

JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING
OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY

2025



Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 01-2016-050908471400-203. ISSN: 2448-8186



Vol. 9 Núm. 3 (2025)



DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO

Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA

Secretario de Servicios Académicos

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO

Encargado del Despacho de la Secretaría de Servicios
Administrativos

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.<http://www.1atindex.unam.mx/>

JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 9, No. 3, Año 2025, es una publicación continua editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, <https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/>, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de abril de 2025.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Dra. Laura Lorena Díaz Flores
EDITORA EN JEFE

MSI. Alva del Rocío Pulido Téllez
GESTORA

M.A. Pauly González Mayo Dra. Antonia del Rocío López Guemez
ASISTENTE EDITORIAL Y MAQUETADO

MIS Dalia Exaltación Medina Mandujano MAEE. Mari Cruz Valenzuela Jiménez
ASISTENTE DE DISEÑO Y ESTILO

MC Sulma Guadalupe Gómez Jiménez MC Sirleni Ordóñez Frías
ASISTENTE DE TRADUCCION

EDITORES ASOCIADOS POR ÁREA

Dra. Angélica del Carmen Lizardo Pérez

M en C en Arq. Margarita del Carmen Noguera Miceli

Dra. Haydee Pérez Castro

Dr. Luis Manuel López Manrique

Dra. Karla María Aguilar Castro

Dr. Edgar Vicente Macias Melo

Dr. José de los Santos López Lázaro

Dra. Lizeth Rojas Blanco

Dr. Erik Ramírez Morales

M. C. Cristina Ponce Parra

Dr. Reymundo Ramírez Betancour

Dr. Emmanuel Munguía Balvanera

Dr. René Sebastián Mora Ortiz

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Bassam Ali, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Fabricio Nápoles Rivera, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Francisco López Villareal, **Instituto Tecnológico de Villahermosa.**

Dr. Fernando Israel Gómez Castro, **Universidad de Guanajuato**

Dr. Juan Serrano Arellano, **Instituto Tecnológico de Pachuca**

Dra. Isabel María Valdivia Fernández, **Universidad de la Habana-Facultad de Geografía**

Dra. Ivett Zavala Guillén, **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**

Dr. Luis Alfonso García Cerda, **Centro de Investigación de Química Aplicada**

Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.**

Dra. María Guadalupe Alpuche Cruz, **Universidad de Sonora**

Dr. Pedro Cruz Alcantar, **Universidad Autónoma de San Luís Potosí**

Dr. Salvador Tututi Ávila, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Santa del Carmen Herrera Sánchez, **Universidad Autónoma del Carmen**

Índice Vol.9 Núm. 3 (2025)

APROVECHAMIENTO DE LOS ESCOMBROS DE CERÁMICA COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS DE MORTERO	1-14
De la Cruz-López L.F. ¹ , Gómez-May E. ¹ , Mora-Ortiz R.S. ^{1*} , Díaz-Alvarado S.A. ¹ , Álvarez-Reyes J. ²	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS ELABORADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PROCESADOS AERÓBICA Y ANAERÓBICAMENTE	15-32
San Juan- Martínez A. ^{1*} , Casanova-Pérez L. ¹ , García-Alonso F. ¹	
EFFECTO DE LA CONCHA DE OSTIÓN CALCINADA EN LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE ALBAÑILERÍA	33-46
López-López J.M., Jiménez-Bautista J.R., Rodríguez-Martínez K.J., Mora-Ortiz R.S. [*] , Díaz-Alvarado S.A.	
DESAFÍOS NUMÉRICOS Y SOLUCIONES HIDRÁULICAS PRÁCTICAS A ESCALA LOCAL: CASO UNIDAD CHONTALPA, TABASCO, MEX.	47-62
Pérez- De la Cruz A. ¹ , Priego-Hernández G. ¹ , Rivera-Trejo F. ^{1*}	
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOTURBOSINA A PARTIR DE LODO RESIDUAL: PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO	63-78
Contreras-Vázquez E. ¹ , Vargas-Ibáñez L.T. ² , Cano-Gómez J.J. ^{1*}	

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS ELABORADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PROCESADOS AERÓBICA Y ANAERÓBICAMENTE

PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS OF FERTILIZERS ORGANIC PRODUCTS MADE WITH AEROBICALLY AND ANAEROBICALLY PROCESSED URBAN SOLID WASTE

San Juan- Martínez A.^{1*}, Casanova-Pérez L.¹, García-Alonso F.¹

¹Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense

* Carretera Huejutla-Chalahuiyapa, Col. Tepoxteco, C.P. 43000, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México.

*alberta.sanjuan@uthh.edu.mx

Artículo Científico

Publicado: 17 de diciembre 2025

RESUMEN

El compostaje y la biometanización son alternativas para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, por lo que la presente investigación analizó las propiedades físicas y químicas de los abonos orgánicos obtenidos en procesos aeróbicos y anaeróbicos. El diseño experimental fue completamente al azar, con 6T y 3R. Se determinó la capacidad de retención de agua (CRA), cenizas, pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT), contenido de fósforo (P), Potasio(K) y prueba de fitotoxicidad (% de germinación) en jitomate. Se llevó a cabo análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Existen diferencias significativas entre los tratamientos de las variables: P, cenizas y fitotoxicidad. El T1, numéricamente presentó valores altos en CO y MO; el T4 en P. El K se encontró en los rangos óptimos en todos los tratamientos, el % CRA fue adecuado en los T1, T3 y T6 incluyendo testigo, el pH

fue ligeramente alcalino a excepción en los T1 y T2. El porcentaje de MO, CO, N asimilable, P y CE están por debajo de los valores óptimos y presentaron valores altos en cenizas en todos los tratamientos. Se concluye que la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos presentan viabilidad para uso en la agricultura a través de sistemas de degradación aeróbica y anaeróbica, donde la calidad del abono orgánico depende principalmente de la relación Carbono: Nitrógeno de la materia prima a degradar.

Palabras clave: Alcalinidad, fracción orgánica, fitotoxicidad.

ABSTRACT

Composting and biomethanization are alternatives for the use of the organic fraction of urban solid waste, so the present research analyzed the physical and chemical properties of organic fertilizers obtained in aerobic and anaerobic processes. The experimental design was completely randomized, with 6T and 3R. The water retention capacity

(CRA), ash, pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), organic carbon (CO), total nitrogen (NT), phosphorus content (P), potassium (K) and phytotoxicity test (% germination) in tomatoes were determined. Analysis of variance and Tukey's test ($\alpha = 0.05$) were carried out. There are significant differences between the treatments of the variables: P, ash and phytotoxicity. T1, numerically, presented high values in CO and OM; T4 in P. K was found in the optimal ranges in all treatments, CRA % was adequate in T1, T3 and T6 including control, pH was slightly alkaline except in T1 and T2. The percentage of OM, CO, assimilable N, P and EC were below optimal values and presented high values in ash in all treatments. It is concluded that the organic fraction of urban solid waste is viable for use in agriculture through aerobic and anaerobic degradation systems, where the quality of organic fertilizer depends mainly on the Carbon: Nitrogen ratio of the raw material to be degraded.

Keywords: Alkalinity, organic fraction, phytotoxicity.

INTRODUCCION

En América Latina, México se ubica entre los países líderes generadores de metano derivado de rellenos sanitarios, y está localizado dentro de los diez países más productores de residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel mundial (Quevedo y Rodríguez, 2022). Es decir, dichos rellenos no son más que tiraderos a cielo abierto con manejo inadecuado, por tanto, son sitios que no están controlados

representando un riesgo para la flora, la fauna y la población en general. este tipo de rellenos contaminan cuerpos de agua y crean condiciones para la presencia de focos de contaminación que atentan contra la vida humana. SEMARNAT (2018) indica que en México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados. Con base en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (2020), la cifra aumentó a 120,128 toneladas de RSU por día, de los cuales en promedio se recolecta el 84%, lo que significa una cobertura a nivel nacional de 100,751 toneladas de residuos al día. El nivel de recolección más bajo se registra en la zona sur del país donde sólo alcanza el 69%. Se estima que en México se generan 38,351 t/día de residuos aprovechables mediante el reciclaje o la recuperación de energía, 56,427 t/día de residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión y 26,779 t/día de otros residuos que no son aprovechables en las condiciones tecnológicas actuales (DOF, 2022). En cuanto a la clasificación de los RSU en el país, el 31.56% corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento, el 46.42% a residuos orgánicos y el 22.03% a "otros residuos" (SEMARNAT, 2020).

En Hidalgo, para el año 2020, se proyectó la generación de 1,287.85 toneladas de RSU al día, de este total, el 34% son de

tipo orgánico, consistentes principalmente en residuos alimenticios y de jardinería, mientras que, los residuos valorizables (30%) son básicamente residuos de cartón, *Tetra-Pack*, lata, papel, plástico, vidrio, Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta Densidad (PEAD), mientras que pañales desechables, papel sanitario, uncel y trapo son residuos sepultables (DBGIR, 2014). De este Estado, el municipio de Huejutla de Reyes, Hidalgo, genera anualmente, 80 toneladas de residuos sólidos urbanos, de los cuales, 50% son de tipo orgánico (PMD, 2016).

Estos RSU generados en el municipio son llevados a un relleno sanitario a cielo abierto ya que no existe un manejo integral de estos RSU desde su acopio, transporte y disposición final, como tampoco, alguna estrategia para su valorización, lo cual urge la búsqueda de tecnologías para su gestión integral. Algunas estrategias son el reusó y el reciclaje de materiales, pero también su valorización a través de la obtención de la fracción orgánica de los RSU mediante procesos aeróbicos (composteo, lombricomposteo) y anaeróbicos (biometanización); esta última estrategia permite obtener biogás y/o abono orgánico. Pérez y Rodríguez (2022) indican que la valorización de los RSU en localidades donde su principal actividad es la agricultura se convierte en una oportunidad para proponer alternativas sostenibles al generar fuentes de trabajo, contribuir a la producción de alimentos mediante la transformación de los residuos orgánicos en abono para los

cultivos, disminuir el uso de los fertilizantes de síntesis química y conservar los recursos naturales; el desarrollo sostenible necesita ser más que un concepto, una permanente acción (Madroñero y Guzmán, 2018).

Bajo este contexto, surge como alternativa la implementación del proyecto “Análisis fisicoquímico de abonos orgánicos procesados aeróbica y anaeróbicamente a partir de RSU generados en la Huasteca Hidalguense”, el cual tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y químicas de los abonos orgánicos obtenidos en procesos aeróbicos y anaeróbicos de RSU con el fin de contribuir al manejo sustentable del suelo y la producción agrícola, al mismo tiempo que, se disminuye su impacto ambiental en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El relleno sanitario de donde se obtuvieron las muestras de los residuos sólidos urbanos (RSU) está ubicado en la ciudad de Huejutla, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México. Dicho municipio se localiza al norte de la entidad, en la región geográfica denominada como la Huasteca, entre los paralelos 21° 02' y 21° 16' de latitud norte; los meridianos 98° 16' y 98° 37' de longitud oeste; a una altitud entre 100 y 1400 msnm (INEGI 2020).

El análisis fisicoquímico de las muestras de abonos orgánicos obtenidos a partir de la fracción orgánica de los RSU se realizó en el laboratorio de química del Programa

Educativo de Agrobiotecnología de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2. El factor A consistió en la variación de la fracción orgánica que contenían nitrógeno y carbono (A1: 50 % Restos de alimento y cocina sólido urbano – 50 % hojarasca/podas, A2: 50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas porcinas Aeróbico y A3: 50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas); mientras que el factor B, estuvo representado por dos tipos de sistemas (B1=aeróbico; B2=anaeróbico). Se establecieron 6 tratamientos más testigo con tres repeticiones dando un total de 21 unidades experimentales, donde se cambió la proporción de la fracción orgánica de los RSU según el origen o características y el testigo que consistió en la degradación natural de los residuos directos de campo (**Tabla 1**).

A partir del diseño experimental propuesto se llevó a cabo el análisis del proceso aeróbico y anaeróbico a pequeña escala de la fracción orgánica de los RSU para la obtención de abono orgánico. Se emplearon contenedores de PET de 4 L y adecuaron para el drenaje del lixiviado.

Monitoreo. Los tratamientos se monitorearon cada ocho días con propósito de verificar y controlar humedad y temperatura durante la fase de degradación de la fracción orgánica de los RSU en los procesos aérobico y anaeróbico. Únicamente los tratamientos

en proceso aeróbico se removieron semanalmente para aumentar la aireación y así, homogeneizar la descomposición del material, logrando condiciones de temperatura, pH y humedad adecuadas, debido principalmente a la correcta aireación que se realiza mediante el volteo (Vargas, Trujillo y Torres, 2019).

Tabla 1. Tratamientos del diseño experimental

Tratamiento	Composición	Proceso
Testigo	Residuos directos de campo	Aeróbico
1	50 % Restos de cocina – 50 % hojarasca/podas	Aeróbico
2	50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas porcinas	Aeróbico
3	50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas	Aeróbico
4	50 % Restos de cocina – 50 % hojarasca/podas	Anaeróbico
5	50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas	Anaeróbico
6	50 % Restos de cocina /– 50 % Enmiendas porcinas	Anaeróbico

Drenaje. Después de cuatro meses de degradación de la materia orgánica en proceso anaeróbico, se drenó el lixiviado a través de los orificios en la base de los envases.

Análisis fisicoquímico. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas de cada tratamiento y testigo aplicando métodos volumétricos, gravimétricos e instrumentales. Esto implicó la recolección de 100 g de muestra del abono orgánico, secado previamente en estufa a 60 °C por

24 horas, para después tamizarlo en malla del no. 20 para posteriormente ser empacado en bolsas de polietileno.

Los análisis se realizaron por cada tratamiento y sus repeticiones mediante los siguientes métodos y equipo: a) Determinación de humedad (termobalanza), b) porcentaje de materia orgánica (método estequiométrico de Walkley y Black) y c) determinación de nitrógeno asimilable (método indirecto a partir del % de materia orgánica multiplicando por 20 por el contenido de nitrógeno total (Julca-Otiniano, 2006). Cabe mencionar que el método estequiométrico de Walkley y Black se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado con el cual se pudo utilizar el valor obtenido para el carbono orgánico total, multiplicando este valor por el factor de Van Bremelen (1.724) (Félix y García, 2015).

cuanto, al nitrógeno asimilable, el % de En materia orgánica se multiplicó por 0.015, ya que se estima que entre 1.5% y 3% del nitrógeno total del suelo corresponde a nitrógeno inorgánico; es decir, se trabajó con 1.5% ó 0.015. Respecto al potasio (K), este se determinó por método gravimétrico utilizando cobaltinitrito de sodio; se preparó la muestra en una dilución en agua destilada 1:2 (p/v) para determinar pH con un potenciómetro y conductividad eléctrica mediante conductímetro, cenizas (minerales) se determinó por calcinación en una mufla a 700° C por 24 horas, con el método gravimétrico de Kolar y la

fórmula utilizada por Cano (2016). El fósforo (P) fue determinado con el método Olsen y espectrofotometría UV-visible y el porcentaje de retención de humedad a través de la termobalanza.

Análisis de fitotoxicidad a pequeña escala (Bioensayo de germinación). La prueba de fitotoxicidad se realizó con base en la metodología de Zucconi y Bertoldi (1981) citada en Delgado-Arroyo (2020). Esta implicó un bioensayo de germinación con jitomate tipo “Saladet” (*Lycopersicon esculentum* Mill); se sembraron 30 semillas por caja petri (tratamiento) más testigo, posteriormente estos se conservaron a temperatura ambiente.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos en laboratorio de cada tratamiento y testigo se analizaron estadísticamente empleando SAS (*Statistical Analysis System*). Se llevó a cabo el análisis de varianza (ANOVA) y se compararon las medias de las variables de interés mediante la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda de alternativas para lograr el aprovechamiento de la fracción orgánica de los abonos orgánicos es importante en la gestión de residuos como en su potencial utilización en la agricultura en donde pueden ser usados para mejorar la estructura del suelo, mejorar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el intercambio catiónico que permite un desarrollo mejor de los cultivos. En este sentido, se revisan a continuación los resultados de las propiedades fisicoquímicas de los abonos orgánicos involucrados en esta investigación **Tabla2.**

Tabla 2. Análisis de variación de las propiedades fisicoquímicas de abonos orgánicos obtenidos aeróbica y anaeróbicamente

Variables	GL	SC	CM	F	P>F	CV	
pH	8	1,1992	0,1499	1.95	0.1426	3,86	
Capacidad de retención de agua (%)	8	395,7333	49,4667	1.01	0.4746	10,13	
Materia orgánica (%)	8	73,8963	9,2370	2.53	0.0718	13,71	
Cenizas (%)	8	3203,3516	400,4190	29.89	<0.0001 *	40,78	
Potasio (%)	8	5,4309	0,6788	1.88	0.1559	20,35	
Fosforo (ppm)	8	186,7668	23,3458	10.17	0.0003	50,95	
Nitrógeno Total	8	0,1828	0,0228	2.53	0.0717	13,63	
Nitrógeno asimilable (%)	8	0,0000436	0,0000054	5	2.65	0.0622	13,91
Carbono Orgánico	8	24,8589	3,1074	2.53	0.0714	13,71	
Conductividad eléctrica (ds)	8	22,7926	2,8491	1.23	0.3590	51,63	
Germinación (%)	8	19206,385	2	2400,7982	25.09	<0.0001 *	43,79

* = diferencia significativa al
0.05

Como se puede observar en la tabla 2 anterior, los tratamientos con diferencias estadísticas significativas respecto a cenizas fueron los tratamientos 1(50 % restos de cocina – 50 % hojarasca/podas Aeróbico), 2(50 % restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20% enmiendas porcinas Aeróbico), 5 (50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas Anaeróbico), 4 (Restos de cocina – 50 % hojarasca/podas Anaeróbico), y testigo de los tratamientos 3 (50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas Aeróbico) y 6(50 % Restos de cocina /– 50 % Enmiendas porcinas Anaeróbico), en cuestión de fósforo se mostró una diferencia significativa entre tratamiento 3(50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas Aeróbico) del tratamiento 5(50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas Anaeróbico), 6(50 %

Restos de cocina /– 50 % Enmiendas porcinas Anaeróbico) y testigo, en cuanto a cenizas el tratamiento 3(50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas Aeróbico) y 6(50 % Restos de cocina /– 50 % Enmiendas porcinas Anaeróbico) mostraron diferencia significativa del testigo y el resto de los tratamientos, mientras que en las otras variables pH, capacidad de retención de agua, materia orgánica, potasio, nitrógeno total, nitrógeno asimilable, carbono orgánico y conductividad eléctrica solo se mostraron diferencias numéricas entre los tratamientos y testigo.

Las propiedades fisicoquímicas como pH, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica de los abonos orgánicos, así como, del testigo estuvieron dentro del rango adecuado a excepción de los tratamientos 1(50 % restos de

cocina – 50 % hojarasca/podas Aeróbico) y 2(50 % restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20% enmiendas porcinas Aeróbico) respecto a pH debido a que los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio (Roman, Martínez y Pantoja, 2013) por lo que es necesario agregar mayor cantidad de materia prima con alto contenido de nitrógeno para lograr el equilibrio C:N con una reducción de 35:1 a 15:1 durante el proceso de degradación de la materia orgánica; aunque presentaron valores bajos en conductividad eléctrica, fósforo, carbono orgánico y macronutrientes, esto se debió a la proporción de las materias primas (fracción orgánica de los residuos urbanos) para el proceso de degradación aerobia y anaerobia, la hojarasca y los restos de podas son fuentes principales de carbono; las enmiendas porcinas y los restos de cocina presentan elevado contenido de nitrógeno además las enmiendas mejoran la calidad y aumentan la fertilidad de los suelos debido a sus propiedades de adsorción, estimula el ciclo de nutrientes y puede usarse para reducir la disponibilidad de metales pesados (Cabello *et al.*, 2021), de acuerdo a la Román Martínez y Pantoja (2013) externamente, el proceso de elaboración de abonos orgánicos dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar.

Al respecto, González *et al.* (2022) menciona que la composición bioquímica

de los residuos influye de manera importante ya que diversos estudios describen la calidad de los residuos por el contenido de N y C y el criterio de calidad que utilizan comúnmente para predecir la mineralización, es la relación C/N de los residuos. En relación a la materia orgánica el tratamiento 1 (50 % restos de cocina – 50 % hojarasca/podas Aeróbico) es el que más se acercó a los rangos de calidad establecidos en la norma NMX-AA-180-SCFI-2018 y esto también se debió por el tipo de fracción orgánica de RSU utilizado en el proceso, la materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de Nitrógeno total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Julca *et al.*, 2022) ayudando a mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, los tratamientos exceden en contenido de cenizas tendrían que realizarse acciones con el fin de diluirlos para poder ser usados debidamente aunque en Nitrógeno total presentaron un contenido normal de acuerdo a ciertos autores se tendrá que hacer algunas consideraciones desde el inicio del proceso de degradación de la materia prima para cumplir con los estándares de calidad de la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Tabla 2).

Potencial de Hidrógeno (pH). El pH esperado después de un proceso de compostaje debe ser de neutro a ligeramente básico (autor, año), los resultados obtenidos en este trabajo pueden deberse a que los procesos para la elaboración de abonos orgánicos estén

relativamente incompletos, probablemente porque la etapa de enfriamiento final, donde se reinicia la actividad microbiana mesofílica no se presenta o es muy corta (Ramírez *et al.*, 2021). Los tratamientos además del testigo presentaron un pH ligeramente alcalino, al respecto, Huerta *et al.* (2015) mencionan que un valor de pH alcalino es común en los compost elaborados a partir de estiércol.

Los tratamientos 1 con 50 % Restos de cocina– 50 % hojarasca/podas de pH 8.8 y 2 CON 50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas porcinas Aeróbico de pH 8.7 sobresalen numéricamente, mientras que el tratamiento 5 con 50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas – 20 % Enmiendas en proceso anaeróbico registró un pH de 8.5 y tratamiento 4 con 50 % Restos de cocina – 50 % hojarasca/podas en sistema anaeróbico presentó un pH de 8.3, estos superaron el pH del testigo y tratamiento 3 (50 % Restos de cocina – 50 % Enmiendas porcinas en sistema aeróbico) que tuvo pH de 8.2, siendo el tratamiento 6 con el pH más bajo por diferencia de décimas al registrar un pH de 8.1. Los tratamientos a excepción del 1 y 2 corresponden al rango 7,5 - 8,5, valores permitidos por la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Siendo este un indicador indirecto de que este abono fue elaborado en condiciones adecuadas de aireación, donde no proliferó la biodigestión anaeróbica y la liberación adicional de ácidos orgánicos, y

por tanto, un pH adecuado para la actividad agrícola (López *et al.*, 2017).

Capacidad de retención de agua. Las medias de los porcentajes de capacidad de retención de agua no mostraron diferencia estadística significativa, sin embargo, numéricamente los tratamientos 5 (73.70%), 4 (72.73%), 2 (71.23 %) y 6 (69%) fueron superiores al testigo; mientras que tratamiento 1 (66.40%) y tratamiento 3 (63.76%) fueron inferiores a éste (67.40%). Estos dos últimos valores están dentro de lo recomendado por Thompson y Troech (1988) y Cabrera (2002) como adecuados ya se encuentran entre 55 a 70% de retención de humedad en el suelo, tal como se cita en Rivas y Silva (2020).

Conductividad eléctrica (CE). El tratamiento 2 fue superior al testigo, sin embargo, todos los tratamientos y testigo tuvieron menos de 0.5 Ds m^{-1} , dato que indica que el nivel de salinidad no es adecuado para el desarrollo de las plantas; esto con base en la NMX-AA-180-SCFI-2018, la cual señala que los valores de conductividad eléctrica en las compostas deben oscilar entre 0.5 y 12 Ds m^{-1} , algunas materias primas usadas en la elaboración del abono orgánico como los residuos sólidos urbanos, generan altos valores en CE en el abono orgánico (Rawat *et al.*, 2013)) y esto contribuyó en el valor de conductividad eléctrica obtenido en el tratamiento 2 aunque no se logró el valor recomendado, así mismo, Montalvo *et al.*, (2018) menciona que la conductividad eléctrica se relaciona con la

formación de nitrógeno amoniacal en la fase termofílica y nitratos en la fase de enfriamiento.

Materia orgánica. No hubo diferencia significativa entre los porcentajes de materia orgánica (% MO) fueron similares estadísticamente, aunque numéricamente el tratamiento 1 (19.90 %) fue mejor que el testigo (19.74%). Sin embargo, estos valores por diferencia de décimas están debajo de los rangos de calidad para un abono orgánico maduro según lo señalado en la NMX-AA-180-SCFI-2018, el cual debe ser superior a 20%, el nivel de materia orgánica va de la mano con la fuente de materia prima de los residuos sólidos urbanos, la materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Julca et al., 2006). La disminución de materia orgánica se debe a la mineralización y pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico y para lograr estabilidad en el abono orgánico además de regular la temperatura y pH, la relación C/N debe ser la adecuada, ya que es un factor importante en la evolución del proceso y la pérdida de amonio (Delgado et al., 2020) desde el principio de la degradación de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos.

Cenizas. Las cenizas contienen cantidades moderadas de compuestos del potasio (K), del fósforo (P), del magnesio (M) y del calcio (Ca), entre otros, y parte de ellos se encuentran en formas

relativamente solubles y, por tanto, asimilables directamente por las plantas. Los resultados muestran diferencia estadística significativa entre el tratamiento 6 con 52.30 % y el tratamiento 3 con 44.56% así como el testigo con 37.88%, siendo superiores que los tratamientos 2, 1, 4 y 5.

Todas las muestras presentaron un porcentaje de cenizas fuera del rango normal según Castro, Henríquez y Bertsch (2009), el cual es de 10-20%. Asimismo, se obtuvieron porcentajes elevados de cenizas (29 y 25%, respectivamente), aunque el contenido de fósforo, potasio, y otros elementos fueron medios y bajos; este hecho se relacionó con la posible presencia de suelo en los materiales, lo cual se basa en los vestigios de un residuo de apariencia rojiza luego de su incineración, que sugiere una posible contaminación con arcillas y sesquióxidos de hierro y aluminio. Para evitar este tipo de contaminación se recomienda vigilar que la fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos a degradar mediante proceso aeróbico o anaeróbico que no contengan restos de suelo.

Macronutrientes. A partir del análisis de los datos se determinó que los macronutrientes (Nitrógeno, fósforo y potasio) se encontraron en concentraciones bajas.

En cuanto al nitrógeno total y asimilable no hubo diferencia significativa entre tratamientos, numéricamente sobresalieron los tratamientos 1 y 2, en

nitrógeno total; el tratamiento 1 con 1% y el tratamiento 2 con 0.98% pero ambos tuvieron 0.015% de nitrógeno asimilable, considerando que los restos de cocina y enmiendas porcinas tienen alto contenido de nitrógeno, desde el punto de vista agrícola el nitrógeno en forma de nitrato es útil para las plantas (Beltrán *et al.*, 2019). Sin embargo, con base en la norma NMX-AA-180-SCFI-2018, estos resultados se encuentran por debajo de lo establecido para los abonos orgánicos debido a la relación inadecuada de C:N, esto varía en función del material utilizado en el proceso de degradación.

Al respecto, López *et al.* (2017) indican que otros autores refieren como normal un contenido de nitrógeno entre 0,1 y 1,8; una variable cuya concentración define la calidad del abono orgánico como fertilizante. La materia prima, es decir el tipo o el origen de fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, el ambiente y proceso (aeróbico o anaeróbico) empleados influyen directamente en la composición final de los abonos orgánicos. Rivas y Silva (2019) muestran que en la variable porcentaje de nitrógeno total (NT) se observó que los compost con base en bora y pergamino de café fueron similares estadísticamente con 0,52 y 0,50% respectivamente, siendo diferentes a abonos orgánicos de residuos de jardinería (0,43%).

El fósforo es el segundo elemento químico más importante para la nutrición de las plantas, sin embargo, es el menos disponible, estadística y numéricamente el

tratamiento 3 fue el que tuvo mayor presencia de fósforo con 11.667 ppm ($1.1667 \times 10^{-03}\%$), mientras que el tratamiento 4 tuvo un valor inferior con 4.190 ppm ($4.190 \times 10^{-03}\%$). Se observó que todos los tratamientos fueron superiores al testigo (1.377 o $1377 \times 10^{-03}\%$), sin embargo, los valores obtenidos son inferiores a la clasificación establecida en la NMX-AA-180-SCFI-2018, la cual indica que la composta con residuos de jardinería debe tener 20.10 mg.kg⁻¹(ppm). Estos resultados se relacionan directamente con la composición de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, donde el fósforo dentro de la matriz de los residuos orgánicos forma diversos compuestos orgánicos e inorgánicos que presentan distintos grados de biodisponibilidad (2006). Beltrán *et al.* (2019) mencionan 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, en los tratamientos evaluados.

Todos los tratamientos no mostraron diferencia significativa en cuanto a la presencia de potasio, no obstante, los tratamientos: 2(4.2%), 3(3.56%), 4(3.53%) y 1(3.50%) fueron superiores numéricamente al testigo.

En contraste, los tratamientos 5(3.10%) y 6(2.86%) tuvieron valores más bajos. El contenido de potasio está en correspondencia con los porcentajes

mínimos establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018 para una composta. Rivas y Silva (2019) obtuvieron porcentaje de potasio 0.93 en bora, 0.71 en pergamino de café y 0.37% en composta de residuos de jardinería.

Al respecto, Castro, Henríquez y Bertsch (2009) señalan que la disponibilidad de K no está vinculada directamente con la actividad de los microorganismos, además el K⁺ es un macroelemento que desempeña un papel muy importante en las plantas, en la apertura estomática donde las células guardan se abren con la acumulación del K⁺ y se cierran con su pérdida (Beltrán *et al.*, 2019).

Carbono orgánico. Como se observa en la Tabla 2, respecto a la variable % de carbono orgánico, los tratamientos fueron similares estadísticamente, aunque numéricamente sobresalió y fue superior al testigo el tratamiento 1 (11.59%). Sin embargo, este resultado no se encuentra dentro del rango referido por el de López *et al.* (2017), quienes señalan que debe oscilar entre un 14 y 30 %, constituyendo uno de los macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano y favorece la capacidad de transporte de diferentes sustancias, la retención de humedad, la aireación, la porosidad, la densidad aparente y entre otras variables (Izquierdo y Arévalo, 2021), aunque en la NMX-AA-180-SCFI-2018 se establece que el valor mínimo para una composta es de 10%, por tanto el tratamiento 1 (50 % Restos de cocina– 50 % hojarasca/podas) y 2 (50 % Restos de cocina – 30 % hojarasca/podas

– 20 % Enmiendas porcinas Aeróbico) incluyendo el testigo, cumplen con la norma mexicana mencionada.

Fitotoxicidad. Los resultados obtenidos en la prueba de fitotoxicidad indican que el índice de germinación del testigo fue de 99.33%.

En el caso del tratamiento 4 el índice de germinación fue de 91.66, tratamiento 2 con 90.63%, tratamiento 5 con 89.58%, tratamiento 1 con 86.66%, tratamiento 3 con 29.16 y tratamiento 6 con 22.91%. Con estos índices de fitotoxicidad se puede observar la madurez del compost de cada tratamiento (Delgado *et al.* 2020). No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos 4, 2, 5, 1 y el testigo; pero sí se encontraron diferencias significativas respecto a los tratamientos 3 y 6.

En consideración a la NMX-AA-180-SCFI-2018, los tratamientos 4, 2, 5, 1 y testigo se encuentran dentro de los rangos óptimos de índice de germinación según la clasificación de compostas (**Figura 1 y Tabla 3**).

Los abonos orgánicos procesados aeróbica y anaeróbicamente representan una alternativa para disminuir el impacto negativo de la fracción orgánica de los residuos sólidos, en el caso de la degradación anaeróbica se requerirá mayor inversión por ser de doble propósito, además de abono orgánico se aprovecharía el biogás (metano) desprendido durante el proceso de degradación y de acuerdo a Encalada, Muñoz y Aldás (2018) se conoce que la digestión anaerobia aprovecha

de mejor manera la materia orgánica utilizada, con lo que se tiene menos pérdida de elementos nutritivos y el digestado tiene mayor riqueza nutricional que el obtenido en la digestión aerobia, aunque deberá haber un control con mayor exigencia. En la **tabla 3** se

muestran todas las variables evaluadas estadísticamente dentro del rango establecido según la norma NMX-AA-180-SCFI-2018 y otros autores.

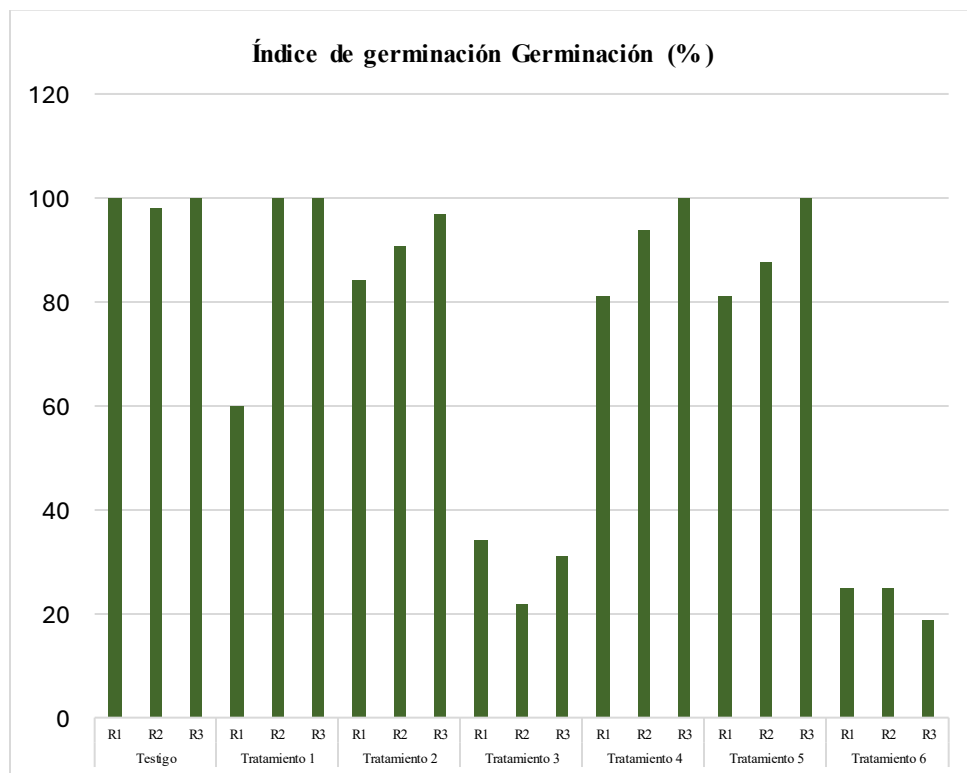


Figura 1. Porcentaje de germinación de *Solanum lycopersicum* 'Roma' por repetición y tratamiento

Tabla 3. Variables evaluadas

Fuente: Datos experimentales

Tratamiento	Repeticiones	Variables (Medias)/Agrupamiento/Rango										
		pH	Capacidad de retención de agua(%)	Materia orgánica (%)	Cenizas (%)	Potasio (%)	Fosforo (ppm)	Nitrógeno Total	Nitrógeno asimilable (%)	Carbono Orgánico (%)	Conductividad eléctrica (ds)	Germinación (%)
Testigo	3	8,20 a+	67,00 a+	19,74 a	37,88 b	3,26 a	1,37 c	0,98 a	0,014 a	11,45 a+	0,0400 a	99,33 a+
1	3	8,83 a	66,40 a+	19,99 a	25,50 c	3,50 a	7,43 ba	1,00 a	0,015 a	11,59 a+	0,0333 a	86,66 a+
2	3	8,71 a	71,23 a	19,67 a	25,91 c	4,20 a	7,99 ba	0,98 a	0,015 a	11,41 a+	0,0266 a	90,63 a+
3	3	8,27 a+	63,77 a+	15,95 a	44,57 ab	3,57 a	11,68 a	0,80 a	0,012 a	9,25 a	0,0500 a	29,16 b
4	3	8,32 a+	72,73 a	16,27 a	18,37 c	3,53 a	4,19 bc	0,81 a	0,012 a	9,43 a	0,0166 a	91,66 a+
5	3	8,50 a+	73,70 a	15,90 a	18,07 c	3,10 a	6,42 b	0,80 a	0,011 a	9,22 a	0,0333 a	89,58 a+
6	3	8,18a+	68,70 a+	16,33 a	52,31 a	2,90 a	5,9 b	0,80 a	0,012 a	9,47 a	0,0366 a	22,91 b

* medias con letras iguales en columna indican no diferencia significativa (Tukey0.05)

CONCLUSIÓN

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en la Huasteca Hidalguense presentan viabilidad en la agricultura a través de sistemas de degradación aeróbica y anaeróbica, este planteamiento está basado en el análisis de las características cuantitativas y cualitativas de los mismos, que permiten identificarlo como un abono orgánico dentro de los estándares de calidad. La degradación anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos además de impactar positivamente en la agricultura puede contribuir con el aspecto económico de familias de la región de la Huasteca Hidalguense si se aprovecha el biogás (metano) generado durante el proceso.

Los resultados del análisis fisicoquímico de los abonos orgánicos obtenidos mediante proceso aeróbico y anaeróbico mostraron algunas variables aceptables que no afectarían a los cultivos a excepción del tratamiento 6 con 50 % Restos de cocina /- 50 % Enmiendas porcinas, sin embargo, se deben tomar algunas consideraciones desde el inicio del proceso de degradación de la materia prima para cumplir con los estándares de calidad de la NMX-AA-180-SCFI-2018.

REFERENCIAS

- [1] Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Díez, E., Alcala-Jauregui, J. A., y 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. ISSN:.. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57363023006>
- [2] Cabello -Torres, R., Romero-Longwell, J. R., Valdiviezo-Gonzales, L., Munive-Cerrón, R., & Castañeda-Olivera, C. A. (2021). Biocarbón derivado de excretas porcinas con capacidad de disminuir la disponibilidad de Pb en suelos agrícolas contaminados. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 461-470. Epub 00 de octubre de 2021. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.050>
- [3] Cano-Chávez, L.J. (2016). Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha. Facultad de ciencias naturales y ambientales. Recuperado de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2499/1/Cano%20Leslie%20Tesis%20UISEK.pdf>
- [4] Castro, A., Henríquez, C., y Bertsch, F. (2009). Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, ISSN 0377-9424, Vol. 33, N°. 1. Obtenido de

- <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6733>
- [5] Delgado - Arroyo, M. del M., Mendoza-López, K. L., González, M. I., Tadeo-Lluch, J. L., & Martín-Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 965-977. Epub 22 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000400965
- [6] DOF (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. SEMARNAT. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673264&fecha=05/12/2022
- [7] Encalada - Borja C., Muñoz-Rodríguez M., y Aldás Sandoval M. B. (2019). Análisis de la degradación anaerobia de materia orgánica en condiciones semejantes a las de un relleno sanitario. Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 17012759, Quito, Ecuador Obtenido de [http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/91/1/9\(20\)-2.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/91/1/9(20)-2.pdf)
- [8] González - Cifuentes, A. I., Reta-Sánchez, D. G., Cueto-Wong, J. A., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., & Reyes-González, A. (2022). Aporte de carbono y nitrógeno al suelo por residuos de cultivos forrajeros alternativos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(5), 773-784. Epub 10 de octubre de 2022. Recuperado de <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2714>
- [9] Huerta - Muñoz, E., Cruz-Hernández, J., Aguirre-Álvarez, L., Caballero-Mata, R., & Pérez-Hidalgo, L. F. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 179-185. Recuperado en 24 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200179&lng=es&tlng=es
- [10] INEGI (2020). Huejutla de Reyes, Hidalgo. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- [11] Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería Y Región*, 26, 20-28. DOI: <https://doi.org/10.25054/22161325.2527> Recuperado de <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/2527/4157>
- [12] Jorge - Montalvo, P. A., Ortiz-Dongo L. F., Calle-Maraví, J. L., Téllez-Monzón, L. A., Césare-Coral, M. F., & Visitación-Figueroa, L. (2018). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Producción + Limpia*, 13(2), 77-88. DOI: <https://doi.org/10.22507/pml.v13n2a9>. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-

04552018000200077&lng=es&nrm
=iso

atisfacer%20las%20suyas.%E2%8
0%9D

- [13] Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009#:~:text=LA%20MATERIA%20ORG%C3%81NIC%A%20DEL%20SUELO&text=Con tiene%20aproximadamente%20un %205%25%20de,Gros%20y%20D om%C3%ADnguez%2C%201992
- [14] López - Bravo, E., Andrade-Rivera, A. J., Herrera-Suárez, M., Gonzalez-Cueto, O. y García de la Figal-Costales, A. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Centro Agrícola*, 44(3), 49-55. Recuperado en 14 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007&lng=es&tlng=es
- [15] Madroñero - Palacios, S. y Guzmán-Hernández, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3), 122-130. DOI: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907> Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822018000300122&script=sci_arttext&tlng=es#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Agenda%2021%2C%20establece,futuras%20de%20s
- [16] Pérez-Magaña A. y Rodríguez-Ruiz F. (2022) Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. Puebla, México. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662022000100120
- [17] PMDH. 2016. Plan municipal de Desarrollo Huejutla. 2016 – 2020. H. Ayuntamiento de Huejutla. Recuperado de <http://planestataldedesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/PMD/028-HUEJUTLA/PMD Huejutla.pdf>
- [18] Quevedo-Mendoza G.G. y Rodríguez-Gómez M. (2022). Introducción de sistema de captura de biogás en el relleno sanitario de la ciudad de Portoviej. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Cujae. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3291/329173953003/html/>
- [19] Ramírez-Gerardo, M. G., Vázquez-Villegas, S., Méndez-Gómez, G. I., & Mejía-Carranza, J. (2021). Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México. *CienciaUAT*, 16(1), 150-161. Epub 13 de diciembre de 2021. Recuperado de <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1518>
- [20] Rawat, M., Ramanathan, Al. and Kuriakose, L. (2013). Characterization of Municipal Solid Waste Compost (MSWC) from

Selected Indian Cities—A Case Study for Its Sustainable Utilization. J. of Environmental Protection. 4: 163-171. doi: /10.4236/jep.2013.4201. Obtenido de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=28292>

- [21] Rivas - Nichorzon M.y Silva-Acuña R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (Eichhornia Crassipes). Revista Ciencia Unemi, vol. 13, núm. 32, pp. 87-100, 2020. Universidad Estatal de Milagro. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661898009/html/>
- [22] Roman P., Martínez M. M. y Alberto Pantoja (2013). Manual de compostaje del agricultor. FAO. Santiago, Chile. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- [23] SEMARNAT (2018). NMX-AA-180-SCFI-2018. Recuperado de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>
- [24] SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- [25] Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M. y Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v23n2/0121-3709-rori-23-02-123.pdf>

