



Valoración de residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes autóctonos en la obtención de compost

Assessment of organic agricultural waste and efficient native microorganisms in obtaining compost

Autores

¹Jesús Eduardo Vázquez Quirumbay 
✉ jesus.vasquez.41@espam.edu.ec

²Ángel Monserrate Guzmán Cedeño 
✉ aguzman@espam.edu.ec

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 10 de agosto N°82 y Granda Centeno. Calceta, Manabí.

²Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 10 de agosto N°82 y Granada Centeno. Calceta, Manabí, Ecuador. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, carrera Ingeniería Agropecuaria. Ciudadela Universitaria vía San Mateo. Manta, Manabí, Ecuador.

Citación sugerida: Vázquez Quirumbay, J. E., Guzmán Cedeño, Á. M. (2025). Valoración de residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes autóctonos en la obtención de compost. *La Técnica*, 15(2), 112-124. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i2.7553>

Recibido: Febrero 26, 2025

Aceptado: Octubre 10, 2025

Publicado: Noviembre 01, 2025

Resumen

El mal manejo de residuos orgánicos genera contaminación e impactos en el ambiente; ante ello, la producción de abonos orgánicos, como el compost, son alternativas para tener en cuenta. El objetivo de esta investigación consistió en valorar los residuos orgánicos agropecuarios y microorganismos eficientes en la obtención de compost; para lo cual, se ejecutaron tres fases: la fase 1 consistió en generar información de los residuos agropecuarios a emplear en la producción de compost, se realizó una encuesta dirigida a los técnicos y/o administradores de las unidades de producción pertinentes; en la fase 2 se sistematizó información sobre microorganismos eficientes, generada, en estudios previos, en universidades de Manabí; en la fase 3 se realizó la inoculación de los microorganismos eficientes en el compostaje de residuos agropecuarios definidos en la primera fase, el proceso se llevó a cabo mediante el sistema INDORE, se evaluaron indicadores ambientales, microbiológicos, químicos y fitotóxicos del compost. Como resultado se obtuvo que los principales residuos agropecuarios generados en la zona de estudio fueron: cáscara de cacao, cascarilla de arroz, porquinaza y bovinaza, la mezcla de estos residuos permitió una buena relación carbono/nitrógeno que es un requisito para la elaboración del compost. En cuanto a los microorganismos eficientes se estableció que la función principal de estudio fue como degradadores de materiales orgánicos, promotores de crecimiento vegetal, antagonistas y biorremediadores, sobresalieron los géneros *Trichoderma* y *Bacillus*; por último, después de 120 días de compostaje se consiguió un compost de clase "A" según normas internacionales.

Palabras clave: compostaje, biodegradación, biofertilizante, sustentabilidad, agricultura ecológica.

Abstract

The poor management of organic waste generates pollution and impacts the environment; therefore, the production of organic fertilizers, such as compost, is an alternative to consider. The objective of this research was to assess agricultural organic waste and microorganisms efficient in obtaining compost. To this end, three phases were executed: Phase 1 consisted of generating information on agricultural waste to be used in compost production. A survey was conducted among technicians and/or administrators of the relevant production units. In Phase 2, information on efficient microorganisms generated in previous studies at universities in Manabí was systematized. In Phase 3, the microorganisms efficient in composting agricultural waste defined in the first phase were inoculated. The process was carried out using the INDORE system. Environmental, microbiological, chemical, and phytotoxic indicators of compost were evaluated. The results showed that the main agricultural waste generated in the study area are cocoa hulls, rice hulls, pig manure, and cattle manure. The mixture of these wastes allows for a good carbon/nitrogen ratio, which was a requirement for compost production. Regarding efficient microorganisms, it was established that their main function was as degraders of organic materials, plant growth promoters, antagonists, and bioremediators, with the genera *Trichoderma* and *Bacillus* standing out. Finally, after 120 days of composting, a Class "A" compost was obtained according to international standards.

Keywords: composting, biodegradation, biofertilizer, sustainability, organic farming.



Introducción

A nivel mundial se generan grandes toneladas de residuos agropecuarios que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental, en muy pocos lugares se les da un uso productivo y se le atribuye un valor añadido que puede llegar a constituirse como fuente de energía en el sistema productivo que conforma (Castro et al., 2020). Es muy frecuente encontrar reportes y evidencias de que el manejo inadecuado de residuos agropecuarios, desechos sólidos y otros subproductos de las empresas agroalimentarias incidan directamente sobre el equilibrio medioambiental; un claro ejemplo son los residuos sólidos que producen una acumulación y dispersión no solo en los campos agrícolas sino en los medios acuáticos (Muñoz et al., 2022).

Dentro de esta gama de problemas se añadieron los residuos agroindustriales que surgieron de las diferentes etapas de los procesos productivos agrícolas que generaron altas emisiones de CO₂, partículas por la quema incontrolada, la contaminación de cuerpos de aguas por lixiviados, generación de malos olores o proliferación de roedores e insectos (Romero, 2022). En este sentido, Aguilar et al. (2022) manifestaron la existencia de investigaciones para recuperar y aprovechar el uso de residuos agroindustriales según su procedencia, dentro de las investigaciones se reflejaron aquellas dedicadas a la obtención de energías renovables, como la creación de bioplásticos, glicerol, hongos comestibles, compost, entre otras.

Según Alvarado y Rangel (2020) la reutilización de residuos orgánicos (RO) busca implementar estrategias sostenibles para su aprovechamiento en las organizaciones que realizan producción de alimentos en sistemas alternativos, a través del empleo de diferentes técnicas y resultados obtenidos en los diferentes estudios de viabilidad para la producción y comercialización de abono orgánico.

Aguñaga et al. (2020) sostuvieron que la agricultura moderna ha incorporado el uso de productos orgánicos, dado la evidencia científica de que incrementaron el crecimiento y rendimiento de los cultivos, la calidad de las cosechas y que además tuvieron efectos fisiológicos que incluyeron el alargamiento celular, la diferenciación vascular y el desarrollo de la producción. Sin duda, el aprovechamiento de estos residuos orgánicos cobra cada día mayor interés como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, debido a que ayudan al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Aguñaga et al., 2020; Intriago y Plaza, 2020; Huapaya, 2024).

Los residuos orgánicos agropecuarios, que se emplean en la producción de compost, contienen carga microbiana, en forma

natural; sin embargo, es deseable inocular microorganismos específicos que contribuyan en el compostaje de los materiales fibrosos, de difícil descomposición.

Paredes et al. (2021) recalcaron que la utilización de microorganismos eficientes autóctonos (EMA) aceleraron la transformación de los residuos orgánicos en abonos, como el compost; donde los microorganismos participaron en la descomposición de la materia orgánica (Cruz et al., 2023). De igual manera, al usar agrónomicamente el compost se puede inocular cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos para potenciar en el suelo la conservación de energía, mantenimiento del equilibrio microbiano, suprimir agentes patógenos y fijación biológica de nitrógeno (Noboa, 2021; Vega et al., 2021; Han et al., 2022).

En cumplimiento a la iniciativa del grupo de investigación Producción de Insumos Biológicos (GI-PROINBIO), docentes-investigadores y estudiantes de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL) han desarrollado algunas investigaciones y por ende se ha generado importante información relacionada al aislamiento, selección e identificación de EMA y la validación, según la acción enzimática específica de las cepas aisladas.

En este sentido, Guzmán et al. (2014) aislaron cepas de microorganismos con capacidad celulolítica, y se identificó molecularmente a *Trichoderma longibrachiatum* y *Bacillus cereus* como promisorias para el compostaje del residuo fibroso de la cáscara de maní. Intriago y Plaza (2020) caracterizaron bacterias endófitas obtenidas en plantas de tomatillo (*Lycopersicon pimpinellifolium* L.), que fueron evaluadas como promotoras de crecimiento vegetal. Por su parte, Andrade y Avellán (2020) evaluaron la capacidad celulolítica de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* en el compostaje de residuos agropecuarios celulolíticos.

Con los antecedentes expuestos, en esta investigación se realizó una valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y EMA en la obtención de compost. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: caracterizar los principales residuos orgánicos agropecuarios y/o agroindustriales que se generaron en la zona de influencia de la ESPAM-MFL; determinar la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente; validar los EMA en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos seleccionados y la valoración nutricional del compost obtenido.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la ESPAM-MFL, se desarrollaron tres fases: en la fase uno, se realizó una encuesta dentro de la zona de influencia de la ESPAM-MFL (Junín, Canuto, Calceta y Tosagua),

donde se recolectó información sobre los residuos orgánicos (RO) que se generaron en las diferentes unidades de producción agropecuarias o agroindustriales; la fase dos tuvo el propósito de sistematizar información relacionada al uso de microorganismos eficientes autóctonos dentro y fuera de la ESPAM (Laboratorio de Biología Molecular), especialmente aquellos que se inoculan en suelo o procesos de compostaje; por último, en la fase tres se implementó el proceso de compostaje para la validación de los EMA en los residuos orgánicos seleccionados en la fase uno y se obtuvo como resultado el abono orgánico compostado, esta actividad se llevó a cabo en el área de reciclaje del Campus Politécnico de la ESPAM MFL. A continuación, se detallan las principales acciones realizadas dentro de cada fase:

Fase 1. Valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y agroindustriales para el compostaje

Se realizaron las siguientes actividades: a) Identificación de unidades de producción agropecuaria y agroindustrial generadoras de RO. Se realizaron recorridos exploratorios, encuestas con formatos estandarizados y diálogos semi estructurados, acorde a los objetivos del estudio, validados por expertos; con observaciones y mediciones para tipificar las unidades de producción agropecuaria y/o agroindustrial generadoras de RO, que se pueden utilizar como materias primas en procesos de valorización en su uso directo, o bien después de transformarlos en abonos orgánicos mediante diversas aplicaciones biotecnológicas.

El ámbito considerado fue el Campus Politécnico de la ESPAM MFL y su zona de influencia, en total se recogió información en 14 unidades de producción; b) Cuantificación y caracterización de los RO. Para determinar la cantidad de RO, que se generan en las unidades de producción seleccionadas, se analizaron los datos históricos entre los años 2019 y 2024 proporcionados por los responsables técnicos; lo cual, fue contrastado con referencia bibliográfica para estimar los promedios por establecimiento y los periodos de mayor generación de RO, y c) Diagnóstico de la gestión de los RO.

A partir de la información, proporcionada por representantes de las empresas agrícolas, pecuarias y agroindustriales de la ESPAM MFL y la zona de influencia se conoció: 1) nivel de participación de los integrantes de la unidad de producción en el proceso de manejo de los RO; 2) tipo y nivel de adopción de tecnologías para el tratamiento de los RO la cual se evaluó dependiendo el destino de los residuos en las áreas de producción (botaderos municipales, causes naturales como quebradas y ríos, planta de tratamiento de los RO, y otros como venta, posa séptica, alimento de ganado, investigación y aplicación directa en la plantación); 3) efectividad de las tecnologías usadas; 4) procesos de educación ambiental sobre la gestión de RO; y 5) niveles de impacto provocado por el manejo de los RO. Las respuestas fueron de carácter binomial (sí – no).

Fase 2. Determinación de la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente

En esta fase se realizó una revisión de los trabajos de investigación sobre aislamiento, selección e identificación de microorganismos eficientes autóctonos (EMA) que se han ejecutado en la ESPAM MFL y otras universidades de Manabí (UTM - Universidad Técnica de Manabí; ULEAM - Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; Universidad Estatal del Sur de Manabí); para ello fue necesario ingresar en los repositorios institucionales de las universidades de Manabí, hacer búsqueda de trabajos de titulación dentro de este campo y extraer información como: el año de publicación, título del proyecto y función enzimática/antagonista de los EMA. A partir de los resultados publicados, se amplió el estado del arte de los EMA promisorios por función específica, como: descomponedores de materia orgánica (celulolítica), promotores de crecimiento vegetal, y controladores biológicos.

Fase 3. Validación de los EMA en el proceso de compostaje de RO y obtención de compost eco-funcional

La información generada en las dos primeras fases fue fundamental para desarrollar el proceso de compostaje. Se establecieron las siguientes acciones en forma consecutiva: a) Se definió la materia prima (RO) más idónea para el proceso de compostaje; esto es, que cumpliera con el tamaño de partícula con fragmentos de 3 a 5 cm, y relación C/N alrededor de 25:1; b) Reactivación de los EMA descomponedores de materia orgánica (MO) que se inocularon durante el proceso de compostaje; c) Establecimiento del proceso de compostaje mediante el siguiente delineamiento experimental:

Conformación de las pilas. Los RO se obtuvieron de las unidades de producción agropecuaria y/o agroindustrial identificadas en la fase 1. Para el proceso de compostaje se empleó el método INDORE sobre una plataforma de hormigón, con sombra regulada por frondosos árboles maderables de laurel y caoba que están establecidos alrededor de la pista; en la conformación de las pilas, se adicionó capas sucesivas de los residuos hasta formar una composta de 3 m de largo x 1 m de ancho x 1 m de alto.

Control de indicadores ambientales durante el compostaje. La humedad inicial de los residuos orgánicos fue de alrededor del 60%, en adelante se rehumedeció de acuerdo con el requerimiento de cada fase del proceso; fase mesófila (20-40 °C, humedad 40-60%), Termófila (45-70 °C, humedad 40-60%) donde la humedad fue crucial para la actividad microbiana, y maduración (temperatura ambiente, humedad 40-60%), de acuerdo con lo sugerido por Delgado et al. (2019) y Córdova et al. (2022). La pila se cubrió con plástico para evitar el ingreso de agua-luvia y controlar la temperatura al interior de la pila. Durante los primeros 15 días se monitorearon las pilas de compostaje, se registró diariamente la temperatura con un termómetro digital para uso industrial (30 cm de largo Tp101), la humedad se midió en una estufa de laboratorio Kalstein y vidrio reloj resistente a altas temperaturas y el pH con un pHmetro Oakton,



modelo pH 700; se realizaron volteos para regular temperatura y homogeneizar la descomposición de los RO. La toma de datos se realizó a 30 cm de profundidad, en cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas de compost. Posteriormente, cada 15 días se monitorearon estos parámetros hasta que se tuvo evidencia de estabilización y madurez del compost.

Inoculación de los EMA. Superada la etapa termofílica en cada una de las pilas, se procedió a la inoculación de los EMA que cumplieron la función de descomponedores; para lo cual, se elaboró un biopreparado combinado con melaza al 1%, con una concentración de 10^4 para hongos y 10^8 de bacterias. En cada pila se aplicó 1000 mL del biopreparado diluido en 20 L de H_2O , se asperjó en toda la pila con una bomba de mochila CP3.

Evaluación del compost. Se realizó cada 30 días, a partir de la elaboración de la pila, se tomaron cinco muestras de compost a 30 cm de profundidad, en cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas. Las muestras de cada pila se mezclaron y homogeneizaron para extraer una muestra compuesta que fue enviada al laboratorio para realizar análisis físico: la temperatura se midió de forma directa con un termómetro digital en °C a 30 cm de profundidad en 5 puntos (cuatro extremos y el centro), el potencial de hidrógeno (pH) se determinó por el método electrométrico en dilución 1:5 (Garrido et al., 2023), humedad se extrajo 50 g de muestra puesta sobre un vidrio reloj de 5 cm de diámetro que se introdujo en una estufa a 108 °C por 24 horas luego fueron pesados y sus datos procesados por el método gravimétrico, la conductividad eléctrica (CE) se midió con una suspensión de compost/agua en relación 1:5 para ello se utilizó un conductímetro (Delgado et al., 2019); fitotóxicos (% e índice de germinación de semillas indicadoras).

La evaluación de la fitotoxicidad de los agentes optimizadores del compost se llevó a cabo a través de un ensayo de germinación y crecimiento con 10 semillas de rábano que fueron colocadas en cajas petri con una mezcla de 67% del volumen de suelo tamizado y 33% de compost, a cada caja se le aplicó 5 mL de agua para luego ser sellada y forrada con papel craft por 7 días, los datos de germinación fueron incorporados en una matriz de excel y ordenados según el tipo de tratamiento, a partir de los cuales se calculó el índice de germinación (IG%) donde se utilizó el método adaptado del estudio realizado por Camacho et al. (2019).

Los resultados fueron contrastados con los valores establecidos por las normas de calidad nacional (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020) e internacional (Norma Chilena de Compost 2880, 2004; Norma Mexicana-AA-180-SCFI-2018, 2018; Norma Técnica Colombiana, 2011); el análisis nutricional del compost se realizó en el Laboratorio de Agua y Suelo de la

Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, se determinó macro y micronutrientes mediante métodos de digestión ácida de la muestra, seguido de análisis por ICP (espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente).

Se establecieron seis tratamientos (T1: cáscara de cacao + bovinaza + EMA; T2: cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T3: cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza + EMA; T4: cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T5: cascarilla de arroz + bovinaza + EMA; T6: cascarilla de arroz + bovinaza sin EMA), con cinco repeticiones para un diseño completo al azar (DCA). Las variables respuestas en la valoración del compost se presentan de forma descriptiva, ya que de las repeticiones se obtuvieron submuestras para hacer una muestra compuesta por tratamiento y ser enviada al laboratorio para el respectivo análisis fisicoquímico, cuyos resultados se contrastaron con los valores establecidos en las normas respectivas.

Resultados y discusión

Fase 1. Valoración de los residuos orgánicos agropecuarios y agroindustriales para el compostaje

Tipo de empresas generadoras de RO

En la figura 1 se observa que las principales empresas visitadas en la zona de estudio correspondieron al área agropecuaria; 50% dedicadas a la producción animal y 21% pertenecieron al campo agrícola, el restante 29% fueron agroindustriales. Las empresas encuestadas respondieron que trabajan en la producción de rubros agrícolas como: arroz, cacao, café, plátano, mango, maíz, cítricos, caña de azúcar; pecuarios (cerdos, aves y bovinos), y en la transformación de estas materias primas para la elaboración de bebidas alcohólicas y otros productos alimenticios. En todas se generaron RO que pueden ser usados como materia prima para elaborar abonos orgánicos.

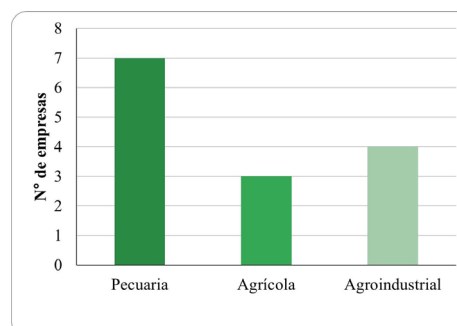


Figura 1. Tipología de empresas generadoras de RO.

De 14 empresas encuestadas se determinó que el 36% de los establecimientos fueron públicos y el 64% pertenecen a negocios

privados. Esto significa que la actividad productiva agropecuaria y agroindustrial en la zona de influencia de la ESPAM MFL corresponde a emprendimientos familiares. Los establecimientos encuestados comprendieron pequeñas y medianas empresas, con superficies que fluctuaron entre 1 a 14 ha. Los RO generados en las empresas encuestadas estuvieron en correspondencia con los rubros que se explotaron. Los principales materiales orgánicos de origen vegetal fueron: cáscaras, bagazo, tallos y demás residuos de cosechas; en el área pecuaria corresponde a: pollinaza, bovinaza, porquinaza. Mientras que en la agroindustria se generaron desperdicios de las materias primas de origen vegetal y animal que se procesaron.

Esta tipología de empresas tuvo correspondencia con lo indicado por Ojeda et al. (2021), quienes destacaron el desempeño de las empresas en el Ecuador. Riera et al. (2024) detallaron que en Manabí los productos que generaron residuos fueron: maíz por los residuos generados de su mazorca, cascarilla y rastrojo; el arroz por la paja y cascarilla producida en grandes cantidades; la cáscara de cacao por los residuos postcosecha de sus vainas. Para Ormaza et al. (2025) la variedad, cantidad y estacionalidad de los residuos que se generaron dependieron de las áreas de producción a las cuales correspondieron.

Los resultados mostraron que la generación de residuos orgánicos en el área de influencia de la ESPAM-MFL ascendió a 431 Ton·año⁻¹ (tabla 1). El volumen de residuos orgánicos evidenció el potencial que presentó la zona de estudio para el aprovechamiento y la valorización de estos materiales. La mayor proporción de residuos provino del área pecuaria (40,4% del total), lo que indicó la importancia de la ganadería en la dinámica productiva local, ya que Manabí cuenta con la mayor superficie ganadera de Ecuador y aproximadamente 339.819 cabezas de ganado (Mena, 2022; Taipe et al., 2022).

Tabla 1. Cantidad y tipo de RO generados en las diferentes áreas de producción.

| Área de producción | Residuos generados al año (Ton·año ⁻¹) | Tipo de residuos |
|--------------------|--|--|
| Agrícola | 89 | Residuos de cultivos (tallos, hojas, rastrojos, cosechas) |
| Pecuaria | 174 | Estiércol y purines, restos de forrajes (paja, tallos, cáscaras), camas de cría y engorde. |
| Agroindustrial | 168 | Subproductos de procesamiento (bagazo, salvado, melaza, suero de leche, cáscaras de frutas, restos de verduras, entre otros) |
| Total | 431 | |

Los aportes de la agricultura (20,6%) y la agroindustria (39,0%) complementaron este panorama, en el que confluyeron distintas

fuentes de biomasa residual susceptibles de ser transformadas en insumos de valor agregado, como abonos orgánicos, biogás o biocompuestos. Estos resultados reflejaron la necesidad de diseñar estrategias de gestión sostenible que integraron la producción primaria y el procesamiento agroindustrial, con el fin de reducir impactos ambientales y generar alternativas económicas para las empresas agroproductivas.

Los hallazgos concordaron con estudios previos realizados en la provincia de Manabí, donde la actividad agropecuaria y agroindustrial constituyó una de las principales fuentes de residuos orgánicos. Por ejemplo, Cedeño et al. (2020) reportaron que en zonas agrícolas de Portoviejo y Rocafuerte los residuos vegetales alcanzaron volúmenes cercanos a 90 Ton·año⁻¹, cifras similares a las registradas en este estudio. Asimismo, Zambrano et al. (2019) identificaron que la producción pecuaria de Chone y Tosagua generó estiércoles bovinos y avícolas con un potencial de aprovechamiento superior a 150 Ton·año⁻¹, lo que coincidió con las 174 Ton·año⁻¹ observadas en el área de influencia de la ESPAM-MFL.

En el ámbito agroindustrial, investigaciones de Loor y Delgado (2021) destacaron que el procesamiento de lácteos, caña de azúcar y derivados de frutas en el cantón Bolívar generaron volúmenes de residuos orgánicos superiores a 160 Ton·año⁻¹, datos que se encontraron en consonancia con las 168 Ton·año⁻¹ reportados en este trabajo. A nivel nacional, estudios de Mendoza y Herrera (2018) han subrayado que la gestión inadecuada de residuos agroindustriales representó uno de los principales desafíos ambientales del sector productivo ecuatoriano, lo que reforzó la pertinencia de impulsar estrategias de economía circular y valorización de residuos en la región.

Cantidad de RO generados en las empresas

Como se aprecia en la figura 2, el volumen de RO generados en las unidades de producción agropecuarias y agroindustriales fue muy variable. Con los datos recopilados se establecieron tres intervalos de volumen de generación de RO; de ello, se dedujo que el 86% de las empresas generaron RO entre 0-10 toneladas o superior a 20 toneladas anuales. En las empresas de producción pecuaria se generó el mayor volumen de RO, lo cual estuvo relacionado con las excretas y camas de criadero de aves y de cerdo.

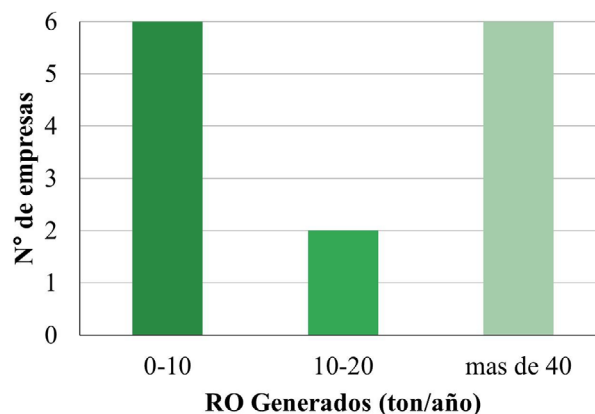


Figura 2. Cantidad de RO generados en las empresas.



En comparación con la producción pecuaria, agrícola y agroindustrial se debe tener en cuenta que estas fueron generadoras de altas cantidades de residuos sólidos como: residuos de cosechas, heces de animales, entre otros (Cartay et al., 2023); otro de los ejemplos presentes fue el estiércol bovino ya que cada unidad bovina adulta (UBA) produjo 5,6 kg·día⁻¹, según lo expuesto por Lozano et al. (2020). Se debe considerar que el no tratamiento o manejo de estos residuos podrían generar contaminación, producción de gases de efecto invernadero y cambios en el paisajismo (Cartay et al., 2023).

Época de producción de los RO

Del levantamiento de línea base, quedó evidenciado que durante todo el año se dispone de RO; sobre todo, en aquellas empresas que son generadoras de grandes volúmenes, como fueron las unidades de producción de ganaderas (estiércol bovino y porcino), licores (bagazo de caña de azúcar), chocolate (cáscara de cacao). También hubo empresas que, estacionalmente, en el segundo cuatrimestre del año fue cuando más RO generaron (figura 3).

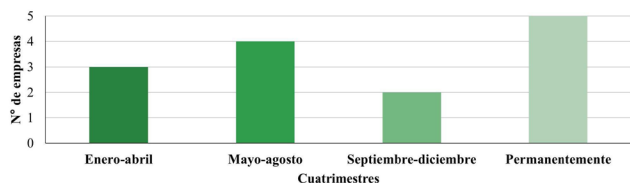


Figura 3. Época del año en el que se generan los RO.

Las épocas de producción de residuos orgánicos variaron de acuerdo con los rubros que se explotaron (Romero, 2022; Gutiérrez et al., 2024). La estacionalidad observada en la generación de residuos orgánicos concordó con investigaciones realizadas en otras zonas de Ecuador. Albiño (2020) y Barona et al. (2020) coincidieron en reportar que los residuos agrícolas presentaron picos de generación en la época lluviosa, principalmente en cultivos de ciclo corto como maíz y arroz; mientras que en época seca se produjeron residuos de hortalizas (Riera, 2024). En la región Costa los residuos derivados del cacao y la caña de azúcar aumentaron en el primer y segundo cuatrimestre del año, mismos que coincidieron con los periodos de mayor cosecha (Ordoñez et al., 2021). En contraste, los residuos pecuarios mantuvieron una producción constante durante todo el año, por ejemplo, la producción de bovinaza fue diaria (Lozano et al., 2020), lo que respaldó los resultados de este estudio. Estas coincidencias subrayaron la importancia de considerar la variabilidad estacional en la planificación de programas de aprovechamiento de residuos, especialmente en zonas agrícolas y agroindustriales dependientes de las lluvias.

Conocimiento de la gestión y tratamiento de los RO

El 29% de los encuestados respondió que tenía conocimiento de la composición química de los residuos que se generaron en el establecimiento, el 71% desconocía la composición y caracterización química de los RO. El 64% de los encuestados no conocía que los RO fueron una importante materia prima para la producción de abonos orgánicos (tabla 2). El 7% de los encuestados respondió que los RO tenían como destino el botadero municipal, el 21% indicaron que estaban dedicados a una planta interna de tratamientos de RO y el 72% dijeron que tenían otros destinos; es decir, trataron de usarlo en distintas actividades propias de la unidad de producción.

Respecto a la gestión de los RO, se apreció que el 71% de los encuestados conoció el impacto que generaron los RO; de ellos, el 64% tuvo conocimientos básicos sobre la elaboración de abonos orgánicos a partir de estos materiales. El 36% recibieron capacitaciones sobre la gestión de los residuos orgánicos; sin embargo, el 71% de los encuestados estuvieron interesados en elaborar un plan de aprovechamiento de los RO (tabla 2).

Tabla 2. Diagnóstico de la gestión de los RO.

| Respuesta de los encuestados expresado en % | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|--|
| Opciones | Composición y caracterización química del RO | Valoración que tienen los RO para producir abonos orgánicos | Impacto de los RO en la salud pública y el medio ambiente | Conoce sobre la elaboración de abonos orgánicos | Ha recibido capacitación sobre la gestión de los RO | Interés en elaborar un plan de aprovechamiento de los RO |
| Si (%) | 29 | 36 | 29 | 36 | 36 | 71 |
| No (%) | 71 | 64 | 71 | 64 | 64 | 29 |

Con base en los resultados de la encuesta se puede mencionar la necesidad de buscar alternativas que impulsaron la reutilización de los residuos; y a su vez, generar una fuente de ingreso económico para quien emprendió en esta actividad. Los residuos sólidos que tuvieron como destino el botadero municipal generó una cantidad desmedida y difusa de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano (CH₄), en una proporción de 50 a 70% de todo el biogás producido (Herrera et al., 2023; Gavilánez et al., 2024). Ante esto, Barros y Tovar (2023) mencionaron que se debe tomar conciencia de la gravedad de las crisis culturales y ecológicas de la demanda, ante esto se sugirió que la comunidad debe adoptar nuevos hábitos de vida en todas las esferas que conforman su realidad.

Fase 2. Determinación de la actividad eco-funcional de los EMA aislados localmente

Análisis de las investigaciones dentro de la ESPAM MFL

En el repositorio de trabajos de titulación de la ESPAM-MFL se pudo obtener un total de 24 documentos que trataron sobre el uso de microorganismos en las distintas áreas de estudio (50% ambiental, 42% agrícola y el 8% agroindustrial), los trabajos estuvieron dirigidos a procesos de producción de abonos orgánicos y en viveros (42%), inhibición de fitopatógenos (controladores biológicos, 27%), recuperación y conservación de los EMA (19%) y disminución de carga orgánica y tratamiento de aguas residuales (12%) (figura 4).

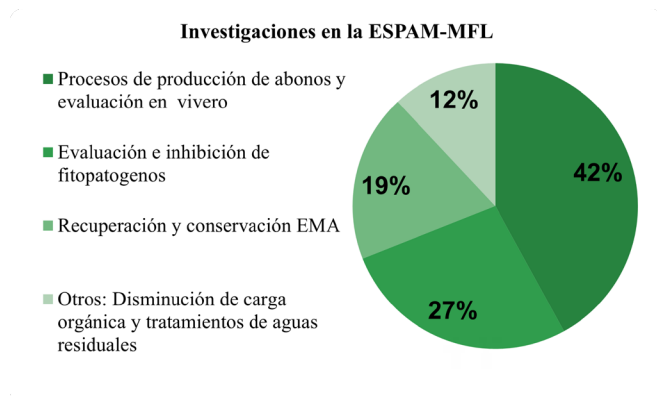


Figura 4. Usos de EMA en trabajos de titulación de la ESPAM MFL.

Es de suma importancia realizar la identificación molecular de los EMA promisorios; lamentablemente, todavía es incipiente este ámbito. Prevalció la caracterización morfológica o bioquímica misma que llegó a establecer solo a nivel de género como fue el caso de los *Trichoderma*. En algunos trabajos se ha llegado a identificar a nivel de especies los siguientes EMA: *T. longibrachiatum*, *T. harzianum*, *B. subtilis*, *B. cereus*. Para la tercera fase del trabajo se escogieron cepas de bacteria (*B. subtilis*) y cepas del género *Trichoderma* (EM-150, EM-72, EM-49).

Las comunidades microbianas en los suelos condujeron entre 80 y 90% de los procesos biológicos desarrollados en el suelo, debido a sus múltiples nichos ecológicos, entre los que destacaron la mitigación de alteraciones exógenas, promoción de crecimiento vegetal, actividad de biocontrol, reciclaje de nutrientes, producción de biomasa vegetal, estructura y fertilidad del suelo, la degradación de compuestos tóxicos, entre otros (Cruz et al., 2022). Es por ello que la información recolectada de los microorganismos eficientes es de suma importancia, ya que se puede identificar con claridad el tipo de célula que mejor respuesta dará en los tratamientos evaluados durante el proceso de compostaje y así replicarlos en futuras investigaciones.

Rosado et al. (2020) recalcaron que sin un análisis bioquímico de las cepas no se podría conocer sobre qué especie de diferente género se utilice, ya que puede ocurrir que especies con genotipos idénticos tengan una diferente reacción con respecto al tipo de tratamientos donde fue utilizado. Paredes et al. (2021) mencionaron que el conocimiento de la especie de los microorganismos eficientes es esencial ya que fueron ellos quienes se encargaron de potenciar la descomposición dentro del proceso de compostaje; de esta manera, se pueden diferenciar los EMA que se encargan especialmente de la descomposición de aquellos que contribuyen en la producción y mejor desarrollo de las plántulas después del proceso de compostaje.

Análisis de las investigaciones con EMA en otras universidades de Manabí

En las investigaciones realizadas en la UTM, ULEAM y UNESUM, se observó que la mayoría del uso de EMA (90%) se concentró en el área agroindustrial, mientras que solo el 10% correspondió al área médica. Dentro de estas aplicaciones, los proyectos de titulación representaron el 30%, seguidos de la validación de microorganismos en producción pecuaria (30%). La producción de abonos alcanzó un 10%, y los biofertilizantes constituyeron el 20%. Finalmente, el 10% restante se aplicó en diferentes áreas de la medicina (figura 5).

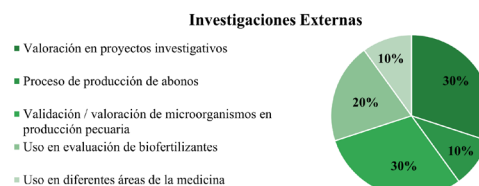


Figura 5. Uso de EMA en trabajos de investigación en la UTM, ULEAM, UNESUM.

Los resultados mostraron que el uso de EMA en las universidades estudiadas se orientó principalmente hacia la agroindustria, lo que reflejó la fuerte vinculación de la investigación con las necesidades productivas y de valorización de residuos orgánicos en la región. La significativa participación en proyectos de titulación y validación de microorganismos en la producción pecuaria evidenció un interés creciente en la investigación aplicada y en estrategias de producción sostenible. La menor proporción de estudios en biología y medicina indicó que, aunque hubo aplicaciones en otros campos, la prioridad se centró en optimizar procesos productivos y generar insumos como abonos y biofertilizantes. Esto coincidió con hallazgos previos en Ecuador, donde el aprovechamiento de EMA en la agroindustria ha mostrado un impacto relevante en la mejora de la fertilidad del suelo y la reducción de residuos. Para Borjas (2021), fue imperativo profundizar en el estudio de los EMA, dado la evidencia de sus aportaciones beneficiosas en diferentes actividades antropogénicas.

Fase 3. Validación de los EMA en el proceso de compostaje de RO y obtención de compost eco-funcional

Análisis del comportamiento de los indicadores ambientales (temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica)

Dentro de los parámetros ambientales (tabla 3) las pilas de compostaje iniciaron con una temperatura ambiente (alrededor de los 20 °C), en la primera semana se apreció un aumento en los tratamientos T1 y T2 que alcanzaron los 40 °C, lo cual indicó el inicio de la actividad microbiana natural e inoculada; dentro de este contexto Jara et al. (2020) mencionaron que el incremento de la temperatura, fue un indicador, en tiempo real, de la eficiencia del compostaje y estuvo relacionado con la velocidad de las reacciones biológicas involucradas. El comportamiento del pH en el proceso de compostaje estuvo condicionado por los materiales de origen y varía entre fases, de acuerdo con lo dicho por Bailón y Florida (2021) este indicador fue fundamental para determinar la calidad de un compost; los valores estuvieron influenciados por la composición de los residuos utilizados en el proceso de compostaje.

En la presente investigación, en las primeras cuatro semanas, el pH en los tratamientos T3, T4, T5 y T6 osciló entre 5,01 y 6,96; en el tercer y cuarto mes del proceso de compostaje se observó un incremento en los valores de pH, los cuales oscilaron entre 6,07 y 8,31 en los tratamientos T1 y T2 los que obtuvieron los valores más altos de pH; en cambio, los tratamientos T5 y T6 registraron pH bajos; al final del proceso los valores de pH se situaron entre 6,0 y 7,5 en todos los tratamientos. La normativa chilena NCh 2880 definió valores de pH según la calidad del producto, en el compost clase “A” (5,0-7,5) y en el compost clase “B” (7,51-8,5); estos resultados fueron muy cercanos a los reportados por Aguirre et al. (2022), los cuales oscilaron entre 6,47 y 8,89. Con este criterio se podría decir que todas las variantes de compost, en este experimento, fueron de clase A. El porcentaje de humedad inicial fue muy alto en todas las pilas, debido a las precipitaciones que se suscitaron durante la recolección y apilamiento de los RO, sobre todo en los tratamientos T1 y T2, cuyo material retuvo mucha humedad.

El porcentaje de humedad óptimo se encontró en un rango entre 40-60%, aunque esto puede variar ya que este dependió del material utilizado. Según la normativa chilena NCh 2880 el límite máximo permisible para la variable de humedad los situó entre 30 y 45% para compost de clase “A” y “B”, respectivamente, mientras que consideró compost inmaduros aquellos que tuvieron >45 de humedad. En este trabajo, todas las variantes de compost superaron 45% de humedad; por tanto, se consideró inmaduro; aunque se debe tener en cuenta que el proceso de compostaje

llevó 4 meses, y según lo que expuso Mero y Barreiro (2021) la maduración del compost tardó de 3-6 meses. Con respecto a conductividad eléctrica se obtuvo un compost de clase “A” (<5), de acuerdo con la norma chilena NCh 2880. La CE en las pilas de compostaje alcanzaron valores de 0,143 dS·m⁻¹ (con EMA) y 0,144 dS·m⁻¹ (sin EMA) valores similares a los obtenidos por Bailón y Florida (2021). Estos valores se encontraron dentro del rango establecido por la NCH 2880 (2004) (< 3 dS·m⁻¹) y la NMX (2018), donde se estableció que un compost con rango de CE entre 0,5 a 1,2 dS·m⁻¹ el producto se cataloga como compost de clase A.

Tabla 3. Parámetros ambientales en las pilas durante el proceso de compostaje.

| Parámetro | Tratamiento | Mes 1 | | | | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 |
|---|-------------|--------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | | 7 días | 14 días | 21 días | 30 días | | | |
| Temperatura (°C) | T1 | 40,22 | 41,09 | 36,30 | 37,50 | 37,17 | 38,86 | 32,16 |
| | T2 | 40,30 | 40,00 | 36,48 | 36,40 | 35,00 | 38,00 | 32,60 |
| | T3 | 33,18 | 34,46 | 35,06 | 35,80 | 39,26 | 34,80 | 37,00 |
| | T4 | 33,58 | 33,31 | 35,78 | 35,80 | 36,10 | 33,90 | 35,90 |
| | T5 | 34,76 | 34,46 | 35,88 | 36,10 | 37,17 | 35,50 | 35,70 |
| | T6 | 36,07 | 34,50 | 34,70 | 34,50 | 37,18 | 36,00 | 36,00 |
| pH | T1 | 6,43 | 5,78 | 6,10 | 6,07 | 8,31 | 8,00 | 7,00 |
| | T2 | 6,12 | 6,78 | 6,50 | 6,14 | 8,31 | 8,31 | 7,50 |
| | T3 | 6,07 | 6,24 | 5,01 | 5,01 | 7,10 | 7,18 | 6,72 |
| | T4 | 6,12 | 6,23 | 5,40 | 5,40 | 7,87 | 7,90 | 6,54 |
| | T5 | 6,32 | 6,80 | 6,90 | 6,96 | 6,70 | 6,07 | 6,00 |
| | T6 | 6,35 | 6,88 | 6,81 | 6,90 | 6,60 | 6,08 | 6,09 |
| Humedad (%) | T1 | 83,16 | 84,00 | 89,00 | 90,00 | 83,00 | 76,00 | 76,10 |
| | T2 | 79,52 | 76,10 | 85,00 | 85,00 | 84,90 | 78,00 | 78,10 |
| | T3 | 76,40 | 84,50 | 81,50 | 80,00 | 64,90 | 51,30 | 51,40 |
| | T4 | 81,50 | 61,50 | 73,30 | 71,00 | 62,70 | 50,00 | 50,10 |
| | T5 | 72,31 | 63,50 | 77,70 | 72,00 | 74,80 | 74,00 | 74,10 |
| | T6 | 77,90 | 78,40 | 79,80 | 74,00 | 66,00 | 54,00 | 54,10 |
| Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹) | T1 | 1,14 | 1,57 | 1,33 | 1,39 | 1,40 | 1,45 | 1,71 |
| | T2 | 1,17 | 1,57 | 1,32 | 1,28 | 1,50 | 1,45 | 1,72 |
| | T3 | 2,28 | 1,47 | 1,38 | 1,39 | 2,15 | 2,15 | 1,70 |
| | T4 | 1,60 | 1,43 | 1,27 | 1,33 | 2,62 | 2,60 | 1,71 |
| | T5 | 1,53 | 1,69 | 1,38 | 1,30 | 2,15 | 2,15 | 1,71 |
| | T6 | 1,47 | 1,39 | 1,33 | 1,42 | 2,62 | 2,58 | 1,70 |

Análisis fitotóxico

La figura 6 mostró que las variantes de compost se encontraron por debajo del 80% de germinación de las semillas de rábano como indicadores en el compost elaborado. Sin embargo, se puede evidenciar que los valores se incrementaron en el tiempo, lo cual confirmó que la concentración de componentes fitotóxicos en el

compost disminuyó secuencialmente y que el sustrato puede ser usado con fines agronómicos. Cabe mencionar que el tratamiento con mayor índice de germinación correspondió al T5 (Cascarilla de arroz + Bovinaza + EMA). Lo deseable es que supere el 90% de germinación para considerarlo como compost maduro, según la normativa Nch2880.

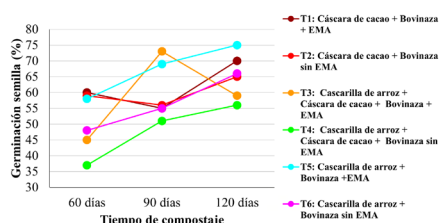


Figura 6. Índice de germinación de semillas en los tres primeros meses de compostaje.

Los resultados presentaron similitud con la investigación de Delgado et al. (2019), quienes reportaron un índice de germinación por debajo del 80% en el compost de pila.

Análisis del comportamiento de los macro y micronutrientes en el proceso de compostaje

En la tabla 3 se presentan los promedios de las variables físico-químicas evaluadas a los 60 y 120 días de iniciado el proceso de compostaje. Interesa, sobre todo, los valores a los 120 días porque el compost es usado con fines agronómicos y debe ser una fuente de nutrientes para las plantas cultivadas. Los promedios de macro y micronutrientes fueron muy similares en las dos variantes de compostaje -con y sin EMA-, lo cual confirmó que el contenido de nutrientes en el abono orgánico dependió de los materiales de partida. Se resaltó el N que se encontró en los rangos establecidos por la NCh 2880 (2004), en el comportamiento de nitrógeno para un compost maduro con un valor $\geq 0,80\%$ resultados que guardaron relación en comparación a los datos obtenidos dentro de la investigación realizada por Delgado et al. (2019) en donde se obtuvieron valores entre 2,0 y 3,5%, igual para el P que debe ser $\geq 0,1\%$ sobre la base seca; los valores de K coincidieron con la Norma Técnica Colombiana 5167 (2004), en la que se indicó que un compost maduro debe tener valores mayores a 1,5%; lo cual dentro de este componente solo los tratamientos T1, T2, T3 y T4 cumplieron con los parámetros dentro de esta norma.

Tabla 3. Valores de MO, macro y micronutrientes en el compost con y sin EM.

| Elemento | Unidad | Tiempo de compostaje (días) | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----------------------------|-------|--------------|-------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|-------|
| | | T1 (Con EMA) | | T2 (Sin EMA) | | T3 (Con EMA) | | T4 (Sin EMA) | | T5 (Con EMA) | | T6 (Sin EMA) | | |
| | | 60 | 120 | 60 | 120 | 60 | 120 | 60 | 120 | 60 | 120 | 60 | 120 | |
| Macronutrientes | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrógeno | N | 1,77 | 1,49 | 1,79 | 1,31 | 1,12 | 1,07 | 1,11 | 1,07 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 1,02 | |
| Fósforo | P | 0,86 | 0,87 | 0,88 | 0,92 | 0,68 | 0,68 | 0,72 | 0,68 | 0,58 | 0,54 | 0,59 | 0,58 | |
| Potasio | K | 2,81 | 2,88 | 3,17 | 2,94 | 1,44 | 1,31 | 1,24 | 1,31 | 0,9 | 0,99 | 0,95 | 0,97 | |
| Calcio | Ca | 2,0 | 2,29 | 1,99 | 2,08 | 1,55 | 1,57 | 1,50 | 1,57 | 1,37 | 1,54 | 1,41 | 1,52 | |
| Magnesio | Mg | 0,77 | 0,84 | 0,81 | 0,85 | 0,78 | 0,78 | 0,67 | 0,78 | 0,74 | 0,81 | 0,78 | 0,81 | |
| Azufre | S | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,29 | 0,2 | 0,19 | 0,2 | 0,19 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,20 | |
| Micronutrientes | | | | | | | | | | | | | | |
| Boro | B | 12,5 | 7,3 | 15,6 | 12,5 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | |
| Zinc | Zn | 168,8 | 153,3 | 158,9 | 154,9 | 160,4 | 154,8 | 162,8 | 154,8 | 149,0 | 155,5 | 149,1 | 145,8 | |
| Cobre | Cu | 32,3 | 35,5 | 31,2 | 35,3 | 52,4 | 54,3 | 59,4 | 54,3 | 54,1 | 55,3 | 53,1 | 53,0 | |
| Hierro | Fe | 9331 | 10937 | 8272 | 10103 | 15859 | 19507 | 16473 | 19507 | 17245 | 18609 | 18273 | 17237 | |
| Manganeso | Mn | 338,7 | 340,0 | 319,8 | 322,2 | 417,4 | 474,5 | 459,7 | 474,5 | 505,1 | 499,3 | 477,0 | 449,6 | |
| Materia orgánica | MO | % | 54,99 | 52,87 | 57,22 | 53,76 | 35,75 | 33,37 | 37,26 | 33,37 | 33,33 | 31,66 | 34,81 | 36,77 |
| Carbón orgánico | | % | 31,9 | 30,67 | 33,19 | 31,18 | 20,73 | 19,36 | 21,61 | 19,36 | 19,33 | 18,36 | 20,19 | 21,33 |



| Relación C/N | % | 18,02 | 20,58 | 18,54 | 23,8 | 18,51 | 18,09 | 19,47 | 18,09 | 20,14 | 18,74 | 20,45 | 20,91 |
|--------------|---|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|--------------|---|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

En la tabla 3 se encuentran los valores de micronutrientes reportados en los diferentes tipos de compost evaluados. El boro se encontró en rangos por debajo de los evidenciados en el estudio de Álvarez et al. (2021) cuyos valores fluctuaron entre 34 y 36 ppm; por ello, se declaró que todos los tratamientos fueron pobres en este componente nutricional. El Zinc es uno de los nutrientes esenciales dentro de la producción de cultivos, sus valores permitidos se encontraron entre 10 y 1000 ppm, valores que guardaron relación con todos los tratamientos de este estudio y fueron superiores a los reportados por Álvarez et al. (2021) y Dawar et al. (2022).

Respecto al contenido de cobre los tratamientos T1 (14 ppm) y T2 (42 ppm) cumplieron con los rangos permitidos y puede ser clasificado como un compost de clase A; en el caso del hierro la carga nutricional se superó en todos los tratamientos (valores de la norma entre 573 y 603 ppm); el manganeso fue superior a los valores permisibles en la norma. Estos resultados coincidieron con los valores altos de Fe y Mn mostrados en el estudio de Álvarez et al. (2021), y no cumplieron con lo establecido en la Normativa Chilena NCh 2880.

La materia orgánica (MO), en el compost con EMA reflejaron valores de 31,9 y 40,8% a los 60 y 120 días del proceso de compostaje, respectivamente; en el compost sin EMA los promedios de MO fueron de 33,9 y 45,03% en los dos momentos de evaluación. En el caso de la materia orgánica los valores estuvieron entre 31,66 y 57,22%, que fueron menores a los resultados obtenidos por Jara et al. (2020), quienes obtuvieron valores entre 68,50 y 91,48%; sin embargo, de acuerdo con la NCh 2880 (2004) para que un compost se considere maduro la MO debe ser igual o mayor a 25%, por lo tanto, el compost obtenido fue de clase A.

Según lo mencionado por Delgado et al. (2019) se debe tener en cuenta que el compostaje es una técnica de digestión de materia orgánica, la cual tradicionalmente demora entre 16 y 24 semanas; es por ello que el proceso de compostaje es de suma importancia a tener en cuenta ya que algún factor que intervenga puede afectar o causar graves consecuencias en la época de cosecha del compost. En ocasiones el proceso de compostaje dura más debido al tipo de material utilizado y las condiciones climáticas presentes en la preparación de este.

Por otra parte, el aporte nutricional del compost es de suma importancia para fines agronómicos, los resultados alcanzados en el presente trabajo coincidieron con lo mencionado por Huapaya (2024) quien reportó contenidos nutricionales adecuados de

materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, los cuales se podrían considerar altos debido al sustrato utilizado, cascarilla de arroz, cáscara de cacao y bovinaza. Además, se debe de comprender que, el abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales.

Para Casas y Guerra, (2020) la combinación de abono orgánico/ materia orgánica y fertilizantes minerales, ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo; sin embargo, se debe considerar que la humedad del compost se encuentra en valores >45% lo cual resultó en que el material puede ser tóxico al ser aplicado de manera directa al suelo; en estos casos una técnica que se puede aplicar fue la propuesta por Ciudades Verdes (2025) quien mencionó que se puede utilizar el compost como mezcla de 50% de tierra vegetal agrícola, 30% de compost y 20% de arena gruesa hameada. Dentro de estas alternativas de solución se encuentra la propuesta por Brempong et al. (2019) quienes detallaron que en regiones semiáridas un compost de alta humedad puede beneficiar la dinámica de carbono y nitrógeno en el suelo.

Conclusiones

Los principales residuos generados en la ESPAM-MFL y en la zona de influencia son la cáscara de cacao, cascarilla de arroz, porquinaza, bovinaza. Hay una producción permanente de estos residuos y en cantidad considerable para la elaboración de abonos orgánicos. En las universidades de Manabí hay experiencia en investigación con microorganismos eficientes, como: degradadores de materiales orgánicos, promotores de crecimiento vegetal, antagonistas y biorremediadores. Los residuos orgánicos y microorganismos eficientes escogidos para el proceso de compostaje (T2: Cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; T4: Cascarilla de arroz + cáscara de cacao + bovinaza sin EMA; y T5: Cascarilla de arroz + bovinaza + EMA), permitieron obtener un compost de categoría A, según normas internacionales.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Aguilar, S., Enriquez, M. y Uvidia, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista de Investigación, Docencia y Proyección Social*, 1(27), 05-11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>



- Aguíñaga, A., Medina, K., Garruña, R., Latournerie, L. y Ruíz, E. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Revista Acta Universitaria*, 30, e2475. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Aguirre, S., Piraneque, N. y Cabarcas, D. (2022). Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclo de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. *Entramado*, 18(1), e216. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8063>
- Albiño, J. (2020). Los sistemas de producción de cacao del cantón Shushufindi y su resiliencia al cambio climático. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 27, 90-114. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.4147>
- Alvarado, T. y Rangel, S. (2020). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 76-94. <https://doi.org/10.23850/24220582.3141>
- Álvarez, A., Llerena, L. y Reyes, J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39, e916. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Andrade, D. y Avellán, A. (2020). *Inoculación de un consorcio microbiano autóctono encapsulado con capacidad celulolítica para la producción de compost de calidad en Manabí-Ecuador* [Tesis Ingeniero Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1326>
- Bailón, M. y Florida, N. (2021). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Barona, A., Insuasty, O., Viveros, C., Ángel, J. y Ramírez, J. (2020). Evaluación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para producción de panela en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), e1298. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1298>
- Barros, M. y Tovar, D. (2023). Implementación del compostaje como estrategia sostenible para reducir la generación de residuos sólidos orgánicos en el centro educativo la Guajirita, sede Casa Blanca. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 2597-2613. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7908
- Borjas, J. (2021). Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 5(15), 79-97. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.90>
- Brempong, M., Norton, U. y Norton, J. (2019). Efectos del compost y la humedad del suelo en la dinámica estacional del carbono y el nitrógeno, los flujos de gases de efecto invernadero y el potencial de calentamiento global de suelos semiáridos. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult*, 8 (Supl. 1), 367-376. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00309-4>
- Camacho, F., Uribe, L., Newcomer, Q., Masters, K. y Kinyua, M. (2019). Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 75-84. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2197>
- Cartay, R., Ordoñez, J., Rodrigo, J. y Varela, A. (2023). Estrategias para la reducción de los residuos agrícolas sólidos potencialmente contaminantes desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental. *Agroalimentaria*, 29(57), 43-67. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9333803.pdf>
- Casas, S. y Guerra, L. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 87-102. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202020000300087&lng=es&tlng=es
- Castro, H., Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41(38), 42-50. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>
- Cedeño, R., García, M., y Mero, A. (2020). Generación y aprovechamiento de residuos agrícolas en zonas productivas de Manabí. *Revista Agroecológica del Litoral*, 12(2), 45-56.
- Ciudades Verdes (19 de mayo de 2025). *Preparación del terreno. Ciudades verdes*. <https://ciudadesverdes.com/estandares-tecnicos/paisajismo/cesped/preparacion-del-terreno/>
- Córdova, J., Vargas, B., Naranjo, E. y Vega, P. (2022). Obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy. *Perfiles*, 1(28), 29-35. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.181>
- Cruz, C., Zelaya, L., Sandoval, G., Santos, S., Rojas, E., Chávez, I. y Ruíz, S. (2022). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Cruz, R., Piranique, N. y Aguirre, S. (2023). *Introducción a la biología y microbiología de suelos*. Editorial Unimagdalena. <https://agricolavalleesperanza.com/introduccion-a-la-biologia-y-microbiologia-de-suelos/>



- Dawar, K., Kalil, Z., Ahmad, I., Kan, B., Alí, S., Ahmad, A., Saeed, M., Ahmed, N., Fhad, C., Danés, S., Bahkali, A. y Datta, R. (2022). Effects of farmyard manure and different phosphorus inorganic fertilizer application rates on wheat cultivation in phosphorus-deficient soil. *Sustainability*, 14(30), 9030. <https://doi.org/10.3390/su14159030>
- Delgado, M., Mendoza, k., González, M., Tadeo, J. y Martin, J. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 35(4), 965-977. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n4/0188-4999-rica-35-04-965.pdf>
- Garrido, L., Florida, N., Nazar, J. y Rengifo, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción + Limpia*, 18(1), 109-128. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a8>
- Gavilán, F., Morán, C. y Campoverde, G. (2024). Impacto ambiental y emisión de metano del botadero de basura de Naranjito, Guayas - Ecuador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 16 (1), 1-10. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v16i1.5173>
- Gutiérrez, E., García, T., Roca, K. y Valiente, Y. (2024). Gestión de residuos sólidos y la contaminación ambiental en el sector urbano. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9(17), 108-118. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3156>
- Guzmán, A., Zambrano, D., Rondón, A., Laurencio, M., Pérez, M., León, R., y Rivera, R. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista. Fac. Cienc. Agrar, Univ*, 46(2), 177-189. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837658004.pdf>
- Han, M., Wu, Y., Liu, X., Liu, C., He, M., Zhao, S., Li, Y., Zhao, S. and Li, Z. (2022). The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting. *Bioresource Technology*, 351, 126973. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>
- Herrera, M., Valiente, Y., Garibay, J. y Herrera, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 150-170. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2540>
- Huapaya, Y. (2024). Evaluación del compost a diferentes composiciones para aprovechar los residuos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Puno para contribuir en contrarrestar el cambio climático. *Revista de Investigación Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 24-35. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v26n1/2313-2957-ria-26-01-24.pdf>
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. (2019). *Manejo simplificado de residuos sólidos a nivel doméstico urbano en trópico húmedo, Iquitos – Peru*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). <https://api-repositorio.iiap.gob.pe/server/api/core/bitstreams/f2e97042-7b72-4073-aa17-03df4f4d33d4/content>
- Intriago, J., Plaza, I. (2020). *Obtención de bacterias endófitas del tomatillo (Lycopersicon pinpinelifolium L.) como promotoras de crecimiento vegetal*. [Tesis Ingeniero Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1322>
- Jara, J., Gallegos, J. y Pullopaxi, A. (2020). Biotransformación de residuos orgánicos generados en la escuela superior politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje. *InterSedes*, 21(44), 189-201. <https://dx.doi.org/10.15517/isucr.v21i44.43944>
- Loor, K., y Delgado, M. (2021). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el cantón Bolívar, Manabí. *Ciencia y Producción*, 5(3), 66-77.
- Lozano, A., Sánchez, C. y Ardila, J. (2020). Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás vía simulación con el software SIMBA®. *Revista Ingeniería y Región*, 24, 72-85. <https://doi.org/10.25054/22161325.2779>
- Mena, M. (29 de marzo de 2022). *Generación de residuos*. Statista. <https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano/>
- Mendoza, F., y Herrera, G. (2018). *Residuos agroindustriales en el Ecuador: diagnóstico y alternativas de gestión sostenible*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Mero, E. y Barreiro, F. (2021). *Evaluación de la calidad de compost elaborado a partir de subproductos de arroz (Oryza sativa) y yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis Ingeniero Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1641>

- Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
- Muñoz, O., Canepa, E. y Peñafiel, A. (2022). Enseñanzas para el manejo de los desechos agrícolas del Cantón Montalvo mediante charlas en gestión ambiental. *Conrado*, 18(88), 141-150. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442022000500141&lng=es&tlng=es.
- NCH (Norma Chilena de Compost 2880). (2004). Compost - Clasificación y Requisitos, 23 pp. https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf
- NMX (Norma Mexicana-AA-180-SCFI-2018). (2018). Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>
- Noboa, B. (2021). *Uso de microorganismos eficientes para acelerar la descomposición de residuos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.)*, Echeandia-Bolívar. [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/NOBOA%20GAVILANES%20BYRON%20ALEXANDER.pdf>
- Normativa Técnica Colombiana (NTC Norma para abonos orgánicos y fertilizantes 5167. (2011). *Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. <https://www.cali.gov.co/dagma/loader>.
- Ojeda, C., Gutiérrez, J. y Córdova, L. (2021). Desempeño económico-financiero 2010-2019 de empresas longevas en el Ecuador: ¿Avance o retroceso?. *Podium*, 40, 89-104. <https://doi.org/10.31095/podium.2021.40.6>
- Ordoñez, C., Suárez, J., Rangel, J. y Saavedra, D. (2021). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 256-267. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)256-267](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)256-267)
- Ormaza, E., López, L. y Nevárez, J. (2025). *Vulnerabilidad de la producción agrícola en la zona norte de Manabí*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://libros.ulead.edu.ec/wp-content/uploads/2025/02/DIPS-PUB2025-003-Vulnerabilidad-de-la-produccion-agricola.pdf>
- Paredes, J., Dueñas, A. y Zambrano, F. (2021). Aplicación de microorganismos eficientes en la descomposición de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* jacq. 1897) para la elaboración de compost. *Revista PAIDEIA XXI*, 11(2), 291-306. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/4085/5050>
- Riera, M., Laz, M. y Tuárez, M. (2024). Residuos revalorizables: una oportunidad de desarrollo manabita. *Revista ESPAMCIENCIA para el agro*, 15(1), 12-20. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.466
- Romero, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54), e100. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Rosado, M., González, J., Mireles, M., Torres, J., Rosas, N. y Villegas, J. (2020). Identificación de microorganismos aislados de suelos agrícolas con capacidad de tolerar 2.4-D y malatión. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.248>
- Taipe, M., Duicela, L., Solorzano, J., Molina, C., Zambrano, T., Caixa, F. y Aranguren, J. (2022). Realidades de la ganadería bovina en la provincia de Manabí. *Revista de Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 311-338. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2588
- Tortosa, G. (2013). *Azufre elemental para bajar el pH de un compost*. *Compostando Ciencia*. [https://www.compostandociencia.com/2013/07/azufre-elemental-baja-ph-en-compost-html/#:~:text=El%20azufre%20elemental%20es%20un,peso%20con%20respecto%20al%20compost\).&text=The%20evolution%20of%20pH%20during,addition%20of%20S%20\(1.0%25\)](https://www.compostandociencia.com/2013/07/azufre-elemental-baja-ph-en-compost-html/#:~:text=El%20azufre%20elemental%20es%20un,peso%20con%20respecto%20al%20compost).&text=The%20evolution%20of%20pH%20during,addition%20of%20S%20(1.0%25)).
- Vasquez, K. (2024). *Aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos para la obtención de abono orgánico mediante la técnica de compostaje a pozo y vermicompostaje en la 3.ª Brigada de Servicios de la Región Militar Sur-Ministerio de Defensa-Arequipa, 2021* [Tesis Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17083/1/IV_FIN_107_TE_Vasquez_Ybarcena_2024.pdf

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Jesús Eduardo Vázquez Quirumbay: análisis formal, redacción-borrador original, investigación, edición del artículo. **Ángel Monserrate Guzmán Cedeño:** escritura del esquema del documento, edición de la metodología, edición del borrador del artículo, análisis formal, redacción-revisión y edición.

