

Evaluación de microorganismos benéficos en el compostaje de residuos sólidos domiciliarios de la parroquia La Belleza, provincia de Orellana.

Evaluation of beneficial microorganisms in the composting of household solid waste in the parish of La Belleza, province of Orellana.

Avaliação de microrganismos benéficos na compostagem de resíduos sólidos domésticos na paróquia de La Belleza, província de Orellana.

Pedro Andrés, Peñafiel Arcos
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana
pedro.penafiela@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8723-1041>



Brillith Estefanía, León Chiguango
Investigadora independiente en ciencias ambientales
steffyleon73@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-2717-5217>



Karem Yael, Cazares Carrión
Universidad Estatal Amazónica
karem.cazares@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8415-7723>



Robinson J., Herrera-Feijoo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
rherreraf2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/n2/246>

Como citar:

Peñafiel Arcos, P. A., León Chiguango, B. E., Cazares Carrión, K. Y., & Herrera-Feijoo, R. J. (2023). Evaluación de microorganismos benéficos en el compostaje de residuos sólidos domiciliarios de la parroquia La Belleza, provincia de Orellana. *Código Científico Revista De Investigación*, 4(2), 341-359.

Recibido: 15/10/2023

Aceptado: 22/12/2023

Publicado: 31/12/2023

Resumen

El crecimiento poblacional dentro un marco de planificación territorial inadecuado, la falta de política pública y la deficiente conciencia ambiental, generan que la gestión de los residuos y desechos sólidos en los países en vías de desarrollo presente limitaciones significativas. Esto sugiere la necesidad de implementar alternativas de aprovechamiento de estos recursos, dentro de los cuales la fracción orgánica representa una opción viable y sostenible. En este sentido, este trabajo plantea la evaluación del uso de microorganismos benéficos en el compostaje de residuos orgánicos domiciliarios de la parroquia La Belleza de la provincia de Orellana, ubicada en la Amazonía ecuatoriana. Como primer punto, se caracterizaron los residuos sólidos generados en la localidad, en donde se determinó que la PPC diaria es de 0,275 kg/hab/día y la fracción orgánica representa el 77% del total. Así mismo, se preparó la biomasa benéfica con presencia principalmente de *Scopulariopsis sp.* 97% y *Monascus sp.* 3%. A su vez, se instalaron 6 composteras: dos que sirvieron de testigo sin microorganismos benéficos (MB) y cuatro con diferentes combinaciones de residuos sólidos orgánicos o materia orgánica (MO) más microorganismos, lo cual sirvió para evaluar su capacidad de mejora del proceso. A partir de la evaluación física, química y microbiológica se determinó que las composteras T3 (65% de MO y 35% de MB) y T4 (75% de MO y 25% de MB) obtuvieron mayor producción tanto de nutrientes como de contenido orgánico, dentro del producto final. Esto demuestra la importancia de utilizar biomasa benéfica para el mejoramiento de la eficiencia del tratamiento de biodegradación de residuos sólidos domiciliarios

Palabras clave: Microorganismos benéficos, Compostaje, Residuos sólidos domiciliarios

Abstract

Population growth in the context of inadequate land-use planning, lack of public policy and low levels of environmental awareness mean that waste and solid waste management in developing countries is severely constrained. This suggests the need to implement alternatives for the use of these resources, of which the organic fraction represents a viable and sustainable option. In this sense, this work proposes the evaluation of the use of beneficial microorganisms in the composting of household organic waste in the community of La Belleza, in the province of Orellana, located in the Ecuadorian Amazon. The first step was to characterise the solid waste generated in the community, where it was found that the daily PPC was 0.275 kg/inhab/day and that the organic fraction represented 77% of the total. Likewise, the useful biomass was prepared with the presence of mainly *Scopulariopsis sp.* 97% and *Monascus sp.* 3%. At the same time, 6 compost bins were installed: two were used as controls without beneficial microorganisms (MB) and four with different combinations of solid organic waste or organic matter (OM) plus microorganisms, which served to evaluate their capacity to improve the process. The physical, chemical and microbiological evaluation showed that the composts T3 (65% OM and 35% MB) and T4 (75% OM and 25% MB) achieved higher production of both nutrients and organic matter in the final product. This demonstrates the importance of using beneficial biomass to improve the efficiency of biodegradation treatment of municipal solid waste.

Keywords: Beneficial micro-organisms, Composting, Municipal solid waste

Resumo

O crescimento demográfico num quadro de planeamento territorial inadequado, a falta de políticas públicas e uma consciência ambiental deficiente fazem com que a gestão dos resíduos e dos resíduos sólidos nos países em desenvolvimento tenha limitações significativas. Isto sugere a necessidade de implementar alternativas para a utilização destes recursos, dos quais a fração orgânica representa uma opção viável e sustentável. Neste sentido, este trabalho propõe

a avaliação da utilização de microrganismos benéficos na compostagem de resíduos orgânicos domésticos na paróquia de La Belleza, na província de Orellana, localizada na Amazônia equatoriana. Como primeiro ponto, caracterizou-se o resíduo sólido gerado na localidade, onde se determinou que o PPC diário é de 0,275 kg/hab/dia e a fração orgânica representa 77% do total. Da mesma forma, a biomassa benéfica foi preparada com a presença principalmente de *Scopulariopsis* sp. 97% e *Monascus* sp. 3%. Ao mesmo tempo, foram instaladas 6 caixas de compostagem: duas foram utilizadas como controlo sem microrganismos benéficos (MB) e quatro com diferentes combinações de resíduos sólidos orgânicos ou matéria orgânica (OM) mais microrganismos, que serviram para avaliar a sua capacidade de melhorar o processo. A partir da avaliação física, química e microbiológica, determinou-se que os compostos T3 (65% OM e 35% MB) e T4 (75% OM e 25% MB) obtiveram maior produção tanto de nutrientes como de conteúdo orgânico no produto final. Este facto demonstra a importância da utilização de biomassa benéfica para melhorar a eficiência do tratamento de biodegradação dos resíduos sólidos domésticos.

Palavras-chave: Microrganismos benéficos, Compostagem, Resíduos sólidos domésticos.

Introducción

En las naciones en desarrollo, la gestión efectiva de los RSU representa un desafío multifacético, exacerbado por limitaciones en políticas públicas, financiamiento y conciencia ciudadana (Fernando & Zutshi, 2023; Mir et al., 2021). Esta deficiencia no solo cataliza la contaminación ambiental (Meena et al., 2021), sino que también impone riesgos significativos para la salud pública (Negash et al., 2021; Souza Barreto et al., 2020). La inadecuada infraestructura y recursos limitan la capacidad de las entidades urbanas para implementar estrategias efectivas de manejo de residuos, resultando en una brecha entre los costos operativos y los ingresos generados por estas actividades (de Souza et al., 2021). Ante este panorama, se hace esencial el desarrollo y la implementación de un plan integral que aborde y supere los retos presentados por la creciente producción de RSU (Mir et al., 2021).

Específicamente en Ecuador, donde la responsabilidad del manejo de RSU recae en las autoridades municipales, se han realizado esfuerzos considerables para mejorar su gestión. Sin embargo, la falta de financiamiento adecuado y conocimientos técnicos especializados obstaculiza la implementación de sistemas de disposición y tratamiento seguros y eficientes, limitando los progresos en esta área crucial (Jara-Samaniego et al., 2017). A nivel nacional, la

mayoría de los residuos generados son destinados a sitios de disposición final, mientras que solo una fracción mínima es recuperada por recicladores informales, quienes a menudo trabajan en condiciones precarias (Hidalgo-Crespo et al., 2023; Negash et al., 2021).

Dentro de las estrategias prometedoras para la valorización y aprovechamiento de residuos, destaca la transformación de residuos sólidos domiciliarios (RSD) de origen orgánico en alimento para animales, el compostaje y la lombricultura (Puerta Echeverri, 2004). El compostaje, un proceso biológico de descomposición de materia orgánica, emerge como una alternativa eficiente y sostenible, contribuyendo significativamente a la reducción del volumen de residuos destinados a la eliminación final (Cao et al., 2023; Lalremruati & Devi, 2021). Durante este proceso, una diversidad de microorganismos benéficos, incluyendo bacterias, hongos y actinomicetos, desempeñan un rol crucial al acelerar la degradación de materia orgánica, transformándola en compost, un producto enriquecido en nutrientes (Cajahuanca Figueroa, 2016; Guo et al., 2020; Li et al., 2023; Oyewusi et al., 2021). La eficacia y calidad del compost resultante dependen enormemente de la actividad y diversidad de estos microorganismos.

En la parroquia rural La Belleza, el manejo de RSD muestra deficiencias significativas, con un bajo porcentaje de recolección formal y prácticas inadecuadas de disposición por parte de los ciudadanos (INEC, 2022). Este escenario subraya la necesidad crítica de adoptar alternativas sostenibles para el manejo de residuos. El presente estudio se enfoca en evaluar la aplicación de microorganismos benéficos en el compostaje de RSD en La Belleza, provincia de Orellana. Mediante un análisis detallado físico, químico y microbiológico de composteras experimentales, este estudio busca no solo mejorar la comprensión de los procesos de compostaje, sino también fomentar la adopción de prácticas de manejo de residuos más eficientes y sostenibles en la región, alineadas con los principios de una economía circular e inclusiva

Metodología

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la parroquia "La Belleza", ubicada en el Cantón de Francisco de Orellana, dentro de la Provincia de Orellana, a unos 24 km de la ciudad de El Coca. Esta región se caracteriza por su clima tropical cálido húmedo, evidenciado por una temperatura media anual de aproximadamente 25 °C y altos niveles de humedad, alcanzando en promedio el 90%. Las precipitaciones son copiosas, variando entre 3000 mm y 6000 mm anuales. Estas condiciones climáticas particulares no solo influyen en la biodiversidad y los ecosistemas locales (López-Tobar et al., 2023), sino también en la composición y descomposición de los residuos sólidos domiciliarios, aspectos cruciales para considerar en la gestión y tratamiento de los residuos en la región (Diéguez-Santana et al., 2017; Jaramillo et al., 2023; Peñafiel-Arcos et al., 2022)

Caracterización de los RSD generados en la parroquia La Belleza

El objetivo de este estudio se abordó mediante la metodología establecida por la Organización Panamericana de Salud (OPS). Este enfoque, diseñado inicialmente por el Dr. Kunitoshi Sakurai en 1982, es ampliamente reconocido y aplicado en estudios de caracterización de residuos sólidos a lo largo de la Región de América Latina y el Caribe. La metodología de la OPS implica un análisis detallado de las características fundamentales de los residuos sólidos, incluyendo su generación, composición y densidad (Cantanhede et al., 2005).

Para la recolección de datos, cada vivienda seleccionada en la parroquia 'La Belleza' fue etiquetada con un número identificativo correspondiente a su casa y manzana. Los residuos sólidos domiciliarios (RSD) fueron recolectados durante ocho días consecutivos, descartando los datos del primer día para evitar anomalías de ajuste. La recolección se realizó diariamente en horas diurnas, previo al servicio habitual del carro recolector. Los RSD se almacenaron en

bolsas de polietileno negro de 50 x 55 cm, cada una con una capacidad resistente de hasta 25 kg, y luego se pesaron en kilogramos.

Para calcular la producción per cápita (PPC) diaria de RSD, se utilizó la siguiente fórmula (Ecuación 1): $PPC = Wt/n$. Aquí, 'Wt' representa el peso total de los residuos recolectados diariamente en cada vivienda, mientras que 'n' denota el número total de personas por vivienda. Esta ecuación permite una estimación precisa de la cantidad de residuos generados por individuo, proporcionando una métrica crucial para entender y gestionar la producción de residuos en la comunidad estudiadas

$$PPC = \frac{\text{Peso diario total de residuos (Wt)}}{\text{Número de personas (n)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Adicionalmente, para obtener una comprensión más detallada de la composición de los residuos sólidos domiciliarios (RSD), se calculó el porcentaje de generación de cada categoría de RSD. Este cálculo se realizó utilizando la Ecuación 2, que permite una evaluación específica de la contribución porcentual de cada tipo de residuo al total recolectado. La ecuación empleada es la siguiente: $\text{Porcentaje de Generación} = (Pi/Wt) * 100$. En esta fórmula, 'Pi' representa el peso del componente específico o categoría de residuo en cuestión, mientras que 'Wt' denota el peso total de los residuos recolectados en un día.

$$\text{Porcentaje (\%)} = \frac{\text{Peso de cada componente (Pi)}}{\text{Peso diario de residuos (Wt)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Preparación de los microorganismos benéficos y composteras

En el marco de este estudio, se desarrolló una técnica económica y eficaz para la preparación de microorganismos benéficos (MB), adaptada para su aplicación en entornos naturales como bosques primarios y secundarios. Esta técnica, que forma parte integral del proceso de compostaje orgánico, fue adoptada según lo descrito por Torres-Pérez et al. (2022).

En la finca experimental "La Belleza" de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), se recolectó hojarasca y se combinó con tierra de bosque, semolina de arroz, agua y melaza. Para activar los microorganismos, se empleó un contenedor plástico cerrado, generando un ambiente anaeróbico que se mantuvo durante 30 días, de acuerdo con los hallazgos de Lucas et al. (2021).

En cuanto a la instalación de las composteras, se diseñó un experimento con seis tratamientos diferentes para el compostaje orgánico, tomando en cuenta tanto la elaboración del abono orgánico como la materia orgánica (MO) recolectada, basándose en el enfoque propuesto por Camacho-Céspedes et al. (2018). Siguiendo las directrices del Manual para el compostaje de Municipios (Röben, 2002) y con la asesoría del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, se construyeron pilas de compostaje con dimensiones de 1x1 m. Para protegerlas de la radiación solar directa y las precipitaciones, se instaló una cubierta plástica y se rodeó el área con polisombra negra, evitando la contaminación con hojarasca y otros residuos externos, tal como se recomienda por España et al. (2022).

Las composteras se llenaron alternativamente con materia orgánica (MO) o RSD de origen orgánico procedente de la parroquia La Belleza, y en algunos casos, se añadieron los microorganismos benéficos (MB) preparados previamente. La organización y composición específica de estas pilas de compostaje se detallan en la Tabla 1

Tabla 1

Organización y composición de las composteras

Compostera	Códigos	Sustratos	Cantidad			
			MO		MB	
Testigo 1: Sin Picar	TSP	Materia Orgánica Sin Picar	27,125 kg	100%		
Testigo 2: Picado	TP	Materia Orgánica Picada	27,125 kg	100%		
Tratamiento 1	T1	Materia Orgánica Sin Picar + Microorganismos	27,125 kg	65%	9,494 kg	35%
Tratamiento 2	T2	Materia Orgánica Sin Picar + Microorganismos	27,125 kg	75%	6,780 kg	25%
Tratamiento 3	T3	Materia Orgánica Picada + Microorganismos	27,125 kg	65%	9,494 kg	35%

Tratamiento 4	T4	Materia Orgánica Picada + Microorganismos	27,125 kg	75%	6,780 kg	25%
TOTAL			162,750 kg		32,547 kg	

Para evaluar de manera efectiva el proceso de degradación, se establecieron dos controles: uno con materia orgánica sin picar y otro con materia orgánica picada. Estos testigos permitieron comparar el avance del proceso de degradación tanto en presencia como en ausencia de la biomasa degradadora. La materia orgánica fue dispuesta en las composteras asignadas. A la quinta semana de procesamiento, se inoculó una solución líquida de microorganismos benéficos en los tratamientos 1, 2, 3 y 4, siguiendo la metodología propuesta por Largo et al. (2019). En contraste, los dos testigos solo se regaron con agua de lluvia para evitar alteraciones en el proceso degradativo que pudieran surgir del uso de aguas purificadas. El período de procesamiento se extendió por un total de 11 semanas, tiempo identificado como necesario para la producción de bioabono en entornos tropicales (Cheng et al., 2022; Waqas et al., 2018).

Para favorecer la aireación y así estimular la actividad y reproducción de los microorganismos, se realizó un volteo semanal en cada una de las composteras. Este meticuloso enfoque metodológico no solo proporciona una base sólida para evaluar la eficacia de los microorganismos benéficos en el proceso de compostaje, sino que también establece un punto de comparación claro entre las diferentes técnicas de tratamiento de la materia orgánica

Estudio de alternativas de compostaje de los RSD de la parroquia La Belleza

Para una evaluación exhaustiva del proceso de degradación de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) a través de las alternativas de compostaje propuestas, se implementaron análisis físicos, químicos y microbiológicos antes y después de la inoculación de los microorganismos benéficos en las composteras. La evaluación física incluyó una inspección visual para determinar cambios en el color y olor, así como mediciones precisas de la

temperatura y la humedad para monitorizar las condiciones ambientales dentro de las composteras.

En cuanto a la valoración química, se analizaron múltiples parámetros esenciales para determinar la calidad y eficiencia del compost resultante. Estos incluyen la concentración de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), el pH, la conductividad eléctrica (CE), el carbono orgánico total (COT), el nitrógeno total (NT), la materia orgánica (MO) y la humedad. Estos análisis químicos fueron realizados en laboratorios especializados del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y LABSU en la provincia de Orellana.

Finalmente, la caracterización microbiológica se llevó a cabo identificando y cuantificando los tipos de microorganismos presentes en las muestras de compost. Esta fase es crucial para comprender la dinámica de la descomposición y la eficacia de los microorganismos benéficos introducidos. La combinación de estas evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas proporciona una visión integral y detallada del proceso de compostaje, facilitando la identificación de las condiciones óptimas para la descomposición eficiente y la producción de un bioabono de alta calidad

Resultados

Caracterización de los RSD generados en la parroquia La Belleza

El estudio se llevó a cabo en un total de 43 viviendas, habitadas por 164 personas. Los resultados diarios obtenidos indicaron una producción per cápita (PPC) de residuos sólidos domiciliarios de 0.275 kg por habitante por día. Respecto a la composición física de los residuos sólidos domiciliarios generados en la localidad, los datos detallados y específicos se presentan en la Tabla 2

Tabla 2

Composición física de los RSD generados en la parroquia La Belleza

Categoría	Generación de residuos sólidos domiciliarios (kg)							Total (kg)	% de generación
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
Materia Orgánica	26,94	16,8	14,04	15,32	17,64	12,66	16,39	119,79	77,12861852
Madera	0,045	0	0,18	0,045	0,27	0,52	0,241	1,301	0,837668693
Papel	0	0	0,41	1,68	0,02	0,271	0,31	2,691	1,732641393
Cartón	0,455	0,32	0,41	0,185	0,101	0,45	0,163	2,084	1,341815185
Vidrio	0	0,54	0	0,231	0,52	0,14	0	1,431	0,921371175
Plásticos PE	0,068	0,023	0,2345	0,114	0,16	0,08	0,034	0,7135	0,459397857
Botellas Plásticas	0,63	0,231	1,09	0,341	0,86	0,113	0,748	4,013	2,583831256
Bolsas Plásticas	2,13	0,32	0,8	0,49	0,36	0,182	0,591	4,873	3,137555372
Metal (Latas)	0,24	0,068	0,068	0,155	0,088	0,065	0,0725	0,7565	0,487084063
Tela y textiles	0	0,045	0,54	0,473	1,14	0,64	0,87	3,708	2,387452354
Caucho, cuero y jebe	0	0,27	0	0	0	1,55	0,23	2,05	1,319923766
Pilas	0	0	0,25	0	0,01	0	0	0,26	0,167404965
Residuos sanitarios	1,23	0,5	1,22	0,66	0,41	0,44	0,321	4,781	3,078319769
Otros	2,45	0,86	0,79	0,89	0,41	0,72	0,74	6,86	4,416915628
Total								155,31	

Los resultados obtenidos para el PPC son similares a los valores reportados en otras comunidades rurales del país, como los hallazgos reportados por Paredes-Pacheco (2022), en donde se determinó una PPC de 0,330 kg/hab/día. Además, investigaciones en zonas rurales amazónicas, como las de Carrillo et al. (2021); Peñafiel-Arcos et al. (2021) en la provincia de Sucumbíos, reportaron PPC promedio de 0.53 kg/hab/día y 0.346 kg/hab/día respectivamente. Mientras que Jaramillo et al. (2023) identificaron una PPC de 0.343 kg/hab/día en la provincia de Pastaza. De manera similar, Germán-Vélez et al. (2019) determinaron una PPC de 0.260 kg/hab/día en una comunidad de la nacionalidad Waorani de la Amazonía ecuatoriana, cifra que se asemeja a la de este estudio.

Estos datos subrayan la variabilidad significativa en la generación de residuos en asentamientos poblacionales rurales, lo que podría estar influenciado primordialmente por las condiciones socioeconómicas y culturales específicas de cada comunidad, según sugiere

Quillos-Ruiz et al. (2018). En menor medida, pero también relevante, es el impacto del nivel de accesibilidad a estilos de vida urbanos. Este panorama diverso destaca la necesidad de enfoques personalizados y contextualizados para la gestión de residuos en comunidades rurales

Preparación de los microorganismos benéficos y composteras

Tras la preparación de los microorganismos responsables de la biodegradación en el compostaje, el análisis físico reveló que estos cumplían con las condiciones óptimas para sustentar una reproducción microbiana eficiente. Se identificaron características clave como un color predominante café y marrón, un olor característico similar al de la tierra durante la fermentación, y la visible formación de conglomerados de biomasa. Además, se observó un crecimiento notable de hongos, manifestado por una capa blanquecina que cubría el entorno del envase (ver Figura 1). En términos de parámetros ambientales, la temperatura promedio registrada fue de 25 °C y la humedad alcanzó el 74.7%. Estos indicadores sugieren un entorno propicio para la actividad microbiana, crucial para un proceso de compostaje efectivo

Figura 1.

Composición física de los microorganismos degradadores



Estudio de alternativas de compostaje de los RSD de la parroquia La Belleza

Evaluación física

Para monitorear y controlar eficazmente el proceso de biodegradación en las seis composteras, se realizaron mediciones semanales de temperatura y humedad. Estos parámetros son cruciales para evaluar el ambiente óptimo para la actividad microbiana y el progreso del compostaje. Los resultados detallados de estas mediciones, que proporcionan una visión clave del comportamiento y eficiencia del proceso a lo largo del tiempo, se presentan gráficamente en las Figuras 2 y 3.

Figura 2

Control semanal de temperatura de las alternativas de compostaje

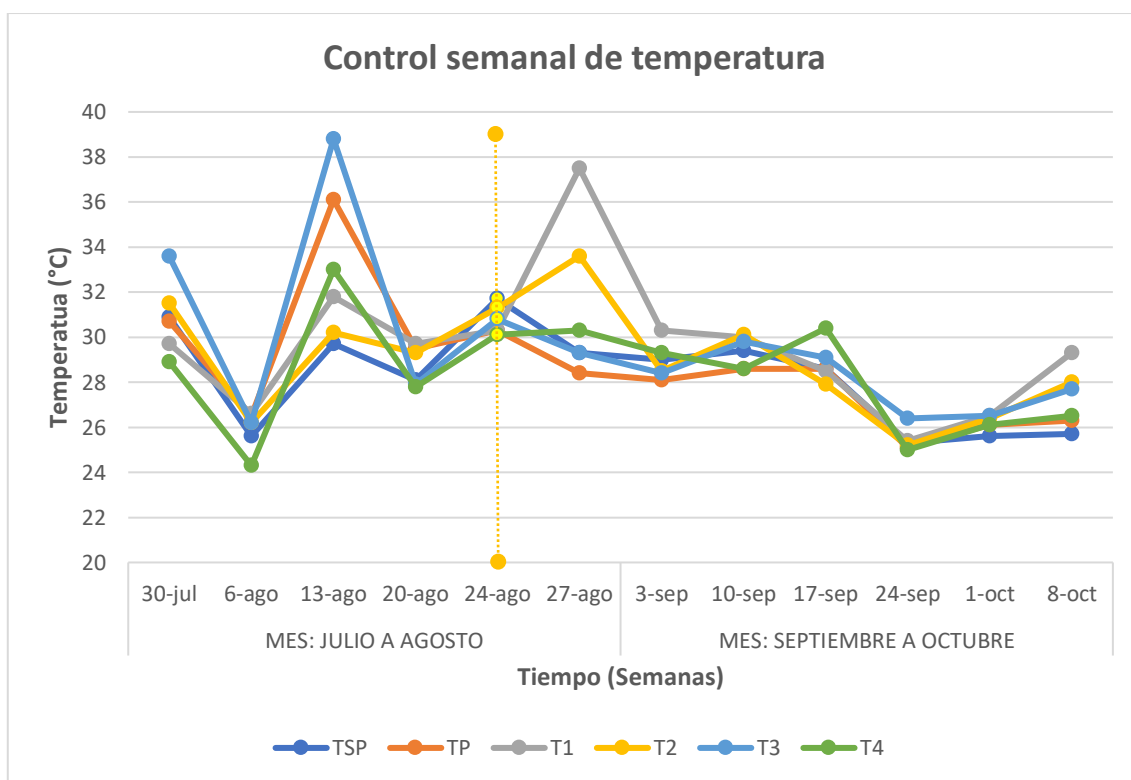
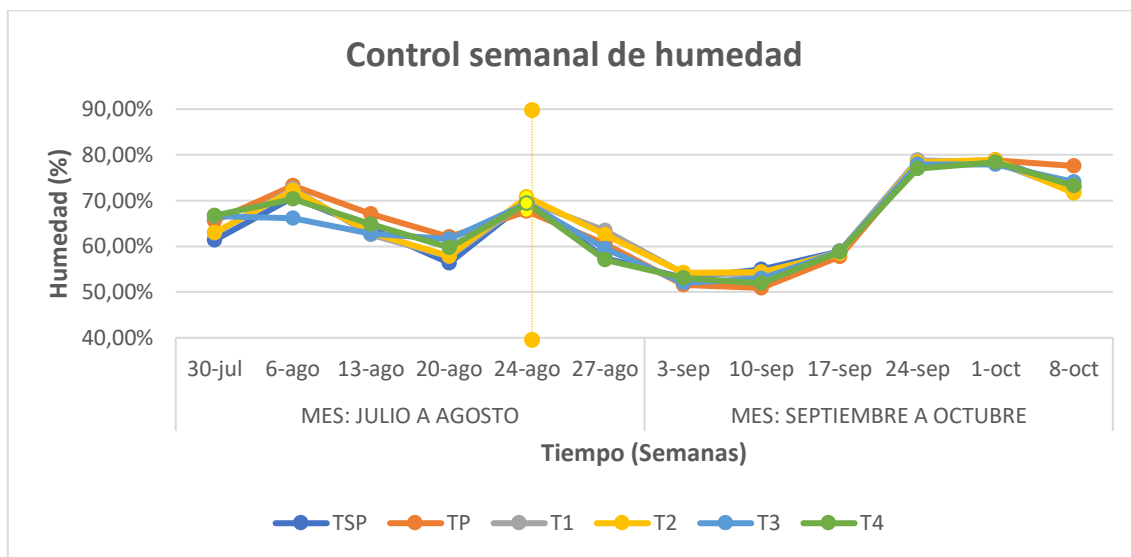


Figura 3

Control semanal de humedad de las alternativas de compostaje



En las figuras mencionadas previamente, la línea vertical de color amarillo señala el momento específico de la inoculación de microorganismos degradadores en los tratamientos 1, 2, 3 y 4. Esta referencia visual es clave para entender el impacto directo de la introducción de microorganismos en el proceso de compostaje. Al analizar los datos, se observa que las composteras enriquecidas con microorganismos benéficos mostraron, de manera consistente, una temperatura final superior en comparación con los controles. Este aumento en la temperatura es un indicador positivo de una actividad microbiana más intensa y, por ende, de una biodegradación más efectiva. Por otro lado, en cuanto a la humedad, las diferencias entre las diversas alternativas no resultaron ser significativas, lo que sugiere una estabilidad en este parámetro a lo largo de los distintos tratamientos

Evaluación química

Respecto a los resultados de la caracterización química, los datos obtenidos tanto de la biomasa benéfica formada como del producto final de cada compostera se detallan en la Tabla 3. Esta tabla proporciona un análisis exhaustivo de los componentes químicos esenciales presentes, lo que es fundamental para evaluar la calidad y eficacia del compostaje. Los

resultados reflejados permiten una comparación precisa entre las diferentes composteras y muestran el impacto de la biomasa benéfica en el perfil químico del compost resultante.

Tabla 3

Caracterización química de las alternativas de compostaje

Parámetro	Unidad	Antes de MB	TSP	TP	T1	T2	T3	T4
NT	g/100g (%)	0,29	2,05	1,98	2,19	1,98	2,19	2,12
P	g/100g (%)	0,08	0,31	0,32	0,81	0,73	0,75	0,87
K	g/100g (%)	1,28	2,88	2,26	3,5	3,05	2,55	3,56
Ca	g/100g (%)	0,89	2,99	2,45	2,32	2,03	2	2,01
Mg	g/100g (%)	0,49	0,44	0,4	0,55	0,6	0,66	0,66
pH	---	4,62	6,84	6,92	8,19	7,46	6,93	7,61
CE	mS/m	7,32	9,01	9,83	6,22	4,2	8,46	14,88
COT	g/100g (%)	3,38	10,9	10,57	8,7	10,32	11,18	10,52
MO	g/100g (%)	5,83	18,79	18,23	14,99	17,79	19,27	18,14
Humedad	%	72	46,26	47,62	48,87	45,55	42,76	42,39

Del análisis de la Tabla 3, se destaca un hallazgo relevante: las composteras inoculadas con biomasa benéfica (MB) demostraron una concentración significativamente mayor de micro y macronutrientes, así como de contenido orgánico. En particular, la compostera T3 se distinguió por poseer la mayor cantidad de contenido orgánico en el producto final, mientras que la compostera T4 sobresalió por tener la mayor concentración promedio de nutrientes. Estos resultados evidencian que la incorporación de MB no solo enriquece el perfil nutricional del compost, sino que también potencia la eficiencia general del proceso de compostaje, subrayando la importancia de la biomasa benéfica en la mejora de la calidad y eficacia del compost resultante.

Evaluación microbiológica

El análisis microbiológico realizado en la biomasa degradadora preparada antes de su inoculación en las seis composteras reveló una predominancia de los microorganismos *Scopulariopsis sp.* (97%) y *Monascus sp.* (3%). Se sabe que la mayoría de las especies del género *Scopulariopsis* actúan como saprófitas, descomponiendo materia orgánica, aunque

existen reportes de algunas especies que pueden ser patógenas para los seres humanos (Jagielski et al., 2016). En contraste, *Monascus* es un hongo o levadura utilizado tradicionalmente en la fermentación de ciertos alimentos, conocido por su crecimiento óptimo en condiciones mesófilas, entre 30 y 35 °C (Patakova, 2013). Además, el recuento inicial cuantitativo de la biomasa degradadora indicó una densidad de 2.5×10^8 unidades formadoras de colonias por gramo (ufc/g), evidenciando una población microbiana significativa y activa.

En cuanto al análisis de los productos finales de cada compostera, los resultados detallados se presentan en la Tabla 4. Estos ofrecen una visión completa del perfil microbiológico al final del proceso de compostaje, permitiendo una evaluación comparativa de la eficacia de cada tratamiento

Tabla 4

Caracterización microbiológica de las alternativas de compostaje

Composteras	Tipos de microorganismos			
	<i>Aspergillus sp.</i> ,	<i>Penicillum sp.</i> ,	<i>Trichoderma sp.</i> ,	Levaduras
TSP	65%	30%	4%	1%
TP	35%	24%	40%	1%
T1	9%	8%	83%	0%
T2	18%	16%	64%	2%
T3	5%	5%	90%	2%
T4	22%	60%	15%	3%

Adicionalmente, se realizó un recuento meticuloso de los microorganismos presentes en cada una de las seis composteras al final del proceso de compostaje. Los resultados específicos de este análisis cuantitativo se detallan en la Tabla 5. Esta tabla proporciona datos valiosos sobre la diversidad y la densidad microbiana en cada tratamiento, permitiendo una evaluación comparativa y una comprensión más profunda de la actividad biológica dentro de las composteras a lo largo del proceso.

Tabla 5.*Reconteo microbiológico de las alternativas de compostaje*

VARIABLES	RECUESTRO DE MICRORGANISMOS
TSP	9,30 x10 [^] 7 ufc/g
TP	1,15 x10 [^] 8 ufc/g
T1	9,60 x10 [^] 7 ufc/g
T2	7,10 x10 [^] 7 ufc/g
T3	8,50 x10 [^] 7 ufc/g
T4	3,90 x10 [^] 7 ufc/g

Al analizar los datos del recuento de microorganismos en las composteras, no se observaron diferencias significativas en cuanto al número total de microorganismos presentes. Sin embargo, la distinción clave radica en la diversidad específica de microorganismos identificados en cada compostera. De particular interés es la presencia de *Penicillium* sp. en la compostera T3 y de *Trichoderma* sp. en la compostera T4. Estas especies son conocidas por su papel crucial en la biodegradación de la materia orgánica y, por tanto, su presencia puede estar correlacionada con los resultados positivos previamente mencionados en términos de eficiencia y calidad del compostaje. La presencia de estos microorganismos beneficiosos subraya la importancia de la diversidad microbiana en el proceso de compostaje y su impacto directo en la descomposición efectiva de los residuos orgánicos.

Conclusión

En la parroquia rural La Belleza, ubicada en la provincia de Orellana, se determinó que la producción per cápita (PPC) diaria de residuos sólidos domiciliarios es de 0.275 kg por habitante, de los cuales un predominante 77% es material orgánico, consistiendo mayoritariamente en restos de alimentos poco procesados. Este hallazgo resalta una significativa oportunidad para implementar procesos de compostaje que favorezcan una gestión

de residuos eficaz y sostenible, alineada con principios de economía circular y reciclaje inclusivo.

La evaluación físico-química reveló que el tratamiento 3 (T3), con una composición de 65% MO y 35% MB, logró una mayor producción de materia orgánica en el producto final. Por otro lado, el tratamiento 4 (T4), con una proporción de 75% MO y 25% MB, resultó en una mayor producción de nutrientes. Estos resultados indican que la inclusión de biomasa benéfica puede significativamente potenciar la producción tanto de macro y micronutrientes como de materia orgánica en los procesos de compostaje, resaltando la importancia de estas alternativas de mejora.

Además, se observó una mayor presencia de microorganismos clave en el proceso de biodegradación en las composteras inoculadas con biomasa benéfica. Esto sugiere que la incorporación de microorganismos benéficos puede conducir a procesos de compostaje más eficientes y sostenibles, lo que representa un avance significativo en la gestión de residuos sólidos en la parroquia y, potencialmente, en regiones con características similares

Referencias bibliográficas

- Cajahuanca Figueroa, S. A. (2016). *Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.) en el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla.*
- Camacho Céspedes, F., Uribe Lorío, L., Newcomer, Q., Masters, K., & Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 330–341.
- Cantanhede, Á., Sandoval, L., Monge, G., & Caicho, C. (2005). *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos.*
- Cao, X., Williams, P. N., Zhan, Y., Coughlin, S. A., McGrath, J. W., Chin, J. P., & Xu, Y. (2023). Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*, 1(4), 100038. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100038>
- Carrillo, K. C., Costales, J. O., & Machado, A. R. (2021). Energía a partir de residuos sólidos urbanos, caso parroquia Limoncocha en la Amazonía ecuatoriana. *Estudios de La Gestión:*

Revista Internacional de Administración, 9, 216–236.

- Cheng, J., Yin, R., Luo, W., Li, Y., Wang, L., & Chang, R. (2022). Home Composting for Onsite Treatment of Household Organic Solid Waste: A Review. *Current Pollution Reports*, 8(4), 395–408.
- de Souza, V. M., Bloemhof, J., & Borsato, M. (2021). Assessing the eco-effectiveness of a solid waste management plan using agent-based modelling. *Waste Management*, 125, 235–248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.019>
- Diéguez-Santana, K., Pintado, S., Tomalá, R., Samaniego, G. M., Gaibor, K., Zambrano, M., Feijoo, R. H., & Pico, H. N. (2017). Solid Wastes Generation in Amazon State University's, Puyo, Ecuador. *Proceedings of MOL2NET 2017, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 3rd Edition*, 5040.
- Españó, E., Pittí, S., Acosta, A., & Domínguez, V. (2022). Caracterización de residuos sólidos domiciliarios, compostaje y reciclaje durante la pandemia de COVID-19. *Revista de Iniciación Científica*, 8(2), 69–75.
- Fernando, S. J., & Zutshi, A. (2023). Municipal solid waste management in developing economies: A way forward. *Cleaner Waste Systems*, 5, 100103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100103>
- Guo, X., Liu, H., & Zhang, J. (2020). The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management*, 102, 884–899. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003>
- Hidalgo-Crespo, J., Velastegui-Montoya, A., Zwolinski, P., Riel, A., & Amaya-Rivas, J. L. (2023). Formalization of recyclable waste transfer stations within the Grand Guayaquil. *Procedia CIRP*, 116, 456–461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.077>
- INEC. (2022). *Proyecciones poblacionales*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>. Last access May 1st, 2022.
- Jagielski, T., Sandoval-Denis, M., Yu, J., Yao, L., Bakuła, Z., Kalita, J., Skóra, M., Krzyściak, P., de Hoog, G. S., Guarro, J., & Gené, J. (2016). Molecular taxonomy of scopulariopsis-like fungi with description of new clinical and environmental species. *Fungal Biology*, 120(4), 586–602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.01.014>
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., López-Lluch, D. B., Gavilanes-Terán, I., & Moral, R. (2017). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1349–1358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.178>
- Jaramillo, J., Chacha, A., Herrera-Feijoo, R. J., Peñafiel-Arcos, P., & Cazares, K. (2023). *Domestic Solid Waste Management in Rural Areas-case study of the Waorani Nampa Community, Ecuadorian Amazon*.
- Lalremruati, M., & Devi, A. S. (2021). Changes in physico-chemical properties during composting of three common household organic solid wastes amended with garden soil. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100727.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100727>

- Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353–361.
- Li, H., Tan, L., Liu, W., Li, X., Zhang, D., & Xu, Y. (2023). Unraveling the effect of added microbial inoculants on ammonia emissions during co-composting of kitchen waste and sawdust: Core microorganisms and functional genes. *Science of The Total Environment*, 874, 162522. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162522>
- López-Tobar, R., Herrera-Feijoo, R. J., Mateo, R. G., García-Robredo, F., & Torres, B. (2023). Botanical Collection Patterns and Conservation Categories of the Most Traded Timber Species from the Ecuadorian Amazon: The Role of Protected Areas. In *Plants* (Vol. 12, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/plants12183327>
- Lucas, P. J., Guevara, F. T., Muñoz, R. M. Y., Gómez, M. I. T., & Morales, H. A. M. (2021). Preparación de bioles orgánicos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(2), 124–136.
- Meena, M. D., Dotaniya, M. L., Meena, M. K., Meena, B. L., Meena, K. N., Doutaniya, R. K., Meena, H. S., Moharana, P. C., & Rai, P. K. (2021). Maturity indices as an index to evaluate the quality of sulphur enriched municipal solid waste compost using variable byproduct of sulphur. *Waste Management*, 126, 180–190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.004>
- Mir, I. S., Cheema, P. P. S., & Singh, S. P. (2021). Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab. *Environmental Challenges*, 2, 100023. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100023>
- Negash, Y. T., Sarmiento, L. S. C., Tseng, M.-L., Lim, M. K., & Ali, M. H. (2021). Engagement factors for household waste sorting in Ecuador: Improving perceived convenience and environmental attitudes enhances waste sorting capacity. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105893>
- Oyewusi, T. F., Osunbitan, J. A., Ogunwande, G. A., & Omotosho, O. A. (2021). Investigation into physico-chemical properties of compost extract as affected by processing parameters. *Environmental Challenges*, 5, 100370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100370>
- Paredes Pacheco, L. P. (2022). *Diseño de un plan de gestión integral de residuos sólidos para la comunidad de Chinaló alto de la parroquia Chugchilán, cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi en el periodo 2020-2021*.
- Patakova, P. (2013). Monascus secondary metabolites: production and biological activity. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 40(2), 169–181. <https://doi.org/10.1007/s10295-012-1216-8>
- Peñafiel-Arcos, P., Herrera-Feijoo, R., Toulkeridis, T., Ruiz-Sánchez, C., & Reyes-Villacrés, J. (2022). Management of domestic solid waste in rural communities—a case study of the Río Blanco community, Ecuador. *Green World Journal*, 5(3).
- Peñafiel Arcos, P., Cazares Carrión, K. Y., Quilligana Vega, A. M., & Pasquel Montenegro, A. C. (2021). Propuesta de un sistema de gestión integral. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 6. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i2.1889>

- Puerta Echeverri, S. M. (2004). *Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos*.
- Quillos Ruiz, S. A., Escalante Espinoza, N. J., Sánchez Vaca, D. A., Quevedo Novoa, L. G., & De La Cruz Araujo, R. A. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote . In *Revista de la Sociedad Química del Perú* (Vol. 84, pp. 322–335). scielo .
- Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios. Loja, Ecuador*.
- Souza Barreto, L. S., Ghisi, E., Godoi, C., & Santos Oliveira, F. J. (2020). Reuse of ornamental rock solid waste for stabilization and solidification of galvanic solid waste: Optimization for sustainable waste management strategy. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122996>
- Torres Pérez, J. C., Aguilar Jiménez, C. E., Vázquez Solís, H., Solís López, M., Gómez Padilla, E., & Aguilar Jiménez, J. R. (2022). Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México. *Siembra*, 9(1).
- Vélez, A., Peñafiel, P., Heredia, M., Barreno, S., & Chávez, J. (2019). Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Gareno de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(2), 33–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.324>
- Waqas, M., Nizami, A. S., Aburizaiza, A. S., Barakat, M. A., Rashid, M. I., & Ismail, I. M. I. (2018). Optimizing the process of food waste compost and valorizing its applications: A case study of Saudi Arabia. *Journal of Cleaner Production*, 176, 426–438.