerlos más asimilables para las plantas debido a la substitución de cationes por protones en el suelo. Los valores que presentaron los abonos orgánicos de lombricomposta se encuentran dentro del intervalo (5.5-8.5) de pH de la NMX-FF-109-SCFI-2007 (2008).

Cuadro 3. Valores promedio de pH de diferentes abonos orgánicos.

Table 3. Average pH values of different organic fertilizers.

Tratamiento	Conductividad eléctrica	pH
	dS m ⁻¹	
Lombricomposta Fertihum®	36.4 e [†]	7.52 d
Lombricomposta UABCS	12.2 f	8.28 a
Guano de pato	43.1 d	6.64 e
Guano de murciélago	70.9 a	8.06 b
Gallinaza	52.6 b	7.75 c
Estiércol de vaca	44.3 c	7.75 c
	$P < 0.00000$	$P < 0.00000$

[†] Literales diferentes por columna indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

[†] Different letters for each column indicate statistical differences, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

Respecto a la conductividad eléctrica (CE), ésta refleja la salinidad de los materiales y es un buen indicador para la aplicación de abonos orgánicos con fines agrícolas (Simón *et al.*, 2013). Los fertilizantes son sales que modifican la CE por la capacidad que tengan de intercambiar electrones, un aumento de sales en una solución incrementa la CE. De acuerdo a la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000, 2002) la CE de suelos debe estar por debajo de 4 dS m^{-1} para ser suelos apropiados para la producción agrícola. De hecho, Yepes y Flórez (2013) menciona que una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en los cultivos, en lo posible menor a 1 dS m^{-1} . Los resultados de

los abonos orgánicos estudiados, exceden por mucho estos valores que como se mencionó previamente están relacionados con la concentración de los elementos contenidos en cada abono. Los resultados muestran una relación positiva significativa (Figura 1) entre los nutrientes contenidos de, NH_3 , NH_4^+ , P, PO_4^{-3} , K^+ y K_2O en los abonos estudiados y la CE. La gallinaza, guano de murciélago y estiércol de vaca presentaron los mayores valores de estos nutrientes y de CE, lo cual concuerda con lo que menciona Kaviraj y Sharma (2003) quienes mencionan que el incremento en la CE puede deberse a la liberación de iones minerales como los contenidos en los abonos estudiados en este trabajo.

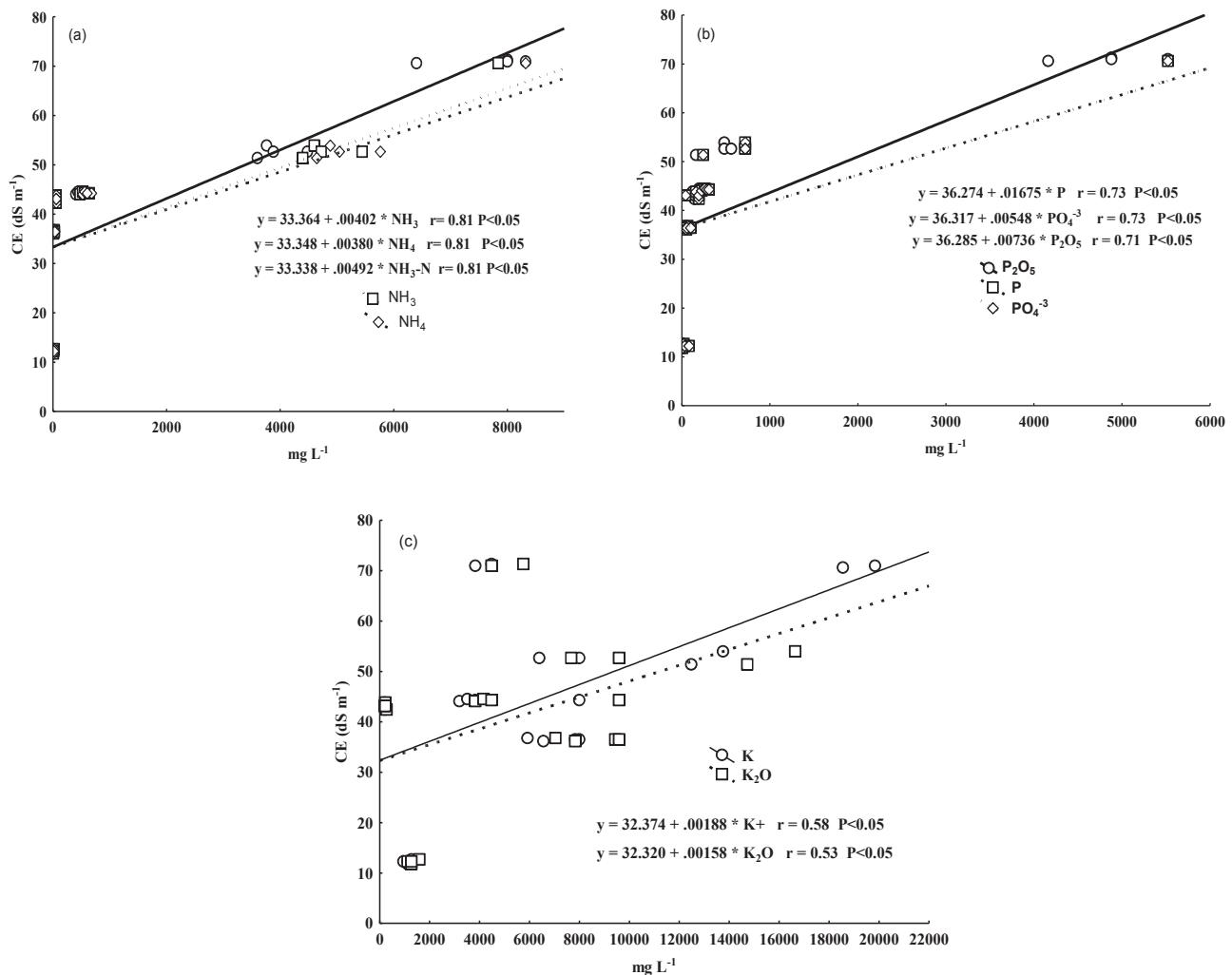


Figura 1. Relación entre la conductividad eléctrica (CE) y concentración de nutrientes de nitrógeno (a), fósforo (b) y potasio (c) contenidos en los abonos orgánicos de lombricomposta (Fertihum®, UABCS), guanos (murciélago y pato), gallinaza y estiércol de vaca. Figure 1. Relationship between electrical conductivity (CE) and nutrient concentration of nitrogen (a), phosphorus (b) and potassium (c) contained in organic vermicompost fertilizers (Fertihum®, UABCS), bat droppings, duck and chicken manure, and cow dung.

CONCLUSIONES

Los abonos orgánicos de lombricomposta (Fertihum®, UABCS), guanos (murciélago y pato), gallinaza y estiércol de vaca evaluados representan buenas fuentes de nutrientes para los cultivos desde el punto de vista nutrimental, sin embargo, debido a que exceden el contenido de nutrientes y consecuentemente los valores normativos de la conductividad eléctrica tendrían que realizarse acciones con el fin de diluirlos para poder ser usados debidamente. La lombricomposta comercial, el guano de murciélago y la gallinaza resultaron los mejores en cuanto al contenido de nutrientes asimilables para la planta. Todos los abonos presentaron valores de pH dentro de los cuales los macronutrientes pueden ser asimilados.

LITERATURA CITADA

- Cervera-Mata, A., M. Navarro-Alarcón, G. Delgado, S. Pastoriza, J. Montilla-Gómez, J. Llopis, C. Sánchez-González, and J. Á. Rufián-Henares. 2019. Spent coffee grounds improve the nutritional value in elements of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and are an ecological alternative to inorganic fertilizers. *Food Chem.* 282: 1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.101>.
- Doan, T. T., P. T. Ngo, C. Rumpel, B. V. Nguyene, and P. Jouquet. 2013. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Sci. Hortic.* 160: 148-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.042>.
- Grantina-Ievina, L. and G. Ievins. 2015. Microbiological characteristics and effect on plants of the organic fertilizer from vermicompost and bat guano. pp. 95-101. In: S.Trejia and S. Skujeniec (eds.). Annual 21st International Scientific Conference: "Research for Rural Development" Volume 1. Latvia University of Agriculture. Jelgava, Latvia. <https://www.researchgate.net/publication/286456435>.
- Gross, A., O. Guy, R. Posmanik, P. Fine, and A. Nejidat. 2012. A novel method for combined biowaste stabilization and production of nitrate-rich liquid fertilizer for use in organic horticulture. *Water Air Soil Pollut.* 223: 1205-1214. doi: [10.1007/s11270-011-0938-y](https://doi.org/10.1007/s11270-011-0938-y).
- Hadas, A. and R. Rosenberg. 1992. Guano as a nitrogen source for fertigation in organic farming. *Fert. Res.* 31: 209-214. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01063294>.
- Herencia, J. F. and C. Maqueda. 2016. Effects of time and dose of organic fertilizers on soil fertility, nutrient content and yield of vegetables. *J. Agric. Sci.* 154: 1343-1361. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859615001136>.
- Higson, S. P. J. 2007. Química Analítica. Capítulo 5. Mac Graw Hill. México. ISBN 13: 9789701061527.
- Hill, G. B. and S. A. Baldwin. 2012. Vermicomposting toilets, an alternative to latrine style microbial composting toilets, prove far superior in mass reduction, pathogen destruction, compost quality, and operational cost. *Waste Manage.* 32: 1811-1820. doi: [10.1016/j.wasman.2012.04.023](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.023).
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture). 2005. Los principios de la agricultura orgánica, preámbulo. International Federation of Organic Agriculture. https://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_spanish_web.pdf (Consulta: enero 6, 2019).
- Kaviraj and S. Sharma. 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresour. Technol.* 90: 169-173. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00123-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00123-8).
- Manojlović, M. S., R. Čabilovski y M. Bavec. 2010. Organic materials: sources of nitrogen in the organic production of lettuce. *Turk. J. Agric. For.* 34: 163-172. doi: [10.3906/tar-0905-11](https://doi.org/10.3906/tar-0905-11).
- NMX-FF-109-SCFI-2007 (Norma Oficial Mexicana para Composta). 2008. Humus de lombriz (lombricomposta)- Especificaciones y métodos de prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.
- Olivares, S. E. 2012. Programa estadístico Versión 1.0. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Escobedo, N.L., México.
- Otero, X. L., O. Tejada, M. Martín-Pastor, S. De La Peña, T. O. Ferreira, and A. Pérez-Alberti. 2015. Phosphorus in seagull colonies and the effect on the habitats. The case of yellow-legged gulls (*Larus michahellis*) in the Atlantic Islands National Park (Galicia-NW Spain). *Sci. Total Environ.* 532: 383-397. doi: [10.1016/j.scitotenv.2015.06.013](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.013).
- Peirce, C. A. E., R. J. Smernik, and T. M. McBeath. 2013. Phosphorus availability in chicken manure is lower with increased stockpiling period, despite a larger orthophosphate content. *Plant Soil* 373: 359-372. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1807-9>.
- Pingali, P. L. 2012. Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109: 12302-12308. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>.
- Roussos, P. A., D. Gasparatos, K. Kechrologou, P. Katsenos, and P. Bouchagier. 2017. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 220: 11-19. doi: [10.1016/j.scienta.2017.03.019](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.019).
- Simón, M., N. R. Peralta y J. L. Costa. 2013. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Cienc Suelo (Argentina)* 31: 45-55.
- SOAAN-IFOAM (Sustainable Organic Agriculture Action Network- Federation of Organic Agriculture Movements). 2013. Best practice guideline for agriculture and value chains. Public version 1.0. Bonn, Germany. <http://www.fao.org/3/a-ax270e.pdf>.

- Soobhany, N., R. Mohee, and V. K. Garg. 2015. Recovery of nutrient from Municipal Solid Waste by composting and vermicomposting using earthworm *Eudrilus eugeniae*. *J. Environ. Chem. Eng.* 3: 2931–2942. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.10.025>.
- Suthar, S. 2008. Bioremediation of aerobically treated distillery sludge mixed with cow dung by using an epigeic earthworm *Eisenia fetida*. *Environmentalist* 28: 76-84. doi: <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9031-x>.
- Szpak, P., F. J. Longstaffe, J. F. Millaire, and C. D. White. 2012a. Stable Isotope Biogeochemistry of Seabird Guano Fertilization: Results from Growth Chamber Studies with Maize (*Zea mays*). *Plos ONE* 7: e33741NE doi:10.1371/journal.pone.0033741.
- Szpak, P., J. F. Millaire, C. D. White, and F. J. Longstaffe. 2012b. Influence of seabird guano and camelid dung fertilization on the nitrogen isotopic composition of field-grown maize (*Zea mays*). *J. Archaeol. Sci.* 39: 3721-3740. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.06.035>.
- Tavakol, E., B. Jákli, I. Cakmak, K. Dittert, P. Karlovsky, K. Pfohl, and M. Senbayram. 2018. Optimized potassium nutrition improves plant-water-relations of barley under PEG-induced osmotic stress. *Plant Soil* 430: 23–35 <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3704-8>.
- Wang, Y., Y. Zhu, S. Zhang, and Y. Wang. 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *J. Cleaner Product.* 199: 882-890. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- Westerman, P. W. and J. R. Bicudo. 2005. Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresour. Technol.* 96: 215-221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.011>.
- Whitbread, A., G. Blair, Y. Konboon, R. Lefroy, and K. Naklang. 2003. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100: 251–263. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00189-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00189-0).
- Yepes V., L. F. and V. J. Flórez R. 2013. Analysis of the electric conductivity and pH behaviors in recycled drainage solution of rose cv. Charlotte plants grown in substrate. *Agron. Colomb.* 31: 352-361.
- Zhong, H., Y. N. Kim, C. Smith, B. Robinson, and N. Dickinson. 2017. Seabird guano and phosphorus fractionation in a rhizosphere with earthworms. *Appl. Soil Ecol.* 120: 197-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.006>.