

**BIOTRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO-ECUADOR MEDIANTE
COMPOSTAJE**

**BIOTRANSFORMATION OF ORGANIC WASTE GENERATED IN THE
POLYTECHNIC HIGH SCHOOL OF CHIMBORAZO-ECUADOR THROUGH
COMPOSTING**

Janneth Jara-Samaniego¹

Janneth Gallegos²

Antony Pullopaxi³

Recibido: 24.02.20	Aprobado: 12.06.20
--------------------	--------------------

DOI: 10.15517/isucr.v21i44.43944

Resumen

En este estudio se compostaron, mediante un sistema abierto de pilas, los residuos del Comedor Politécnico y excretas de cuyes (*Cavia porcellus*) y conejos (*Oryctolagus caniculis*) empleando cascarilla de arroz en mezcla con heces de los roedores como agente estructurante. Los contenidos de N, P y K en los compost fueron superiores a los establecidos en la legislación española, Las altas temperaturas alcanzadas en la fase termófila aseguraron la higienización del proceso, confirmada por la ausencia de *Salmonella*, mientras que los índices de germinación de los compost, superiores al 94%, fueron un indicativo de ausencia de sustancias fitotóxicas.

Palabras clave: biomasa; contaminación ambiental; fertilizante; tratamiento de desechos.

Abstract

In this study, using an open system of piles, the waste from the Polytechnic Dining Room and guinea pig (*Cavia porcellus*) and rabbits (*Oryctolagus caniculis*) excreta were composted, using rice husk mixed with rodents feces as structuring agent. N, P, and K in compost were higher to those established under Spanish legislation. The high temperatures got during thermophilic phase

¹ Ecuatoriana. Docente-Investigadora Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
Email: ljara@esPOCH.edu.ec

² Ecuatoriana. Docente-Investigadora Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
Email: jgallegos@esPOCH.edu.ec

³ Ecuatoriano. Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Investigador independiente.
Email: antony_pullopaxi23@hotmail.com

assured sanitization process confirmed by having detected absence of *Salmonella*, while Composts germination rates, up to 94%, were an indication of absence of phytotoxic substances.

Keywords: biomass; environmental pollution; fertilizer; compost treatment.

Introducción

Las actividades de docencia, investigación y gestión desarrolladas en las universidades, generan residuos que deben ser gestionados en sus propios campus, siendo un modelo de aprendizaje y práctica para el desarrollo sostenible. De esta manera, la comunidad universitaria se convierte en un referente para la ciudadanía en el cuidado del ambiente, mientras sus estudiantes con sólidos conocimientos teórico-prácticos y conciencia ambiental serán capaces de asumir nuevos retos para impulsar el crecimiento económico sostenible.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), es una universidad ubicada en el centro de Ecuador; cuenta con aproximadamente 18000 estudiantes distribuidos en 7 facultades y 37 carreras. Entre sus múltiples instalaciones, su campus principal cuenta con un Centro de acopio de residuos sólidos y una nave de compostaje, construidos en el año 2013 con recursos del proyecto “Implementación del Sistema de Gestión de residuos sólidos en la ESPOCH” aprobado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).

En investigaciones realizadas por estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, se estimó que el 86,14% de los residuos que se generan en su campus, son de naturaleza orgánica y provienen del Comedor Politécnico, bares, residuos de poda de sus parques y avenidas, excretas de cuyes, conejos y gallinas provenientes de las instalaciones y galpones de la granja de la Facultad de Ciencias Pecuarias y cascarilla de arroz en mezcla con excretas de ratas y ratones producidas en el Bioterio de la Facultad de Ciencias.

En esta investigación, los residuos del Bioterio cobran especial interés pues, la cascarilla de arroz, por su baja densidad ocupa gran espacio, generando problemas de almacenamiento, previa eliminación. El Bioterio de la Facultad de Ciencias está destinado a la crianza, mantenimiento y control sanitario de roedores de laboratorio (ratas y ratones) para ser utilizados en prácticas de laboratorio e investigación. Los roedores se alojan en salas con estanterías convencionales ventiladas, máximo 5 animales por celda, con una tapa, rejilla interna, comedero y sujetador de bebedero. Todas las celdas tienen una cama de cascarilla de arroz en donde se recogen sus

deposiciones. Conociendo que la materia orgánica generada, al acumularse y almacenarse inadecuadamente, se convierte en un foco de contaminación ambiental con potencial peligro para la asepsia del bioterio y su área de influencia, se ha procedido a trasladar estos residuos semanalmente al centro de acopio institucional, donde ocupa gran espacio de superficie útil, por su baja densidad. Se precisa, por consiguiente, encontrar un tratamiento adecuado para evitar que estos residuos se descompongan en forma inadecuada.

La cascarilla es un residuo producido en la industrialización del arroz, obteniéndose aproximadamente un 20% (Giddel & Jivan, 2007) con una producción global anual de 144 millones de TM (FAO, 2011). La composición química de la cascarilla puede variar dependiendo de la variedad, el proceso de separación, el clima y las condiciones geográficas (Chandrasekhar, Satyanarayan, Pramada, & Raghavan, 2003). Así, en una investigación realizada en Uganda con variedades de arroz, la cascarilla presentó una densidad promedio entre 88,8-124,3 Kg^m⁻³, contenidos de humedad entre 9,2-11,2%, carbono entre 30 y 34,5%, lignina 10,6-13,5%, hemicelulosa 11,4-20% y celulosa 31-37% (Olupot, Candia, Menya, & Walozi, 2016). Debido a que su composición nutricional es pobre, no es muy utilizada para alimento de animales. Sus usos tradicionales son como aditivo de fertilizantes, cama de animales, combustible para cocinar, como material de cobertura de rellenos sanitarios, obtención de biocarbón, sílice, madera aislante y para compostaje (Pode, 2016). Algunas técnicas de conversión indican que la cascarilla puede ser utilizada para extraer energía; esto incluye técnicas termoquímicas, bioquímicas y físico-químicas (Delivand, Barz, Gheewala, & Sajjakulnukit, 2011). A pesar de estos potenciales beneficios, sólo el 17% de la cascarilla producida al año en el mundo encuentra alguna aplicación (Ankur, 2010), sugiriendo que grandes cantidades llegan a ser residuos que se queman, sin recuperación de energía, en zanjas abiertas sobre todo en países en desarrollo (UNEP, 2009), emitiendo grandes cantidades de gases y partículas contaminantes a la atmósfera, los cuales tienen un impacto negativo en el clima y en la salud de la población (Sanchis, y otros, 2014). En otros lugares, la cascarilla de arroz es abandonada *in situ* provocando la emanación de gases efecto invernadero y problemas ambientales (Jeng, Manan, Alwi, & Hashim, 2012).

Para optar por un tratamiento adecuado, es importante conocer la composición de los residuos (Akinci, Guven, & Gok, 2012). La cantidad total de cada componente es crucial para predecir la eficiencia en los procesos de conversión de biomasa (Ando, y otros, 2000), por lo que es necesario caracterizar y cuantificar los residuos generados al interior del campus de la ESPOCH. Los residuos

que puedan ser reciclados, deben ser incorporados al esquema de economía circular, volviendo al stock de recursos naturales ya sea como material reciclados incorporado en nuevos productos o para su comercialización, como materia prima secundaria ingresando al proceso productivo (Jara-Samaniego, 2016a).

Con el fin de garantizar una gestión correcta de estos residuos, se ha considerado al compostaje como una opción viable y económica para una descomposición biológica controlada. Este proceso convierte los residuos en fertilizantes orgánicos que pueden ser utilizados como reemplazo parcial o suplemento de fertilizantes minerales y abonos frescos en actividades agrícolas (Malinska, Zabochnicka-Swqtek, & Dach, 2014). Numerosos estudios han reportado los beneficios de la aplicación del compost para mejorar la calidad y estructura de los suelos (Butler, Steinhilber, & Douglass, 2001; Xin, Zhang, Zhu, & Zhang, 2016).

Sin embargo, la cascarilla de arroz no puede ser compostada sola por su elevada relación C/N, altas concentraciones de lignina y celulosa y baja concentración de nutrientes (Leconte, Mazzarino, Satti, Iglesias, & Laos, 2009). Además, la superficie cerosa de la cascarilla y los altos contenidos de sílice limita la absorción de agua y podría impedir el ataque microbiano (Wang, Lin, Huang, & Chiu, 2005; Massey, Ennos, & Hartley, 2007). Este residuo actúa como agente estructurante y pueden ser compostado en mezcla con materias ricas en nutrientes sobre todo nitrógeno y carbono biodegradable. En Asia, por ejemplo, la cascarilla se ha compostado con excretas animales (Haga, 2001).

En este centro de educación superior, la cascarilla de arroz se encuentra en mezcla con las excretas de ratas y ratones del bioterio por lo que, además de actuar como un agente estructurante, es una potencial fuente de macro y micronutrientes. Sin embargo, para trabajar con una relación C/N adecuada, la cascarilla se compostó con residuos orgánicos procedentes del comedor politécnico, y excretas de cuyes y conejos de la Granja de especies menores de la Facultad de Ciencias Pecuarias. Durante el proceso de compostaje se controló la temperatura, humedad y aireación, pues el control de estos parámetros influye en el compostaje, llegando a ser procesos más eficientes (Barrena, Font, Gabarrell, & Sánchez, 2014), reduciendo las emisiones de CH₄, NO₂, NH₃, lixiviados y el posible desarrollo de olores indeseables (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008). También es importante promover el desarrollo microbiano, la generación de temperaturas altas y la rapidez del proceso (Adhikari, Trémier, Barrington, & Martinez, 2013). El objetivo de esta

investigación fue compostar los principales residuos orgánicos que se generan en la ESPOCH empleando la cascarilla de arroz de la cama de ratas y ratones del bioterio como agente estructurante. La universidad, al ser un centro de formación profesional, no puede convertirse en un generador de residuos, sino que tiene la obligación de liderar procesos de gestión, tratamiento y valorización de sus residuos.

Materiales y métodos

Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos identificados en el campus principal fueron: residuos del Comedor Politécnico y de bares de las facultades formados por restos de hortalizas, verduras, cereales, frutas y alimentos preparados; poda como producto del mantenimiento de sus espacios verdes, instalaciones deportivas y avenidas; excretas de cuyes, conejos y pollos que se crían en los galpones de especies menores de la Facultad de Ciencias Pecuarias y los residuos de la cama de roedores formada por cascarilla de arroz y sus excretas generadas en el bioterio de la Facultad de Ciencias. Se decidió trabajar con residuos del Comedor Politécnico, excretas de cuyes y conejos y como agente estructurante la cascarilla de arroz en mezcla con heces de roedores.

Pilas de compostaje

Con los residuos seleccionados, se armaron dos pilas en la nave de compostaje del Centro de acopio de residuos sólidos de la ESPOCH: Pila 1, formada por cascarilla de arroz (cama de roedores), estiércol (cuyes y conejos) y residuos vegetales en proporción 3:1:3, con un peso total de 504 Kg y Pila 2: los mismos residuos, pero en proporción 3:2:5, con un peso final de 540 Kg. Los residuos se colocaron en capas formando pilas de forma trapezoidal de 1,5 m x 2m x1,5m (altura, ancho, largo). Los parámetros controlados *in situ* a lo largo del proceso fueron: temperatura (termómetro digital Hanna, punta de 30 cm), humedad (higrómetro manual) y aireación (volteo manual). El volteo se realizó en función de la temperatura. Cuando la temperatura de las pilas se aproximó a la del ambiente, se procedió a bajar su altura a 50 cm y dejarlas en reposo durante 150 días para su maduración. Concluida esta etapa, el compost se pasó por una zaranda con una malla de paso de luz de 1 cm de diámetro lo cual permitió obtener un producto final con un tamaño de partícula uniforme.

Control de calidad del compost

Con la finalidad de controlar todo el proceso, adicionalmente a las pruebas *in situ*, se registró el pH (pHmetro BOECO BT-675), la conductividad eléctrica CE (conductímetro BOECO CT-676) en extracto acuoso en proporción 1: 10. La materia orgánica MO, se determinó por el método gravimétrico (mufla VULCAN A-550) a temperaturas de 430 °C por 24 horas. En las muestras iniciales y finales se realizaron análisis de nitrógeno total Nt (Dumas PEE/SFA/58), fósforo P (Colorimétrico PEE/SFA/37) y potasio K (Absorción atómica PEE/SFA/38) en los laboratorios de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD) del Ministerio de Agricultura del Ecuador. Para establecer el índice de germinación IG se utilizaron semillas de berro (*Lepidium sativum* L) siguiendo la técnica empleada por (Zucconi, Pera, Forte, & De Bertoldi, 1981). Previo a estos análisis, las muestras tomadas por el método del cuarteo fueron secadas a 105°C hasta peso constante en una estufa ESCO Isotherm con aire forzado. Todos los análisis se hicieron por triplicado y se reportaron sobre base seca.

En los compost obtenidos se realizaron ensayos microbiológicos de indicadores de calidad higiénica e inocuidad. Se determinaron coliformes totales (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/03), *Echericha coli* (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/03), aerobios totales (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/01), *Salmonella* (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/02), mohos (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/04) y levaduras (Petrifilm, método en placa PEE/BMB/04).

Resultados y Discusión

Residuos orgánicos

Los resultados de los análisis de los residuos empleados se muestran en la Tabla 1. Los contenidos de MO en la cascarilla de arroz (80,2%) son comparables con los reportados en una investigación sobre la caracterización de diez variedades de este residuo en Uganda (Olupot, Candia, Menya, & Walози, 2016) que indicaron valores promedio entre 74,44% y 84,13%; pero son ligeramente superiores a los reportados por Muthadhi & Kothandaraman, (2007) con valores entre 71-78%. Los contenidos de N de la cascarilla de arroz (0,92%) fueron más altos que los reportados por Olupot, Candia, Menya, & Walози, (2016), que fluctuaron entre 0,36 y 0,63%. Esto podría deberse a que, si bien se retiraron las excretas de los roedores, pudieron quedar impregnadas en la cascarilla trazas de orina y pequeños fragmentos de heces, lo que justificaría el incremento de los contenidos de N.

Los residuos del Comedor Politécnico, presentaron 2,21% de N, debido a la presencia de legumbres y vegetales; estos valores concordaron con los obtenidos en el análisis de residuos orgánicos municipales provenientes de la recolección selectiva de mercados de la provincia de Chimborazo con valores entre 1,95 y 2,86 % (Jara-Samaniego, y otros, 2015b). Los valores bajos de P (0,2%), concordaron con los reportados por Thitame, Pondhe, & Meshram, (2010)) en muestras comparables de India. Huerta-Pujol, Gallart, Soliva, Martínez-Farré, & López, (2011) obtuvieron valores entre 0,04 y 0,45% en residuos sólidos provenientes de 34 muestras de plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales de España. La deficiencia de P en los residuos del Comedor Politécnico y en la cascarilla pueden ser compensados con los contenidos en las excretas de los roedores (3,57%), por lo que se decidió trabajar con mezclas de estos residuos para equilibrar el contenido de macronutrientes. Con base en estos análisis se determinaron los porcentajes de los residuos empleados para establecer una relación C/N adecuada. Así, la Pila 1 tuvo una relación C/N 35,6 y la Pila 2 C/N 33,56; relaciones que concuerdan con lo establecido en la revisión bibliográfica, a la vez que permiten tratar grandes cantidades de la cama de roedores que es el residuo que ocupa mayor espacio en el centro de acopio de la ESPOCH. Adicionalmente, con esta mezcla se logró equilibrar la humedad de las pilas, pues los residuos de alimentos son muy húmedos y la cascarilla de arroz muy seca. Compostar en el mismo lugar en el que se generan y almacenan los residuos, disminuye los impactos sobre el ambiente, en términos de energía y usos del agua ya que los residuos no son transportados (Lundie & Peters, 2005).

Tabla 1. Caracterización de los residuos

Parámetro analizado	Unidades	Cascarilla	Residuos del comedor	Estiércol de roedores	Estiércol de cuy y conejo
Materia Orgánica MO	%	80,2	68,50	86,67	91,48
Nitrógeno Total Nt	%	0,92	2,21	2,24	0,7
Fósforo P	%	0,09	0,2	3,57	0,05
Potasio K	%	0,73	2,07	n.d	0,31

n.d = no determinado

Proceso de compostaje

Una vez armadas las pilas y con la humedad correcta (60-80%), los microorganismos en presencia de oxígeno, empezaron a descomponer la materia orgánica aumentando su temperatura.

El volteo fue manual y se realizó cuando la temperatura de las pilas se aproximó a la del ambiente. El volteo de las pilas ayuda a incrementar la porosidad, facilitar la transferencia de oxígeno, promover una continua actividad microbiana y controlar la temperatura (Saer, Lansing, Davitt, & Graves, 2013). En función de la temperatura, se distinguieron claramente las etapas: mesófila inicial, termófila, mesófila final y maduración. En la Figura 1, se indica la evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje.

Temperatura

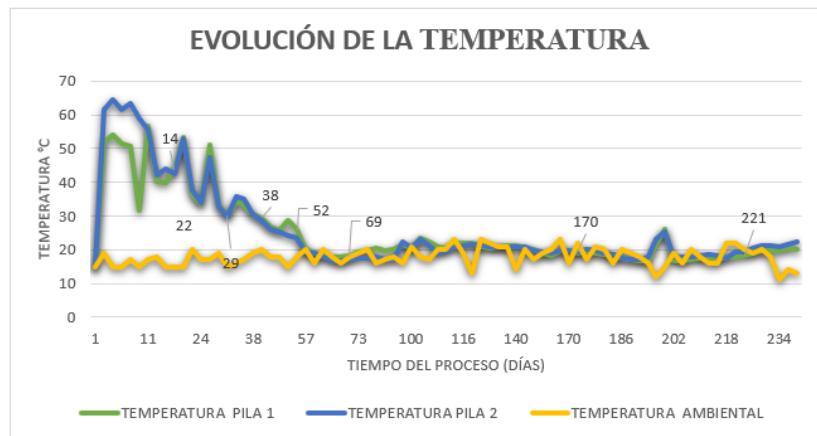


Figura 1. Evolución de la temperatura

Las temperaturas de las pilas 1 y 2 subieron rápidamente durante la primera semana del proceso llegando a alcanzar un máximo de 56,78°C y 64,3°C respectivamente. La subida de la temperatura, es un indicador, en tiempo real, de la eficiencia del compostaje y está relacionada con la velocidad de las reacciones biológicas involucradas (Sun, Chen, & Wei, 2019). En varias investigaciones se ha reportado que cuando se mantienen estas temperaturas por siete días, se asegura la destrucción de patógenos y la higienización del compost (Guo, Li, & Jiang, 2012; Gavilanes-Terán, Jara-Samaniego, & Idrovo-Novillo, 2016; Soobhany, R, & Garg, 2017). La pila 1 tuvo un descenso de temperatura en el día 7, debido a la disminución de la humedad, provocada posiblemente por la escasa retención de agua debido a la mayor cantidad de cascarilla; al adicionar agua la temperatura alcanzó los valores anteriores. La pila 2 se mantuvo a temperaturas superiores a 60°C. La mayor cantidad de residuos biodegradables (vegetales y estiércol) pudo mejorar la actividad microbiana.

Transcurridas las primeras cuatro semanas, se evidenció un descenso de la temperatura en ambas pilas. Esto podría deberse al hecho de que la cascarilla de arroz es un residuo rico en sílice

que tarda en degradarse (Pode, 2016) por los altos contenidos de celulosa y lignina (Genevini, Adani, & Villa, 2012). La baja biodegradabilidad de la cascarilla de arroz podría ser un factor limitante para que las pilas puedan conservar altas temperaturas por largos períodos de tiempo, a pesar de los volteos realizados. En el compostaje de tamo de arroz en mezcla con purín de cerdo también se observó una fase termófila corta, atribuida a la baja degradabilidad de este agente estructurante (Meng, y otros, 2018).

Se considera que el compostaje ha finalizado cuando, a pesar del volteo, la temperatura se asemeja a la del ambiente y los parámetros de control permanecen estables. Esto se debe a que la cantidad de carbono ya no soporta la actividad microbiana (Saer, Lansing, Davitt, & Graves, 2013). En este experimento, la fase activa duró aproximadamente 70 días y el período de maduración fue de 150 días.

Potencial de hidrógeno (pH)

La evolución del pH es uno de los parámetros más importantes para el progreso del compostaje y la calidad y estabilidad del producto final (Onwosi, Igbokwe, & Odimba, 2017). Los resultados mostrados en la Figura 2 indican que las pilas alcanzaron un pH básico durante los primeros 29 días del proceso, probablemente debido a la transformación de nitrógeno orgánico a formas minerales. Esto coincidió con lo descrito por Osorno, (2016) que indicó que un mayor contenido de N en la biomasa inicial puede ocasionar el aumento del pH desde el inicio del proceso, debido a su transformación en amoníaco y posterior ionización en amonio. Conforme avanzó el proceso, el pH disminuyó como consecuencia de la descomposición de los lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos según lo manifestado por (Navarro-García & Navarro-García, 2014). Los valores finales de pH de los compost (7,72 y 7,84) se consideran óptimos pues están dentro de los rangos permisibles según lo establecido en la legislación española en donde se indica que valores de pH entre 6,5 a 8,5 son aceptables (BOE, 2013). Cabe destacar que en el Ecuador no se dispone de normas regulatorias sobre la elaboración de biofertilizantes.

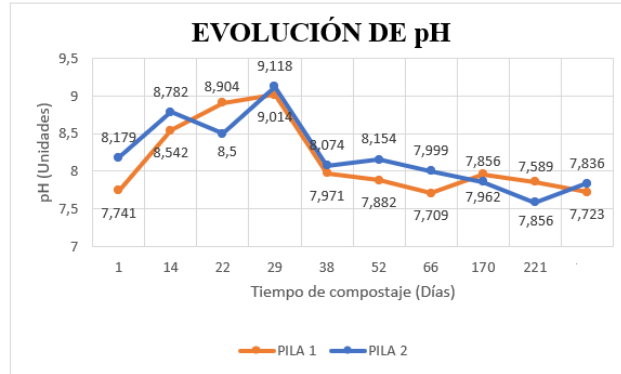


Figura 2. Evolución de pH

Conductividad Eléctrica (CE)

La variación de la CE en las pilas fue mínima. Así, en la pila 1 pasó de 5,13 a 4,84 dSm⁻¹ y en la pila 2 de 3,42 dSm⁻¹ a 3,75 dSm⁻¹. Los compost con valores bajos de CE no perjudican el crecimiento de las plantas y la germinación de las semillas debido a la ausencia de sales asociadas con la concentración de elementos como sodio y potasio (Banegas, y otros, 2007). La CE disminuyó al final solo en la pila 1 pues, al tener una mayor proporción de cascarilla, pudo haber una pérdida neta de sales solubles posiblemente debido a una menor capacidad de retención de agua y una mayor lixiviación (Leconte M. , Mazzarino, Satti, Iglesias, & Laos, 2009). Los dos compost presentaron valores de CE inferiores a 6 dSm⁻¹, lo cual es ideal para un compost de calidad. La Figura 3 muestra la evolución de este parámetro a lo largo del proceso.

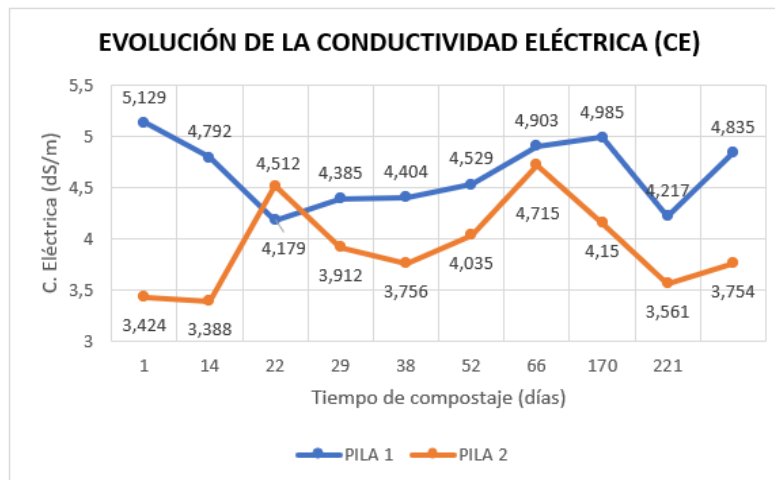


Figura 3. Evolución de la Conductividad Eléctrica

Para la evaluación del proceso de compostaje y la calidad del compost, a más de valores de pH y de CE dentro de los límites previsible, se deben considerar los contenidos de MO, relación Carbono/Nitrógeno C/N, macro y micronutrientes, índice de germinación y ausencia de patógenos. Como se reporta en literatura, un compost puede ser usado como un enmendante orgánico para reemplazar fertilizantes químicos cuando existe la posibilidad de suministrar nutrientes esenciales (Sánchez, Ospina, & Montoya, 2017).

Materia orgánica (MO)

La disminución del porcentaje de materia orgánica se debió a la mineralización de los componentes biodegradables que conforman las pilas y a la actividad microbiana que transforma el carbono en otros compuestos. La figura 4 muestra que, en las pilas 1 y 2 se inició con un porcentaje de MO de 78,61% y 79,05% respectivamente y una vez finalizado el proceso se obtuvo porcentajes de MO de 43,28 y 43,45% los cuales son valores aceptables que un compost debe poseer para poder ser empleado para fines agrícolas.

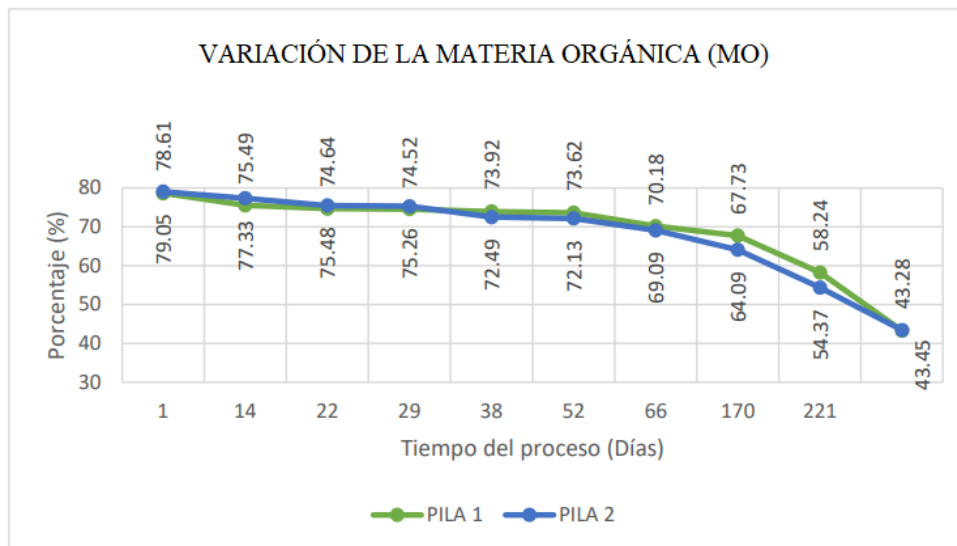


Figura. 4 Variación de la materia orgánica (MO)

Relación C/N

El carbono y el nitrógeno influyen directamente en el compostaje, pues el carbono sirve como fuente de energía y el nitrógeno es esencial para la síntesis de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos para los microorganismos (Azim, y otros, 2018). Normalmente se recomienda partir con una relación C/N de 20 a 35 (Zhang, Sun, Tian, & Gong, 2013). Esta relación fue decreciendo conforme avanzó el proceso, llegando a valores de 13,84 y 15,54 para las Pilas 1 y 2

respectivamente. Esto se debió a las pérdidas de materia orgánica y por tanto de carbono, y a la concentración de nitrógeno en las pilas. Si bien la pérdida de N durante el proceso de compostaje es importante en la mayoría de los trabajos, algunos autores observaron la conservación de N (Banegas, y otros, 2007), probablemente debido al uso de materiales lignocelulósicos en la mezcla como es el caso de la cascarilla, que potencia la inmovilización del N en la biomasa microbiana (Leconte M. , Mazzarino, Satti, Iglesias, & Laos, 2009).

Presencia de macronutrientes (NPK)

Se puede apreciar (Tabla 2) que los contenidos de N, P y K se incrementaron en los dos compost. Karak, Sonar, & Nath, (2015) reportaron que la concentración de macronutrientes se presenta por la reducción del volumen de compostaje y el incremento de la densidad aparente de la mezcla debido a una mayor tasa de pérdida de carbono. Novak, y otros, (2018), Smith & Van Dijk, (1987) y Sharpley & Moyer, (2000) reportaron que las excretas animales y sus enmiendas orgánicas contienen altos niveles de macronutrientes.

Tabla 2. Evolución de macronutrientes (NPK) e Índice de germinación (IG)

Parámetro	Pila 1		Pila 2	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Nitrógeno Total Nt (%)	1,2	1,7	1,28	1,52
Fósforo P (%)	0,47	5,73	0,88	4,44
Potasio K (%)	1,53	2,02	1,91	1,94
Índice de germinación IG (%)	43,13	100	48,06	94,81

El fósforo y el potasio son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Al final del proceso de compostaje los porcentajes de estos macronutrientes aumentaron en ambas pilas. Esto indicó que la adición de excretas de animales y residuos vegetales a la cascarilla fue adecuada y propició la presencia de estos elementos en el compost final. Los valores obtenidos de N, P y K sobrepasaron los porcentajes establecidos en la legislación española que indican que el porcentaje de macronutrientes debe ser \geq al 1% (BOE, 2013).

Índice de germinación (IG)

El IG es un parámetro empleado como un indicativo de madurez y de ausencia de fitotoxicidad de los compost (Masaguer, Moreno, & Morales, 2015). La Tabla 2, muestra los

porcentajes de IG inicial y final de los compost obtenidos. Los valores indican que los compost están dentro del rango requerido para ser usados directamente en suelos agrícolas e inclusive como sustratos de cultivo de plantas. El aumento en el porcentaje del índice de germinación se debió a una conversión eficiente de la materia orgánica durante el proceso. Es posible que el tiempo de maduración prolongado haya brindado una mayor estabilización que indiscutiblemente proporciona beneficios para el sistema planta-suelo (Guidoni, y otros, 2018).

Calidad microbiológica de los compost

El compostaje ha sido usado como un método efectivo y práctico para reducir microorganismos patógenos presentes en varios tipos de residuos de animales (Kim, Shepherd, & Jiang, 2009). Al contrario, los residuos frescos o los abonos inadecuadamente compostados, se han identificado como una fuente de contaminación (Buck, Walcott, & Beuchat, 2003). Así, se ha reportado un aumento de la contaminación por la presencia de *E coli* O 157:H7 y *Salmonella spp.*, en vegetales fertilizados con bacterias fecales (Centers for Disease Control, 2006; Doyle & Erickson, 2008; Giskin & Nerson, 1984). Para descartar la presencia de los microorganismos patógenos más frecuentes en compost, las muestras finales fueron analizadas en los laboratorios de Agrocalidad-Ecuador. Los resultados se aprecian en la Tabla 3, Las muestras de las pilas 1 y 2 de los materiales compostados mostraron valores microbiológicos aceptables para un compost, garantizando su inocuidad. Según la Decisión 2015 de la Unión Europea, los compost deben presentar un valor inferior a 1000 UFC/g de *E. coli*, por lo que las dos pilas cumplieron este requisito. Además, hubo ausencia de *Salmonella* patógeno agente de salmonelosis una enfermedad gastrointestinal transmitida a través del agua y alimentos contaminados con heces humanas o de animales.

Tabla 3. Resultados de los Análisis microbiológicos

INDICADOR	METODO	Compost Pila 1	Compost Pila 2
Aerobios totales	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/01	1x10 ⁸ UFC/g	1x10 ⁸ UFC/g
Coliformes totales	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/03	1x10 ⁴ UFC/g	1x10 ⁴ UFC/g
<i>E. coli</i>	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/03	< 1	1x10 UFC/g
Mohos	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/04	< 1	< 1
Levaduras	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/04	1x10 ⁶ UPC/g	1x10 ⁶ UPC/g
PATOGENO			
<i>Salmonella</i>	Petrifilm, Método en Placa PEE/BMB/02	Ausencia	Ausencia

UFC= Unidades Formadoras de Colonias

UPC= Unidades Propagadoras de Colonias

Conclusiones

Esta investigación demostró que los residuos orgánicos generados en el campus principal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, una vez identificados, caracterizados y mezclados adecuadamente, pueden ser gestionados y aprovechados para obtener compost de calidad que puede ser usado como abonos orgánicos ricos en materia orgánica y macronutrientes; con valores de pH cercanos a la neutralidad y baja concentración de sales dentro de los rangos establecidos en las normativas especializadas. Los índices de germinación superiores al 80% evidenciaron su madurez y la ausencia de sustancias fitotóxicas. La higienización del proceso se evidenció por la ausencia de *Salmonella* y los resultados de los indicadores de contaminación que se mantienen dentro de los parámetros permitidos garantizando su inocuidad.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Planificación SENPLADES por el financiamiento otorgado al Proyecto “Implementación del Sistema de Gestión de residuos sólidos en la ESPOCH”, bajo el cual se desarrolló esta investigación.

A las autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su compromiso y apoyo a proyectos en favor del cuidado del ambiente.

Referencias

- Adhikari, B., Trémier, A., Barrington, S., & Martinez, J. (2013). Biodegradability of municipal organic waste: a respirometric test. *Waste Biomass Valor.*, 4 (2), 331-340.
- Akinci, G., Guven, E., & Gok, G. (2012). Evaluation of waste management options and resource conservation potentials according to the waste characteristics and household income: A case study in Aegean Region, Turkey. *Conservation and Recycling*, 58, 114-124.
- Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Manag.*, 26 (1), 47-60.
- Ando, H., Sakaki, T., Kokusho, T., Shibata, M., Uemura, Y., & Hatate, Y. (2000). Decomposition behaviour of plant biomass in hot compressed water. *Ind. Eng. Chem. Res*, 39, 3688–3693.
- Ankur. (2010). ‘Ankur’ Biomass Gasification Systems Using RiceHusk as a Fuel. *‘Ankur’ Biomass Gasification Systems Using RiceHusk as a Fuel*.
- Azim, K., Faissal, Y., Soudi, B., Perissol, C., Roussos, S., & Thami, A. I. (2018). Elucidation of functional chemical groups responsible of compost phytotoxicity using solid-state ¹³C NMR spectroscopy under different initial C/N ratios. *Environ Sci Pollut Res*, 25, 3408–3422.
- Banegas, V., Moreno, J., Moreno, J., García, C., León, G., & Hernández, T. (2007). Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Management*, 27(10), 1317-1327.
- Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., & Sánchez, A. (2014). Home composting versus industrial composting: influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Manag*, 34 (7), 1109-1116.
- BOE. (28 de junio de 2013). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>. (A. E. Estado, Ed.) Recuperado el 17 de julio de 2020, de BOE. Real Decreto 506/2013.
- Buck, J., Walcott, R., & Beuchat, L. (2003). Recent trends in microbiological safety of fruits and vegetables . *Plant Health Progress*.
- Butler, T. S., Steinhilber, P., & Douglass, L. (2001). Compostage and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *J. Environ. Qual.*, 30, Butler, T.A., Sikora, L.J., Steinhilber, P.M., Douglass, L.W., 2001. Compostage and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *J. Environ. Qual.* 30, 2141-2148.

- Centers for Disease Control, P. (2006). *Ongoing multistate outbreak of Escherichia coli serotype O157:H7 infections associated with consumption of fresh spinach—United States*. Sep. 2006. Rep 38:.
- Chandrasekhar, S., Satyanarayan, K. G., Pramada, P. N., & Raghavan, P. (2003). Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk-an overview. *J Mater Sci*, 38(15):, 3159–68.
- Delivand, M., Barz, M., Gheewala, S., & Sajjakulnukit, B. (2011). Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand. *Appl. Energy*, 88, 3651–3658.
- Doyle, M., & Erickson, M. (2008). Summer meeting 2007—the problems with fresh produce: an overview. *J Appl Microbiol*, 105, 317–330.
- FAO. (2011). Rice Market Monitor.
- Gavilanes-Terán, I., Jara-Samaniego, J., & Idrovo-Novillo, J., et al. (2016). Windrow composting as horticultural waste management strategy – a case study in Ecuador. *Waste Manag*, 48, 127–134.
- Genevini, P., Adani, F., & Villa, C. (2012). *Rice Hull Degradation by Co-Composting with Dairy Cattle Slurry*.
- Giddel. M.R, & Jivan, A.P. (2007). Waste to wealth, potential of rice husk in India a literature review. *International Conference on Cleaner Technologies and Environmental Management PEC*. Pondicherry, India.
- Giskin, M., & Nerson, H. (1984). Foliar nutrition of muskmelon: I: Application to seedlings greenhouse experiments. *J Plant Nutr*, 7, 1329–1339.
- Guidoni, L., Marques, R., Moncks, R., Botelho, F., Da paz, M., Corrêa, L., & Corrêa, E. (2018). Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. *Journal of Environmental Management*, 207, 141-150.
- Guo, R., Li, G., & Jiang, T., et al. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour Technol*, 112, 171–178.
- Haga, K. (2001). Managing manure on Japanese livestock and poultry farms. *Biocycle*, 6, 66.
- Huerta-Pujol, O., Gallart, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F., & López, M. (2011). Effect of collection system on mineral content of biowaste. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1095–99.

- Jara-Samaniego, J. (2016). *Tesis Doctoral. Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: Propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo*. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Jara-Samaniego, J., Moral, R., Pérez-Murcia, M., Paredes, C., Gálvez-Sola, L., Gavilanes-Terán, I., & Bustamante, M. (2015). Urban waste management and its potential agricultural use in South American developing countries: a case study of Chimborazo region (Ecuador). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 46, 157-169.
- Jeng, S., Manan, Z., Alwi, S., & Hashim, H. (2012). A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Process Systems Engineering Centre (PROSPECT)*, F, Jeng, S.L., Manan, Z.A., Alwi, S.R.W., Hashim, H., 2012.
- Karak, T., Sonar, I., & Nath, J., et al. (2015). Struvite for composting of agricultural wastes with termite mound: utilizing the unutilized. *Bioresour Technol*, 187, 49–59.
- Kim, J., Shepherd, M., & Jiang, X. (2009). Evaluating the effect of environmental factors on pathogen regrowth in compost extract. *Microb. Ecol.*, 58, 498-508.
- Leconte, M., Mazzarino, M., Satti, P., Iglesias, M., & Laos, F. (2009). Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Manag*, 8.
- Leconte, M., Mazzarino, M., Satti, P., Iglesias, M., & Laos, F. (2009). Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Manag*, 29, 2446–2453.
- Lundie, S., & Peters, G. (2005). Life cycle assessment of food waste management options. *J. Clean. Product.*, 13 (3), 275-286.
- Malinska, K., Zabochnicka-Swqtek, M., & Dach, J. (2014). Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge. *Ecol. Eng.*, 71, 474-478.
- Masaguer, A., Moreno, J., & Morales, G. (2015). *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor. Recursos orgánicos: Aspectos Agronómicos y Medioambientales*. (Mundi-Prensa, Ed.) Madrid.
- Massey, F., E. A., & Hartley, S. (2007). Grasses and the resource availability hypothesis: the importance of silica-based defenses. *J. Ecol.*, 95, 414–424.
- Meng, X., Liu, B., Xi, C., Luo, X., Yuan, X., Wang, X., . . . Cui, Z. (2018). Effect of pig manure on the chemical composition and microbial diversity during co-composting with spent mushroom substrate and rice husks. *Bioresour Technol*, 251, 22-30.
- Muthadhi, A., & Kothandaraman, S. (2007). Rice huskash—properties and its uses: a review rice husk ash. *IE(I) J.*, 5, 0–56.

- Navarro-García, G., & Navarro-García, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. (Mundi-Prensa, Ed.) Madrid.
- Novak, J., Ippolito, J., Ducey, T., Watts, D., Spokas, K., Trippe, K., . . . Johnson, M. (2018). Remediation of an acidic mine spoil: miscanthus biochar and lime amendment affects metal availability, plant growth, and soil enzyme activity. *Chemosphere*, 205, 709–718.
- Olupot, P., Candia, A., Menya, E., & Walozi, R. (2016). Characterization of rice husk varieties in Uganda for biofuels and their techno-economic feasibility in gasification. *Chemical Engineering Research and Design*, 107, 63–72.
- Onwosi, C., Igbokwe, V., & Odimba, J., et al. (2017). Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. *J. Environ Manag*, 190, 140–157.
- Osorno, S. (2016). Physicochemical and microbiological analysis of co-composting process from biomass legume and bovine rumen. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10, 345–354.
- Pode, R. (2016). Potential application of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1468-1485.
- Saer, A., Lansing, S., Davitt, N., & Graves, R. (2013). Life cycle assessment of a food composting system: environmental impact hotspots. *Journal of Cleaner Production*, 52, 234-244.
- Sánchez, O., Ospina, D., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Manag*, 69, 136–153.
- Sanchis, E., Ferrer, M., C. S., Coscolla, C., Yusá, V., & Cambra-López, M. (2014). Gaseous and particulate emission profiles during controlled rice straw burning. *Atmos. Environ*, 98, 25-31.
- Sharpley, A., & Moyer, B. (2000). Phosphorus Forms in Manure and Compost and Their Release during Simulated Rainfall. *J. Environ. Qual.*, 295, 1462.
- Smith, K., & Van Dijk, T. .. (1987). Utilisation of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops Fertilizer or Waste*. 87-102.
- Soobhany, N., R, M., & Garg, V. (2017). Inactivation of bacterial pathogenic load in compost against vermicompost of organic solid waste aiming to achieve sanitation goals: a review. *Waste Manag*, 64, 4:51–62.

- Sun, Q., Chen, J., & Wei, Y. (2019). Effect of semi-continuous replacements of compost materials after inoculation on the performance of heat preservation of low temperature composting. *Bioresour Technol*, 279, 50–56.
- Thitame, S. N., Pondhe, G. M., & Meshram, D. C. (2010). Characterisation and composition of municipal solid waste (MSW) generated in Sangamner city. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170 (1–4), 1–5.
- UNEP. (2009). Converting Waste Agricultural Biomass. *Energy Source*.
- Wang, C., Lin, Y., Huang, W., & Chiu, L. (2005). Raw materials used for composting. En *Compost Production: A Manual for Asian Farmers* (págs. 20–30). Taipei, Taiwan: FFTC Publication.
- Xin, X., Zhang, J., Zhu, A., & Zhang, C. (2016). Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the North China. *Plain. Soil Tillage Res*, 156, 166-172.
- Zhang, l., Sun, X., Tian, Y., & Gong, X. (2013). Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. *Bioresource Technology*, 131, 68-75.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., & De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22, 54–57.