

Evaluación comparativa de composta agrícola elaborada con residuos agroindustriales de la industria tequilera

Norma Yadira Zacamo Velázquez#1, Angélica Gutiérrez Limón#2, Armando Ramírez González#3, Gustavo Hernán Flores Hernández#4. #Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Zapotlanejo, Jalisco, México. 1norma.zacamo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, 2angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, 3armando.ramirez@zapotlanejo.tecmm.edu.mx, 4zt220110398@zapotlanejo.tecmm.edu.mx

Resumen -. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la mezcla óptima para la elaboración de compostas a partir de bagazo de agave, estiércol bovino y vinazas, evaluando dos tratamientos: vinaza pura y vinaza diluida (1:3) como agente humectante. Las compostas fueron elaboradas durante un periodo de cuatro meses bajo condiciones controladas de humedad, aireación y volteo. Posteriormente, se analizaron sus propiedades fisicoquímicas, incluyendo pH y conductividad eléctrica, así como características físicas como porosidad total, porosidad de aireación, capacidad de retención de agua y densidad.

Los resultados mostraron que ambos tratamientos generaron compostas con pH ligeramente alcalino, adecuado para uso agrícola; sin embargo, la conductividad eléctrica fue significativamente mayor en el tratamiento con vinaza pura, lo que implica un mayor riesgo de salinidad. En contraste, el tratamiento con vinaza diluida presentó valores más adecuados de conductividad eléctrica y mejores condiciones de aireación, manteniendo propiedades físicas favorables. Se concluye que el compostaje de residuos tequileros es una estrategia viable para su aprovechamiento, siendo el uso de vinazas diluidas una alternativa más segura para la obtención de compostas de calidad y su aplicación en suelos agrícolas.

Palabras clave—*Bagazo de agave, compostas, vinazas, características físicas.*

I. INTRODUCCIÓN

Según el Consejo Regulador del Tequila (CRT) la denominación de origen es una región del país de la que es originario un producto, y que las características geográficas del lugar son clave para que el producto mantenga las características de calidad necesarias.

La denominación de origen del tequila comprende 181

municipios que son parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Nayarit y Tamaulipas. Este territorio tiene la

legalidad para la producción de tequila [1]

La producción del tequila presentó un incremento desde el año 2020 con 89.6 millones de litros hasta el 2025 con 146.2 millones de litros [2]. Por la producción de tequila se generan principalmente dos tipos de residuos: el bagazo de agave y las vinazas tequileras.

El bagazo de agave tiene una textura fibrosa que tiene altos niveles de humedad (80 %) y presencia de azúcares, celulosa y lignina [3]. El bagazo de agave representa una problemática mayor, ya que por cada litro de tequila se generan 4 kg de bagazo de agave. En el año 2021 se documentaron 360 mil toneladas de este residuo [4]. Estas grandes cantidades de bagazo es de manejo difícil y al usarlo de forma inadecuada genera una gran contaminación fitosanitaria, la generación de vertederos clandestinos y en general contaminación del ambiente. [5].

Las vinazas tequileras son un efluente altamente contaminante que tiene características de alta carga orgánica y presencia alta de compuestos fenólicos, pH ácido y alta salinidad. Al igual que el bagazo, representa una problemática de contaminación ambiental debido a sus características fisicoquímicas y el difícil manejo por las altas cantidades que se producen [6]. Según [7] por cada litro de tequila se producen entre 10-15 litros de vinazas como subproducto. Por lo cual, estos altos volúmenes representan un desafío ambiental por las características y su carga contaminante [8] [9].

II. ANTECEDENTES

Se han reportado varias opciones para el tratamiento o aprovechamiento de los residuos de la producción del tequila. Por ejemplo, para el caso de las vinazas se sugieren tratamientos

como el uso de reactores para digestión anaerobia, lo cual dan lugar a producción de biogás metano. Tratamiento de vinazas por medio de humedales. Otra alternativa es la fertirrigación aunque es un uso muy cuestionado porque la aplicación directa al suelo representa alto impacto ambiental. Se ha propuesto el tratamiento por el método de coagulación/floculación. Tratamiento con algas y hongos, producción de dihidrógeno etc. [10]. Para el caso del bagazo de agave, se ha propuesto el uso como sustrato para producción de plántulas [5]. Se sugiere su uso como material orgánico para suelos de cultivo; puede ser utilizado como biocombustible sólido, como material prima para producción de biogás etc, [11][12]. Se ha documentado que se requiere un proceso previo para la incorporación de bagazo en el suelo, ya que el no hacerlo, representa emisión de gases de efecto invernadero que se minimiza con el proceso de compostaje [11].

III. PROCESO DE COMPOSTAJE

El proceso de compostaje es un procedimiento que se lleva a cabo por fermentación aerobia en el cual intervienen una gran variedad de microorganismos en los que incluye bacterias, hongos, lombrices, cochinillas etc. El proceso de compostaje ocurre de forma natural en los ecosistemas, pero el proceso y término se le atribuye a sir Albert Howard por sus contribuciones y avances dentro de esta temática.

Dentro del proceso de compostaje se identifican cuatro etapas importantes, la fase mesófila que es el inicio consiste en el proceso de aclimatación de los microorganismos. En la fase termófila la temperatura supera los 45 ° C. los microorganismos mesófilos son reemplazados por termófilos. En la fase de enfriamiento o mesófila II la temperatura desciende y los microorganismos mesófilos reactivan su actividad y el pH disminuye. Esta etapa de enfriamiento ocurre a lo largo de varias semanas. Al final ocurre la fase de maduración caracterizado por las reacciones de polimerización. Y da lugar a los ácidos húmicos y fúlvicos [13]. El proceso de compostaje está relacionado con las características de la materia prima inicial para el proceso. Otra parte importante es el mantenimiento de la humedad ya que permite el desarrollo de los microorganismos de importancia en cada una de las fases. Las compostas deben cumplir con ciertas características de calidad para su uso agrícola. Estas características están establecidas en la NMX-AA-180-SCFI-2018 [14]. Dadas las características del bagazo de agave y las vinazas procedentes de la industria tequilera el objetivo de este trabajo fue: Determinar la mezcla óptima para elaboración de compostas que garantice propiedades físicas estructurales y fisicoquímicas adecuadas para su uso como enmienda orgánica y minimice riesgos de salinidad en suelos agrícolas. Con la hipótesis: el uso de las vinazas puras y diluidas usadas como humectante en el proceso de compostaje brindan compostas con características de calidad establecidas.

IV. METODOLOGÍA

Elaboración de compostas

Se colectaron residuos, bagazo de agave y las vinazas procedentes del proceso de destilación del tequila. De la empresa tequilera casa tierra cobriza ubicada en el municipio de Zapotlanejo, Jalisco.

Los materiales se transportaron a las instalaciones del Instituto tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez del Tecnológico Nacional de México. Posterior a esto, se realizaron las mezclas para la elaboración de compostas de acuerdo a los tratamientos a evaluar Cuadro 1.

Cuadro 1: Mezclas de compostas evaluadas durante el experimento

Parámetro	Tratamiento A	Tratamiento B
Riego	Vinazas puras	Vinaza:agua (1:3)
Bagazo	15 kg	25 kg
Suelo fértil	5 kg	0 kg
Estiércol bovino	20 kg	15 kg

En total se realizaron seis mezclas (Figura 1), tres por cada tratamiento que representaron las repeticiones para análisis. Cada mezcla fué de 40 Kg de acuerdo al tratamiento. Las mezclas se colocaron sobre una plancha de cemento situada en el módulo de lombricultura del Tecnológico José Mario Molina unidad académica Zapotlanejo. Después de la homogeneización se le aplicó la solución para humedecer (A: vinaza pura y B: vinaza diluida). La humedad se estandarizó de acuerdo a la prueba de puño según (15).



Figura 1. Mezcla para elaboración de compostas con bagazo de agave y vinazas tequileras.

Al tercer día se tomó la variable de temperatura con un termómetro digital (marca molecular). Posterior a esto, la mezcla se volteó para aireación y se verificó la humedad con la prueba de puño. Cuando fué necesario se le aplicó solución para humedecer para que mantuviera las condiciones adecuadas. Se mantuvo este procedimiento por aproximadamente cuatro meses, hasta que presentó las características para su uso agrícola de acuerdo a [15].

Características físico-químicas de las compostas

Las características fisicoquímicas del sustrato se evaluaron en el laboratorio de usos múltiples del TECMM UA Zapotlanejo.

Muestreo de las compostas

De cada composta se obtuvo una muestra compuesta de 1 kg previa homogeneización. La muestra compuesta se extendió en una superficie lisa y se redujo hasta 100 gramos por el método de cuarteos [16]

Parámetros pH y conductividad eléctrica

Los parámetros de pH y conductividad se tomaron con un potenciómetro HANNA previamente calibrado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Para esto, de la muestra de 100g se obtuvo una submuestra de 1 g la cual se agregó a 10 mL de agua destilada y se agitó por 10 minutos. Transcurrido este tiempo se filtró con un papel whatman número cuatro y con el líquido obtenido se procedió a la medición de pH y conductividad eléctrica.

Evaluación de las características físicas de las compostas

Para la medición de las características físicas de las compostas se empleó el método de porómetros [5] [17].

Para la fabricación de los porómetros se emplearon tramos de tubería de PVC de 15 cm de largo y 7,62 cm de diámetro (equivalente a 3 pulgadas). En uno de sus extremos se adhirió una tapa de plástico, a la cual se le realizaron cuatro perforaciones de 5 mm de diámetro, dispuestas de manera uniforme y próximas al borde. En el extremo contrario se instaló un anillo o conector plástico, el cual se dejó sin fijación permanente para permitir su remoción o ajuste.

Durante la evaluación, el porómetro se dispuso en posición vertical con la tapa perforada orientada hacia abajo (Figura 2). Se emplearon muestras de compostas secas. Cada muestra se introdujo en el cilindro hasta completarlo y, a continuación, se procedió a compactar mediante dos caídas libres desde una altura de 7,5 cm sobre una superficie plana. Tras cada impacto, se repone material hasta mantener el nivel al ras del borde superior. Una vez preparados, los cilindros se sumergieron en un recipiente con agua, cuidando que el líquido se mantuviera ligeramente por debajo del extremo superior del tubo. Este arreglo permitió que el agua ingresara por los orificios inferiores mientras el aire escapaba por la parte superior. Dado que el tiempo de saturación dependía de las propiedades de cada muestra, todos los cilindros se mantuvieron en inmersión durante la noche para garantizar una homogeneidad adecuada en el proceso.



Figura 2. Porómetros utilizados para la evaluación de las características físicas de las compostas.

De este procedimiento se tomaron las siguientes mediciones y cálculo de variables. Va = Volumen drenado después de la saturación (cm³); PH= Peso húmedo de la muestra después del drenado (g); PS= Peso de la muestra seca (g); Pa= Peso específico del agua (1 g/cm³); Vc=Volumen del cilindro (cm³)

Se realizaron los siguientes cálculos según lo sugerido por [5] y [17]. (Cuadro 2)

Cuadro 2. Fórmulas para cálculos de características físicas de las compostas

Variable	Fórmula
Porosidad total (%)	$\frac{Va + \frac{PH - PS}{Pa}}{Vc} \times 100$
Porosidad de aireación (%)	$\frac{Va}{Vc} \times 100$
Capacidad de retención de agua (%)	$\frac{PH - PS}{Vc} \times 100$
Densidad aparente (Mg/m ³)	$\frac{PS}{Vc}$
Densidad de partículas (Mg/m ³)	$\frac{Da}{1 - \frac{PT}{100}}$

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis descriptivo de las características físicas de las compostas elaboradas de acuerdo a los tratamientos A y B.

Resultados y discusión

Potencial de hidrógeno (pH)

De acuerdo a los análisis descriptivos los valores de pH final de las compostas presentaron niveles alcalinos que caracteriza al proceso de compostaje en etapa de maduración [14]. El tratamiento A presentó un rango de pH de 7.40 a 8.67 con un promedio de 7.96 ± 0.64 , y el tratamiento B registró valores de pH entre 8.1 y 8.6 con promedio de 8.37 ± 0.25 . Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados con [14]. [18] quienes reportan pH final de 7.8 en compostas elaboradas con desechos de cítricos, además, según [18] menciona que el

pH idóneo para compostas es ligeramente alcalino con valores de 6.8 – 7.9. Con los valores obtenidos en este ensayo se determina que los valores de pH de los tratamientos aplicados se encuentran dentro de los parámetros establecidos por otros autores (Figura 2).

Otros autores reportan valores de pH superiores a 8.0 en compostas en las que utilizaron vinazas mezcaleras como agente humectante. Sugieren que la frecuencia de volteos y la aireación inducida mejoran la actividad de los microorganismos aerobios, esto facilita la degradación de ácidos volátiles por lo tanto aumenta el pH en la fase termófila del compostaje. En la variable analizada de pH muestra que las vinazas tequileras se pueden usar en forma pura o diluidas 1:3 vinazas/agua y no muestra cambios significativos en el valor de pH final de las compostas.

Conductividad eléctrica (CE)

A diferencia del pH la C.E. si presentó afectaciones marcadas de acuerdo al tratamiento aplicado. La composta A humectada con vinaza pura obtuvo valores de CE en un rango de 4.5 a 4.8 dS/m en comparación con la composta B, con valores menores de entre 0.82 y 0.87 dS/m. Los valores permitidos C.E. para una composta de calidad varían según los autores [18]. Se menciona que un valor de 2.46 dS/m se considera un valor adecuado de C.E. [18]. Según [19] y [20] el punto óptimo se sitúa entre 2 y 4 dS/m. Según [18] indica valores de C.E. para una composta terminada en un rango de 0.5 – 12 dS/m.

Según [21] reporta C.E. final de compostas humectadas con vinazas mezcaleras en valores mayores a 4 dS/m, además los autores reportan que la composta fue elaborada con gallinaza lo cual pudo influir en las altos valores de C.E. De igual manera [22] reporta que las vinazas han sido reportadas con alta carga de sales; en este proyecto esto pudo elevar la C.E. de la composta A que se humectó con vinazas puras. La C.E. alta compromete la absorción de nutrientes por las plantas, además puede inducir al estrés osmótico y fitotoxicidad [21].

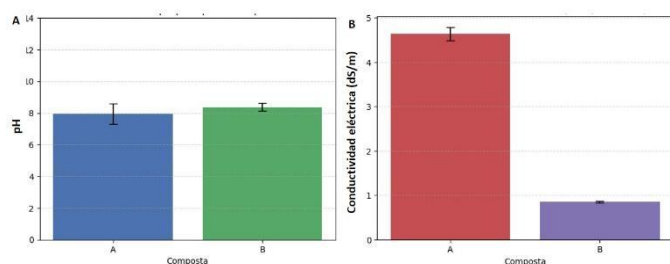


Figura 2. Potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica de las compostas.

Características físicas de las compostas

Porosidad Total

Las compostas analizadas mostraron una porosidad total sin diferencias marcadas entre sus medias con valores promedio de

composta A 86.97 % y composta B 86.32 %. Los sustratos con porosidad total entre 80-90 % suelen ser óptimos para el desarrollo de la raíz y han mostrado un equilibrio entre aireación y retención de agua. De igual manera se menciona que la porosidad total está relacionada con la estructura física de la composta y el tamaño de partícula [23]. Lo que sugiere que las compostas presentan agregados estables y una estructura física adecuada. La composta A mostró menor variabilidad y se sugiere una mayor homogeneidad de de partículas y por lo tanto mayor estructura. Esto puede estar relacionado con un proceso de compostaje más controlado o material prima más uniforme. Y la composta B presenta una tendencia a mayor aireación y una mayor proporción de partículas gruesas o fibras [18] (Figura 3A).

Porosidad de aireación

La composta A presentó valores de porosidad de aireación (9.23%) por debajo de la composta B (10.91 %). Valores de porosidad de aireación superiores al 10 % se recomiendan para cultivos sensibles a encharcamientos [21] [23] (Figura 3B). Según [24] la porosidad de aireación depende de la composición de la composta con partículas gruesas o finas. Esto concuerda con los resultados obtenidos ya que se acuerdo a la variable porosidad total se mencionó que la composta B, podría presentar partículas gruesas o fibrosas. Lo cual sugiere la presencia de una mayor proporción de residuos fibrosos vegetales fibrosos y una menor compactación durante el proceso de compostaje.

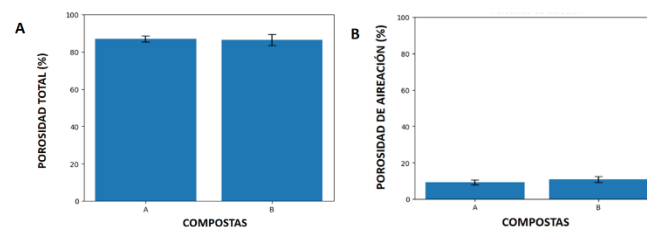


Figura 3. Porosidad total y porosidad de aireación de las compostas en fase de maduración.

Capacidad de retención de agua (%)

La composta A mostró capacidad de retención de agua mayor (77.74) a la composta B (75.41). Además de una mayor estabilidad por el bajo coeficiente de variación (CV 0.39), a diferencia de la composta B que presenta un CV 2.75 % (Figura 4).

La capacidad de retención de agua obtenida en las compostas está por arriba del valor sugerido por [25]. Además, se obtuvieron valores por arriba de los reportados por [18] en compostas elaboradas con cítricos. Los altos valores de capacidad de retención de agua es característica de sustratos con elevado contenido de material orgánica [21][23]. Una alta y consistente capacidad de retención de agua reduce la frecuencia de riego y minimiza el estrés hídrico en producción en semilleros o contenedores.

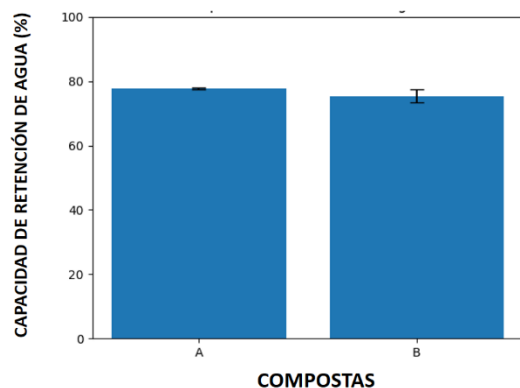


Figura 4. Capacidad de retención de agua de las compostas

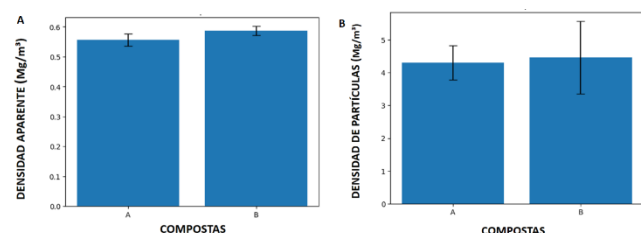
Densidad aparente (Mg/m^3)

Las compostas analizadas presentaron valores bajos y estables de densidad aparente composta A 0.56 y composta B 0.59 Mg/m^3 [18]. [23] reportó valores de 0.85 Mg/m^3 en composta de cítricos y se consideró como valor aceptable para sustratos de crecimiento (Figura 5A). Según [23] indicó que densidades aparentes de entre 0.3 - 0.8 Mg/m^3 son ideales para sustratos ligeros. Los valores obtenidos en ambos tratamientos se ubican en el rango óptimo e indica una estructura porosa adecuada.

Densidad de partículas (Mg/m^3)

El tratamiento A mostró una media de 4.31 Mg/m^3 y la composta B 4.46 Mg/m^3 (Figura 5B).

Esta variable refleja la presencia de composición mineral y orgánica del sustrato evaluado. Según [23] valores elevados mayores a 4 Mg/m^3 indican componentes como minerales o cenizas. Para mejorar la consistencia se sugiere estandarizar los materiales con procesos de molienda, tamizado y mezcla de los residuos. Los valores óptimos para densidad de partícula se encuentran entre 1.5 y 3.5 Mg/m^3 .



V. CONCLUSIÓN

Ambas mezclas mostraron alternativas para obtener compostas de calidad. El tratamiento A requiere manejo cuidadoso de la salinidad. Sin embargo, la mezcla B demostró ser una estrategia efectiva para controlar la conductividad eléctrica final sin comprometer el proceso de compostaje, y genera un compost más estable y seguro para aplicaciones directas representando una práctica de manejo accesible para productores de pequeña y mediana escala.

La elaboración de composta a partir de bagazo, estiércol bovino

y vinazas representa una alternativa técnica y ambientalmente viable para la valorización de residuos agroindustriales. Mientras que el tratamiento A requiere manejo cuidadoso de la salinidad, el tratamiento B genera un compost más estable y seguro para aplicaciones directas. Se reconoce que ambos tratamientos contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas mediante el cierre de ciclos de nutrientes y la reducción de residuos.

REFERENCIAS

- [1] Consejo Regulador Del Tequila, "Denominación de origen del tequila." [En línea]. Disponible en: <https://www.crt.org.mx/tequila-denominacion-de-origen/>
- [2] Consejo Regulador Del Tequila, "Estadísticas CRT." [En línea]. Disponible en: <https://www.crt.org.mx/EstadísticasCRTweb/>
- [3] C. R. C. Ramírez, M. D. L. S. A. Gutiérrez y L. Rigal, "Tratamiento alcalino de los residuos agroindustriales de la producción del tequila, para su uso como complemento de alimento de rumiantes," Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambientales, pp. 69–77, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/32648>
- [4] A. D. C. Pérez, A. E. Vargas y E. X. M. García, "La vinculación universidad-empresa como estrategia para impulsar procesos de producción sostenibles en el sector tequilero de Jalisco, México," Revista Raites, vol. 10, no. 20, p. 32, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/raites/article/view/3819/2638>
- [5] R. A. M. Pérez, N. Y. Z. Velázquez, A. G. Limón y A. R. González, "Evaluación de sustratos orgánicos derivados del agave para germinación del pepino," Investigación y Ciencia Aplicada a la Ingeniería, vol. 8, no. 50, pp. 47–53, 2025.
- [6] M. López-Covarrubias y O. Aguilar-Juárez, "Tratamiento de vinazas tequileras a partir de biochar derivado de bagazo de agave," Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad, vol. 2, no. 1, pp. 327–333, 2023. DOI: 10.56845/terys.v2i1.374
- [7] J. G. Rangel-Peraza, S. A. Monjardín-Armenta, O. Chávez-Martínez y J. de Anda, "Multispectral and thermal imaging for assessing tequila vinasse evaporation: Unmanned aerial vehicles and satellite-based observations," Processes, vol. 13, no. 7, p. 2281, 2025.
- [8] M. Suárez-Sánchez et al., "Sustainable valorization of tequila industry vinasse: A patent review on bioeconomy-driven technologies," Agronomy, vol. 15, p. 1567, 2025. doi: 10.3390/agronomy15071567
- [9] J. A. Regalado-Aguirre, M. Lona-Elorza, F. López-Caamal y G. E. Cea-Barcia, "Aislamiento y cinéticas de crecimiento de levaduras presentes en vinazas tequileras," Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria, vol. 4, no. 2, pp. 18–35, 2023.
- [10] L. J. Ospina León, D. Manotas-Duque y H. Ramírez-Malule, "Challenges and opportunities of the sugar cane vinasse: A bibliometric analysis," Ingeniería y Competitividad, vol. 25, no. 1, 2023.
- [11] O. D. L. Montano, "Bagazo de agave, la otra cara (valiosa) de la producción," 2023.
- [12] C. O. Macías-González, "Bagazo de agave: estudio de caso como parte del principio de economía circular aplicado a la industria tequilera," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/items/3b08af32-add2-4a44-bcbc-4dccee10d79c>
- [13] E. R. Oviedo Ocaña, L. F. Marmolejo Rebellón y P. Torres Lozada, "Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad

en compostaje de biorresiduos,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 30, no. 1, pp. 91–100, 2014.

[14] NMX-AA-180-SCFI-2018, “Métodos y procedimientos para el tratamiento aeróbico de residuos orgánicos,” 2018.

[15] V. Suárez, *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*, 2022.

[16] NMX-AA-015-1985, “Protección al ambiente: muestreo de residuos sólidos municipales,” 1985.

[17] R. Pire y A. Pereira, “Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en horticultura,” *Bioagro*, vol. 15, no. 1, 2003. [En línea]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S13163361200300010007

[18] A. de Luna-Vega, M. L. García-Sahagún, E. Rodríguez-Guzmán y E. Pimienta-Barrios, “Calidad agronómica de composta con residuos de cítricos,” *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, vol. 2–3, pp. 354–361, 2015.

[19] F. C. Millán, J. G. Prato, J. Uzcátegui, A. Sulbarán y A. Sánchez, “Caracterización físico-química y microbiológica de materiales compostados,” *Agronomía Tropical*, vol. 67, no. 1, pp. 139–151, 2017.

[20] J. C. Caballero-Salinas, S. G. Ovando-Salinas, E. Núñez-Ramos y F. Aguilar-Cruz, “Sustratos alternativos para producción de plántulas de tomate de cáscara,” *Siembra*, vol. 7, no. 2, pp. 14–21, 2020.

[21] E. J. Amador-Santiago, J. C. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia, G. V. Campos-Ángeles y C. Perales-Segovia, “Variabilidad de la CE, pH y minerales en compostas orgánicas de bagazo de agave.”

[22] E. A. Zelaya-Benavidez, E. L. Hernández-Teyssier y D. Peredo-Mancilla, “Codigestión anaeróbica psicofílica de desechos de alimentos y heces de perro en biodigestor casero.”

[23] N. L. P. Pérez, L. M. L. Nima y B. D. P. Huamán, “Valorización de propiedades fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos para compostaje,” *Revista del Instituto de Investigación*, vol. 26, no. 52, e24193, 2023.

[24] E. E. Castro Otero y K. I. Gavilanez Castro, “Efecto de diferentes dosis de residuos vegetales y estiércol en la elaboración de compost,” 2024.

[25] J. Ansorena, *Sustratos: Propiedades y caracterización*. Madrid, España: Mundi Prensa, 1994.

¹**Dra. Norma Yadira Zacamo Velázquez**, profesora de asignatura del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez en la Carrera de Ingeniería en innovación agrícola sustentable. Correo electrónico institucional, norma.zacamo@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con. Egresada de la licenciatura en ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Guadalajara. Estudios de doctorado en biociencias con especialidad en biotecnología agrícola de la Universidad de Guadalajara, Centro universitario de los altos. <https://orcid.org/0000-0003-0926-8081>.

²**PhD. Gutiérrez Limón Angélica**, con perfil PRODEP, Profesora de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Docente de las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería en Administración y Contador Público. e-mail angelica.limon@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con Licenciatura en Economía egresada de la Universidad de

Guadalajara. Maestría en Administración egresada de la Universidad de Guadalajara y Maestría en Ingeniería en Manufactura 4.0 en la universidad digital ALINCO. Doctorado en Economía en Atlantic International University. <https://orcid.org/0000-0001-7947-7706>.

³**Ing. Ramírez González Armando** Profesor de tiempo completo del Tecnológico Nacional de México y Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Docente de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

e-mail, armando.ramirez@zapotlanejo.tecmm.edu.mx. con Licenciatura en ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Guadalajara.

Actualmente terminada la maestría de Dirección de los agronegocios en La universidad de la innovación y del conocimiento UNINNCO.

<https://orcid.org/0009-0000-9240-6734>

⁴**Gustavo Hernán Flores Hernández**, estudiante de la carrera de ingeniería en innovación agrícola sustentable del Tecnológico Nacional de México y del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, campus Zapotlanejo. Correo electrónico institucional zt220110398@zapotlanejo.tecmm.edu.mx <https://orcid.org/0009-0003-9876-6046>