

Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia *

Sonia Esperanza Aguirre-Forero

Docente Asociada Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia.
saguirre@unimagdalena.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-6975-1940>

Nelson Virgilio Piraneque-Gambasica

Docente Titular Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia.
npiraneque@unimagdalena.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-4264-9428>

Dagy Enrique Cabarcas-Saumeth

Universidad del Magdalena Santa Marta - Colombia.
dagycabarcases@unimagdalena.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-8936-8869>

R E S U M E N

PALABRAS CLAVE

Naranja; compostaje;
temperatura; microbiología;
economía circular

Las industrias de alimentos generan residuos orgánicos que ejercen presión sobre el ambiente, pero que, seleccionados y procesados, son insumo para acondicionadores de suelos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el compost derivado de la descomposición de residuos de la agroindustria de jugo de naranja como alternativa de ciclaje de materia orgánica en clima semiárido. Se recolectó cáscara de naranja, suelo, hojarasca, cascarilla de arroz y gallinaza, con los que se conformó seis tratamientos modificando su porcentaje. Se evaluó color, olor, textura, humedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica, N, P, K, Ca, S, Mg, Na, Carbono y diversidad microbiológica. Los resultados analíticos fueron comparados con la norma técnica colombiana NTC 5167. Se reportó aportes de nutrientes <1%, pH alcalino, CE elevada, baja carga microbiana y presencia de patógenos vegetales en T1, T2, T3 y T5, siendo T6 el que mostró mayor abundancia y diversidad de especies. El producto obtenido en los diferentes tratamientos cumple con los parámetros de pH, CE y humedad, pero cuatro de los seis tratamientos presentaron patógenos que pueden limitar su utilización en labores agrícolas siendo necesario monitoreo de la actividad microbiológica en el proceso.

Recibido: 22/10/2021 Aceptado: 26/12/2021

* Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: AGUIRRE-FORERO, Sonia Esperanza; PIRANEQUE-GAMBASICA, Nelson Virgilio; CABARCAS-SAUMETH, Dagy Enrique. Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. *En: Entramado*. Enero - Junio, 2022 vol. 18, no. 1 p. 1-11 e-8063 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8063>



Orange peel compost: an alternative for organic matter use and cycling in the Caribbean Region of Colombia

ABSTRACT

KEYWORDS

Orange; composting; temperature; microbiology; circular economy

Food industries generate organic waste that puts pressure on the environment, but selected and processed are inputs for soil conditioners. The objective of this work was to characterize the compost derived from decomposition residues of orange juice agribusiness as an alternative for the use and cycling of organic matter in a semi-arid climate. Orange peel, soil, litter, rice husk, and chicken manure were collected, and six treatments were formed by modifying the percentage of inputs. Color, odor, texture, humidity, temperature, pH, electrical conductivity, N, P, K, Ca, S, Mg, Na, Carbon, and microbiological diversity were evaluated. The results were compared with the Colombian technical standard NTC 5167. The results showed contributions of nutrients <1%, alkaline pH, high EC, low microbial load, and presence of plant pathogens in T1, T2, T3, and T5, being T6 the one that showed the highest abundance and diversity of species. The product obtained in the different treatments complies with the parameters of pH, EC, and humidity. Still, four of the six treatments presented pathogens that can limit their use in agricultural work, so monitoring the microbiological activity in the process is necessary.

Composto de casca de laranja: uma alternativa para uso de matéria orgânica e ciclagem na região caribenha da Colômbia

RESUMO

PALAVRAS-CHAVE

Laranja; compostagem; temperatura; microbiologia; economia circular

As indústrias alimentícias geram resíduos orgânicos que pressionam o meio ambiente, mas selecionados e processados são insumos para condicionadores do solo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o composto derivado de resíduos da decomposição da agroindústria de suco de laranja como alternativa para o aproveitamento e ciclagem da matéria orgânica em um clima semi-árido. Foram coletados casca de laranja, solo, serapilheira, casca de arroz e esterco de galinha, e formados seis tratamentos modificando a porcentagem de insumos. Foram avaliados cor, odor, textura, umidade, temperatura, pH, condutividade elétrica, N, P, K, Ca, S, Mg, Na, Carbono e diversidade microbiológica. Os resultados foram comparados com o padrão técnico colombiano NTC 5167. Os resultados mostraram contribuições de nutrientes <1%, pH alcalino, CE alto, baixa carga microbiana e presença de fitopatógenos em T1, T2, T3 e T5, sendo T6 o aquele que apresentou a maior abundância e diversidade de espécies. O produto obtido nos diferentes tratamentos obedece aos parâmetros de pH, CE e umidade. Ainda assim, quatro dos seis tratamentos apresentaram patógenos que podem limitar seu uso na agricultura, sendo necessário o monitoramento da atividade microbiológica no processo.

I. Introducción

El incremento poblacional y con él la demanda por alimentos, ha permitido que en las áreas rurales y urbanas se genere conciencia sobre la necesidad de manejar y aprovechar los residuos orgánicos ([Awasthi et al., 2020](#)). Por su parte, la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC), priorizó reducir la pérdidas y desperdicios de alimentos, como estrategia para la seguridad alimentaria ([FAO, 2017](#)). Así, el sector agrícola colombiano que usa parte de los recursos naturales y ocupa grandes extensiones de tierra, consume el 43% de agua, contribuye con el 55% de los gases efecto invernadero ([IDEAM, 2017](#)), genera aproximadamente el 15,5% de empleo y participa con 7,0% del PIB, rango considerado bajo ([DANE, 2021](#)). Sin embargo, el sector responde con producción de grandes cantidades de biomasa, subproductos que, con valor agregado, pueden ser aprovechados y nuevamente introducidos al proceso productivo siguiendo lineamientos de economía circular ([Korhonen, Honkasalo y Seppälä, 2018](#); [Lobo-Ramírez, 2021](#)). El compostaje es uno de los procesos que puede convertirse en solución para gestionar los recursos orgánicos y de esta forma, reducir impactos ambientales

y convertirse en alternativa económica y eficiente para dar solución a la contaminación de los recursos naturales, pese a que es considerada como la opción menos sostenible desde el punto de vista ambiental, según principios económicos (Slorach Jeswani, Cuéllas-Franca y Azapagic, 2019). Existen diferentes formas de preparación de compost, que dependen exclusivamente de la disponibilidad de materiales orgánicos, por lo que puede desarrollarse a partir de un solo producto o mediante la mezcla de varios, buscando mejorar los aportes nutricionales y/o de las condiciones hidrodinámicas del mismo (Awasthi et al., 2020; Slorach et al., 2019). Este proceso aporta vía actividad microbiana, nutrientes y un ambiente donde se pueden desarrollar de forma adecuada las raíces de las plantas, conduciendo a la producción de alimentos para consumo humano o animal (Gustavsson, 2011).

Según la base estadística de la [Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación \(Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020\)](#), la producción de naranja a nivel mundial se estimó en 76292600 t de las que se estima que cerca del 70% se usa exclusivamente para la fabricación de jugos. En Colombia se estima una producción de 1257474 t de fruta fresca y, específicamente la región caribe colombiana se caracteriza por la producción de 85500 t de naranja (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021) y su utilización se enfoca en la industria de jugos y en el consumo en fresco, donde la piel o cáscara, que equivale al 50% de la biomasa del fruto, se desecha sin darle valor agregado (Siles, Vargas, Gutiérrez, Chica y Martín, 2016). Por lo anteriormente descrito, el objetivo del trabajo fue caracterizar el compost derivado de residuos de cáscara de naranja proveniente de la agroindustria solo y en mezcla con otros componentes orgánicos y verificar su potencialidad para ser incorporado al suelo.

2. Metodología

Localización

El experimento se desarrolló en el Centro de Investigación Agrícola de la Universidad del Magdalena, Santa Marta Colombia (Longitud 74° 10'56" W, 11° 13' 24" N), precipitación promedio anual de 672 mm, Altitud 9 msnm, temperatura y humedad relativa promedio de 29.5°C, clima semi-árido con marcado déficit hídrico en la época seca, climas mega-termales, formaciones vegetales clasificadas como Zonobioma Subxerofítico (Rangel y Carvajal, 2012), con suelos de origen aluvial, poca evolución, predominan texturas gruesas, (franco arcillo arenosa), clasificados en el orden Entisoles y suborden Psamments (Lobato, 2003) catalogados como *Typic Ustipsamments* con niveles bajos a medios de materia orgánica (MO).

Insumos

En el proceso de preparación del compost, se empleó cáscara de naranja entera y picada derivada del proceso de fabricación de jugo en la ciudad de Santa Marta. Además, se mezcló con suelo y residuos orgánicos de origen vegetal procedentes de podas de pastos del campus universitario, cascarilla de arroz y gallinaza.

Características de la cáscara de naranja

Según Pinzón-Bedoya y Cardona-Tamayo (2008) y Siles et al. (2016), la masa seca de la cáscara de naranja contiene, pH de 3.42, 44,4% de C, 5.9 - 6.1% de H, 0.76 - 0.89% de N, 4.9 % de cenizas, 1.18 mg de P. 2% de Ca y algunos aminoácidos y trazas de vitaminas como la colina.

Caracterización de suelos

Las condiciones del suelo para el ensayo tienen injerencia directa en el proceso por lo que antes del montaje, se determinó la conductividad eléctrica (CE) 3 dS.m⁻¹ utilizando conductímetro (Hanna, HI993310, USA) en extracto de suelo saturado; El pH fue de 8 usando potenciómetro (Hanna, HI9126, UE) en relación suelo/agua 1:1 y materia orgánica (MO %) por el método Walkley Black, reporto 0,1%.

Preparación del compost

Se acumuló la cáscara de naranja en pilas o montones, se dejó al sol con el objeto de obtener un nivel de humedad cercano al 60%. Una parte de esta se molió, mientras que la otra fue incorporada entera a la mezcla (Tabla 1). Las mixturas fueron

dispuestas en recipientes de fibra de vidrio con una llave en la parte inferior que permitieron la evacuación de lixiviados para control de humedad y temperatura (Figura 1). La parte superior del recipiente, se resguardó con listones de madera dejando espacios para la ventilación. Cada 3 días se realizó volteo utilizando una pala trasplantadora para ampliar la circulación de aire (O_2). Se hizo seguimiento a las características organolépticas durante el proceso (color, textura, presencia de meso organismos) y cada cinco días, se midió temperatura, humedad y pH en cada unidad experimental o recipiente.



Figura 1. Diagrama metodológico del proceso de preparación de compost
Fuente: Los autores

Tratamientos

Los tratamientos fueron conformados por la mezcla de la cáscara de naranja entera y molida con hojarasca, cascarilla de arroz y gallinaza (Tabla 1). Así, el número de tratamientos fueron 6 los cuales fueron replicados seis veces.

Tabla 1.

Tratamientos empleados para caracterizar el compost proveniente de la descomposición de cáscara de naranja en diferentes porcentajes de mezcla con otros compuestos orgánicos.

Mezcla	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Cáscara de Naranja sin triturar	100%	50%	40%	0	0	0
Cáscara de Naranja triturada (molida)	0	0	0	100%	50%	40%
Suelo	0	25%	25%	0	25%	25%
Hojarasca, y residuos de pasto	0	15%	25%	0	15%	25%
Cascarilla de arroz	0	5%	5%	0	5%	5%
Gallinaza	0	5%	5%	0	5%	5%

Fuente: Los autores.

Muestras

Cinco meses (150 días) después de preparada la mezcla, se recolectó por tratamiento tres muestras para su caracterización físico-química (Tabla 2) las cuales fueron enviadas al laboratorio de servicios analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, mientras que la determinación microbiológica se realizó en los laboratorios de la universidad

Jorge Tadeo Lozano donde se determinó recuento de hongos benéficos, bacterias solubilizadoras de fosfato, bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos, hongos aerobios mesófilos y bacterias aerobias mesófilas, utilizando diluciones seriadas en base 10, recuento en placa en medios de cultivo específicos para cada tipo de microorganismos e incubación por 24 horas a 27°C para bacterias y de 5 a 10 días para hongos y actinomicetos a una temperatura de 28°C. Para el recuento de nematodos se utilizó el método de Baermann funnel, y la identificación se realizó por medio de clave taxonómica.

Los resultados fueron comparados con la norma técnica NTC 1567 “Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo” Decreto 2269 de 1993 actualizada en 2011. El proceso se realizó en condiciones aeróbicas.

Tabla 2.

Parámetros medidos y métodos empleados para determinar la concentración de elementos nutrientes en el compost de naranja en la Región caribe colombiana.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método
pH			pH Agua 1:1
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	Potenciométrico en relación suelo: agua 1:2 (p/V)
Nitrógeno total	N-total	g/kg	Espectrofotometría UV-VIS (Equipo –Skalar)
Carbono	C	g/kg	Carbono Oxidable Walkley&Black
Materia orgánica	MO	g/kg	M. Orgánica W-Black Espectrometría
Fosforo	P ₂ O ₅	mg/kg	BrayII. Fosforo disponible -Espectrometría
Potasio	K	cmol/kg	Potasio Intercambiable (Abs. At.).
Calcio	Ca	cmol/kg	Calcio Intercambiable (Abs. At.).
Magnesio	Mg	cmol/kg	Magnesio Intercambiable (Abs. At.).
Sodio	Na	cmol/kg	Sodio Intercambiable (Abs. At.).
Fijadores de N		UFC	Recuento
Hongos y levaduras		UFC	Recuento
Actinomicetes		UFC	Recuento
Azotobacter		UFC	Recuento
Hongos mesófilos		UFC	Recuento
Hongos no fitopatógenos		UFC	Recuento
Fitopatógenos		UFC	Recuento

Abs. At.: Absorción atómica

Fuente: Los autores

VARIABLES EVALUADAS

Cualitativas u organolépticas: color, olor, textura.

Cuantitativas: Temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), N, P, K, Ca, S, Mg, Na, C, C/N y diversidad microbiológica.

ANÁLISIS DE DATOS

Con los resultados se estableció una matriz de datos los cuales fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) previo cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad, seguido de prueba post hoc diferencia mínima significativa (LSD de Fisher) con nivel de significancia de 0,01. A fin de determinar el grado de asociación entre variables, se recurrió a análisis de correlación. Para los análisis se empleó el software estadístico R versión 3.6 (R Development Core Team 2015 disponible en: www.r-project.org).

3. Resultados y discusión

Descripción y caracterización físico-química del proceso de compostaje

El proceso se dividió como era de esperarse en tres fases: Activación inicial, fase termofílica y fase de maduración tal como lo describen ([Chowdhury, Vayenas, Pavlou y Akratos, 2013](#)). La fase de adaptación de los microorganismos duró de tres a cinco días y, se inicia con la degradación por parte de las bacterias de los elementos más biodegradables y se detecta incremento de temperatura del residuo de 30 a 47 °C. Luego, en la fase termófila, las temperaturas ascendieron hasta alcanzar un rango de 60 a 72 °C condiciones en las que muchos patógenos mueren y en la que se observó degradación de materia orgánica con cambio en la textura del material con intensa actividad de microorganismos. Esta fase duró hasta alrededor del día 45. En las primeras semanas, debido a un proceso anaeróbico, se generó un olor fuerte a fermento. Posteriormente, en la fase de estabilización o maduración, los procesos se ralentizaron, se estabilizó el color, mientras que la humedad y temperatura disminuyen y el olor cambia, se tornó más agradable (como mantillo de bosque), la temperatura se estabilizó alrededor de 35 °C, etapa que duró hasta el día 95.

Una vez culminado el proceso, el producto obtenido mostró las características que se aprecian en la [Tabla 3](#).

Tabla 3.

Características analíticas del compost obtenido a partir de cáscara de naranja en condiciones de la región Caribe colombiana.

Trata	pH	CE	%									
			Humedad	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	C	C/N
T1	7,9	7.5	35	0,73	0,13	1,15	1,15	0,46	0,04	0,037	7,3	10
T2	8,2	8,0	28	0,54	0,11	0,78	1,24	0,55	0,04	0,040	5,1	9,5
T3	8,9	8,3	38	0,54	0,16	0,81	1,03	0,34	0,04	0,048	7,9	14,6
T4	7,8	6,9	34	0,63	0,14	0,80	1,15	0,43	0,05	0,034	6,30	10
T5	8,5	8,7	38	0,57	0,20	0,85	1,21	0,43	0,06	0,055	8,43	14,7
T6	7,7	5,4	40	0,36	0,07	0,32	0,76	0,63	0,03	0,026	3,25	9,02
NTC.												
5167	4 -9		20-35	>1,0	>1,0	>1,0					30	

C= carbono, N = nitrógeno, P = fósforo, K = potasio, Ca = calcio, Mg = magnesio

Fuente Los autores.

El pH no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos. El nivel de pH inicial de la mezcla fue de 7,8 sin embargo, días posteriores alcanzó 8,5 y siguió subiendo a un valor cercano a 9, posiblemente por la aireación la cual impide la formación de ácidos orgánicos ([Chowdhury et al., 2013](#)) y por otro lado, el aumento de temperatura y el agua del grifo para humedecerlo contribuye a su alcalinización. Luego cuando la temperatura se estabilizó, los valores del pH oscilaron entre 6,47 en T6 y 8.9 en T3, resultados que coinciden con lo encontrado por ([Siles et al., 2016](#)) y ([Gelsomino et al., 2010](#)), quienes verificaron incremento del pH durante los primeros 60 días del proceso de compostaje como resultado de la degradación y mineralización de componentes orgánicos. [Van Heerden Cronjé, Swart y Kotzé \(2002\)](#) afirman que las condiciones alcalinas son generadas por actino bacterias involucradas en la degradación de compuestos orgánicos y en el proceso de humificación. Pese a lo encontrado, los resultados se alejan de lo reportado por [Ghinea, Apostol, Prisacaru y Leahu \(2019\)](#), quienes afirman que los valores óptimos de pH en el proceso de compostaje deben situarse entre 5.5 y 8.0.

Durante el proceso, la concentración de sales se incrementa debido a la descomposición de materiales orgánicos complejos como lo afirman [Chan, Selvam y Wong \(2016\)](#) y refleja localidad del compost para ser empleado como fertilizante ([Onwosi et al., 2017](#)). En este trabajo, la CE no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo T6 el que mostró menor promedio en la variable (5,4 dS m⁻¹) mientras que T5 mostró el mayor valor con CE de 8,9 dS m⁻¹ valores que, aunque no están determinados en la norma, podrían representar factor limitante para el crecimiento y la producción de los cultivos y que puede deberse a la formación de sales amoniacales y/o fosfóricas en el proceso.

Durante el compostaje, los microorganismos degradan materiales orgánicos para obtener la energía y los nutrientes que requieren para su metabolismo y así, asegurar el aumento poblacional ([Onwosi et al., 2017](#)). De estos nutrientes, el C (empleado como fuente de energía) y el N (usado en la construcción de estructuras celulares), son los más importantes

desde el punto de vista microbiológico (Iqbal, Nadeem, Sherazi y Khan, 2015). La relación carbono/nitrógeno (C/N) mostró diferencias significativas entre tratamientos siendo el T6 el que menor valor obtuvo (C/N=9,02) y T5 el mayor (C/N=14,70). Materiales con relación C/N como los descritos, una vez aplicados a los cultivos, podrían generar deficiencias temporales de N en las plantas. La relación obtenida en T3 y T5 (C/N:14,6 y 14,7, respectivamente), indicaría que su incorporación en el suelo no generaría problemas de inmovilización de nitrógeno (Gelsomino *et al.*, 2010) aunque existen reportes que indican que la relación C/N que ofrece las mejores condiciones en el proceso de compostaje, se sitúa entre 25 y 30 (Ghinea *et al.*, 2019).

El contenido de humedad es un parámetro crítico en el proceso (Onwosi *et al.*, 2017) y tiene influencia sobre la absorción de oxígeno, la aireación, la actividad microbiana y la temperatura. La humedad en los tratamientos mostró diferencias estadísticas en su comportamiento variando entre 28% en T2 a 40% en T6 al final del proceso. Valores muy bajos en la variable pueden ser resultado de secado prematuro del material durante la etapa termofílica (Vázquez, Sen y Soto, 2015) y, por tanto, es necesario que se corrijan sus niveles con la aplicación de agua hasta llegar al 50-60% como lo afirma Onwosi *et al.* (2017). Los valores alcanzados por 5 de los seis tratamientos hacia el final del proceso, se encontraron dentro de los valores exigidos por la NTC 5167 (<35%).

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la variable temperatura, una de las variables más importantes en el proceso de compostaje (Peng, Song, Lin y Wang, 2018). El análisis estadístico evidencia que el T6 presentó diferencias significativas ($P<0.05$) respecto a los demás. En general todos los tratamientos presentaron rápido ascenso en la variable durante los primeros días, debido al incremento de la actividad microbiana y de la biodegradación (Wei, Ma, Su y Xie, 2020), generando características exotérmicas (Chowdhury *et al.*, 2013). Luego, alcanza el máximo rango o punto más alto hacia los 30 y 40 días donde se presentan temperaturas cercanas a los 70°C, consecutivamente la temperatura comienza a decaer, no se genera en forma lineal estable posiblemente por la humedad de cada recipiente. A medida que transcurre el tiempo, 60 a 65 días después de preparado, se alcanza temperaturas cercanas entre 37 y 33°C, es importante destacar que al final del proceso la temperatura se estabiliza alrededor de los 23°C. El comportamiento térmico es similar en todos los tratamientos, alcanzan la fase termofílica y tiempo después, se estabilizan. Las mayores temperaturas logradas en los tratamientos 3, 5 y 6 posiblemente se deban a la adición de pasto. Al respecto, (Muter *et al.*, 2014) mezcló pulpa de papa con pasto y verificó que este material favorece notablemente el incremento de la temperatura y ayuda a obtener mejor relación C/N, características importantes para la calidad del compost.

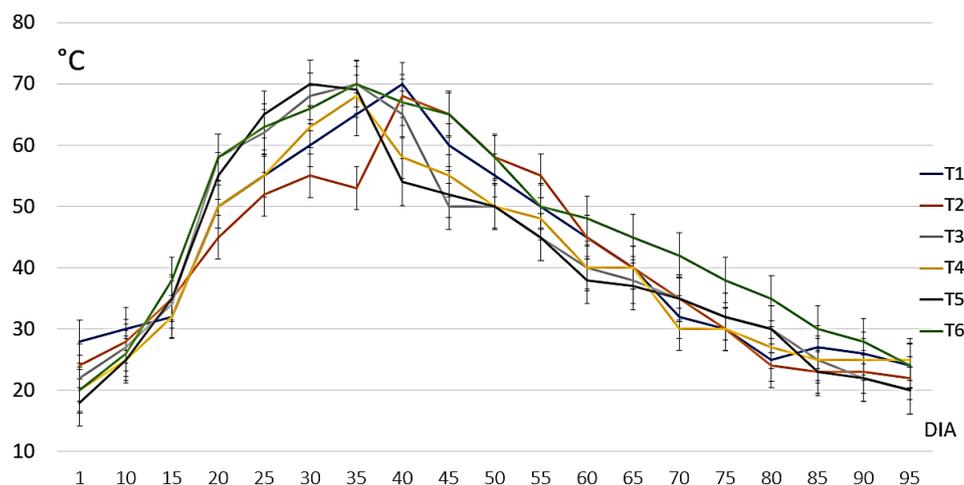


Figura 2. Comportamiento de la temperatura respecto a los días del proceso.
Fuente: Los autores

Durante el proceso, los microorganismos requieren de nutrientes, siendo los más demandados el N, P y K (Onwosi *et al.*, 2017). El contenido de N fue inferior a 1% en todos tratamientos evaluados con valores promedio de 0,36% en T6 y 0,73 en T1, descendiendo en el siguiente orden: T1>T4>T5>T2=T3>T6, situación que puede explicarse porque la mineralización de N orgánico es más baja que la del C orgánico.

Los datos correspondientes a la concentración de P, K y Ca, mostraron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). T5 mostró el mayor promedio en la variable P, superando 2,28 veces lo reportado por T6 (con el menor valor); a su vez, T1 reportó 3,6 veces más K que T6; T2 exhibió 63% más Ca que T6; T6 mostró 85% más Mg que T3, T4 y T5 y finalmente, T5 obtuvo dos veces más N que T6. La importancia de estos datos radica en el potencial suministro de nutrientes del compost a las plantas de cultivo (Vázquez *et al.*, 2015), sin embargo, todos estuvieron por debajo de lo estipulado en la norma NTC 5167 la cual recomienda contenidos $> 1\%$ en cada elemento y se encuentra en contraposición a lo enunciado por Afonso, Arrobas, Pereira y Rodrigues (2021), quienes afirman que durante el proceso, la concentración de nutrientes se incrementa.

Los tratamientos 1, 2 y 3 con cáscara de naranja entera, mostraron lenta descomposición, comparados con los demás tratamientos. Los residuos de cítricos son fuente potencial de compuestos fenólicos, específicamente flavonoides glicosilados que suelen presentar baja actividad biológica (Espinosa-Pardo, Nakajima, Macedo, Macedo y Martínez, 2017) motivo por el cual se recomienda su trituración.

El análisis de correlación (Figura 3), mostró asociación positiva y significativa de C/N con pH ($r=0,75$), CE ($r=0,81$), N ($r=0,44$), P ($r=0,93$), S ($r=0,77$), Na ($r=0,85$) y C ($r=0,98$), sugiriendo que la relación C/N aumenta en la medida que se incrementan las demás. Por su parte, el análisis reveló asociación inversa entre C/N con los contenidos de Mg ($r=-0,86$).

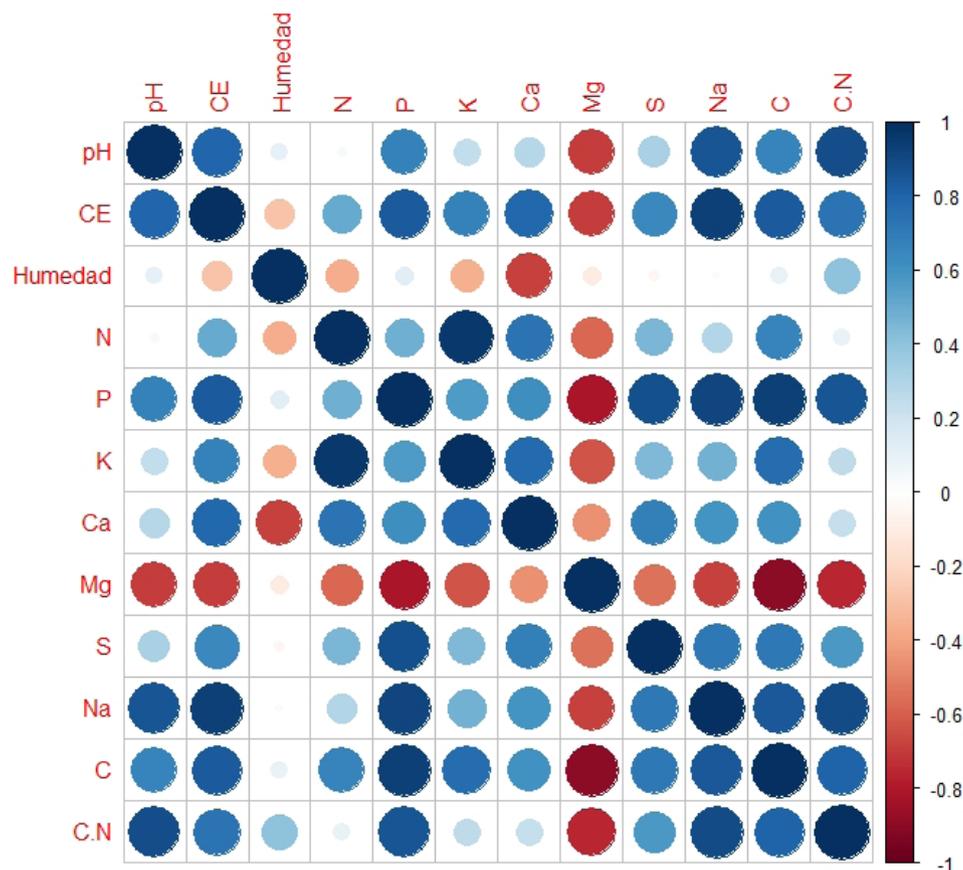


Figura 3. Análisis de correlación entre las variables físicas y químicas medidas en el proceso de compostaje empleando cáscara de naranja en la Región Caribe colombiana.

Fuente: Los autores

Peng *et al.* (2018) afirman que el proceso de estabilización del compost viene acompañado por el incremento en el valor del pH debido a la liberación de amonio y amoniaco durante la mineralización de N mediante actividad microbiana. Por su parte, la CE se incrementa debido entre otras, a la producción de amonio y fosfatos durante el proceso de degradación de la materia orgánica como lo reportan Onwosi *et al.* (2017). Estos valores de CE son indicadores de salinidad durante el proceso, lo cual puede sugerir algún efecto no deseable en los cultivos en los que se aplique.

Características microbiológicas del compostaje

La calidad del compost se establece en función de tres criterios: a) la relación carbono/nitrógeno; la estabilidad biológica y la madurez que se alcanza durante el desarrollo y evolución de las diferentes etapas del proceso (Ghinea *et al.*, 2019), evaluada mediante bioensayos para establecer la presencia de compuestos fitotóxicos como lo enuncian (Muter *et al.*, 2014; Varnero Orellana, Rojas y Santibáñez, 2007). Así, la cantidad y diversidad de organismos cultivables puede aportar información durante el proceso. Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla 4 y su análisis mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos

Tabla 4.

Resultados del análisis microbiológico en los diferentes tratamientos analizados

Recuento UFC/g	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Fijadores de N	$<1 \times 10^2$	ND	$<1 \times 10_3$	ND	ND	ND
Hongos y levaduras	1×10^5	21×10^2	$> 1.0 \times 10^6$	39×10^4	$<1 \times 10^3$	$> 1.0 \times 10^{10}$
Actinomicetes	$<1 \times 10^2$	1×10^3	1×10^5	1.0×10^7	1×10^5	1×10^2
Azotobacter	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hongos mesófilos	7×10^5	5×10^5	$1,2 \times 10^5$	$1,3 \times 10^3$	1×10^4	1×10^6
Hongos no fitopatógenos	ND	ND	ND	<i>Aspergillus</i> <i>Epicocum</i>	ND	<i>Mucor sp</i> <i>Niger sp</i>
Fitopatógenos	1×10^5 <i>*Pseudomonas sp</i>	1×10^5 <i>Pseudomona sp</i>	1×10^3 Rhizoctonia sp	ND	<10 <i>Curvularia sp</i>	ND

UFC/g. Unidades formadoras de colonias.

ND. No determinada = Negativo.

Fuente: Los autores

De acuerdo a los resultados microbiológicos las unidades formadoras de colonia UFC reflejan baja densidad de microorganismos en todos los tratamientos. Sin embargo, se resalta la mayor diversidad obtenida en el T6 (98% de la diversidad total). No se evidenció presencia de microorganismos benéficos como *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.* o *Metarhizium sp.*, pero se reportó presencia (aunque mínima $< 0,002\%$) de hongos patógenos entre los que se encuentran *Pseudomonas sp.*, *Rhizoctonia sp.* y *Curvularia sp.* en cuatro (T1, T2, T3 y T5) de los seis tratamientos y según la NTC 5167 de 2004, el reporte positivo de patógenos, hace que no se cumplan las condiciones para aplicación y comercialización. Por lo anterior, sería importante incluir test con lombrices para que, una vez estabilizados los tratamientos pasen por el tracto digestivo y de esta forma eliminar posibles patógenos.

La abundancia de microorganismos del suelo se relaciona con la calidad y la distribución espacial de los recursos (Wang, Liu, Xia y Chen, 2019), se sabe que con la profundidad se disminuye la concentración de carbono orgánico, en climas cálidos áridos y semiáridos como los de la zona de estudio la vegetación disminuye y se conoce que la abundancia de plantas es directamente proporcional a la de la de diversos grupos microbianos (Archer y Pyke, 1991) posiblemente estas condiciones limitan la actividad de los microorganismos en los suelos. Los suelos utilizados en el ensayo con pH alcalino y presencia de carbonatos de calcio, disminuyen aún más la diversidad de los grupos funcionales. De acuerdo con los análisis realizados, los organismos fijadores son favorecidos por incrementos en pH y contenidos de K ($r=0,54$ y $0,54$, respectivamente), los hongos y levaduras mostraron asociación directa con contenidos de humedad en el compost ($r=0,49$), Actinomicetos con P, S y C ($r= 0,7$, $0,75$ y $0,44$, respectivamente), Hongos mesófilos con Mg ($r=0,75$) y finalmente los fitopatógenos, están siendo favorecidos por el incremento de pH, CE, K, Ca y Na ($r=0,50$, $0,44$, $0,44$, $0,50$ y $0,44$, respectivamente) que en conjunto, se vinculan con las condiciones de salinidad del producto.

Teniendo en cuenta lo anterior sería recomendable adicionar al proceso, estiércol de bovino que contienen mayor abundancia microbiológica o inocular con algunas cepas de microorganismos bio-fertilizantes y bio-controladores que colaboran en los sistemas agrícolas sostenibles debido a su importancia para el ciclo de la materia orgánica y en la circulación de nutrientes para la planta.

4. Conclusiones

Las propiedades del compost son afectadas según el tiempo de humificación; se evidencio diferencia en el pH, temperatura, humedad, color y textura. Sin embargo, los resultados obtenidos, indican que el compostaje obtenido con los tratamientos T4 y T6, es una opción viable.

El incremento en pH y CE requieren seguimiento toda vez que su utilización consigue acentuar alcalinidad y/o salinidad en zonas susceptibles a este fenómeno.

La presencia de microorganismos patógenos como *Pseudomonas sp* y *Rhizotonia sp.*, pueden generar enfermedades vegetales y, por tanto, puede limitar el empleo de los tratamientos T1, T2, T3 y T5 en labores agrícolas.

Se evidencio que el adecuado aprovechamiento de residuos o subproductos orgánicos contribuye a ciclar, recircular y producir insumos nuevos que son acondicionadores o fertilizantes en la producción agrícola. De esta manera, se disminuye descargas incontroladas que contaminan al entorno paisajístico y las aguas (superficiales, subsuperficiales) por consiguiente la contribución de esta investigación radica en mejorar la calidad ambiental aportando MOS.

El compostaje es una alternativa económica, y confiable para la gestión de residuos orgánicos y una forma de minimizar el impacto ambiental de la actividad antrópica, así como un producto viable de ser incorporar al suelo. ≡

Recomendaciones

Se debe evaluar para próximos ensayos de compost cumplimiento con los límites permitidos de las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT), arsénico, azufre, boro cadmio, cobre, hierro, magnesio mercurio, níquel plomo, sodio y zinc, por lo cual su uso se podría limitar a la jardinería.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. ARCHER, Stive; PYKE, David. Plant-animal interactions affecting plant establishment and persistence on revegetated rangeland. In: Journal of Range Management. 1991. vol. 44, no. 8, p. 558-565. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/download/8659/8271>
2. AFONSO, Sandra; ARROBAS, Margarita; PEREIRA, Ermelinda; RODRIGUES, M. Ângelo. Recycling nutrient-rich hop leaves by composting with wheat straw and farmyard manure in suitable mixtures. In: Journal of Environmental Management. 2021. vol. 284, p. 112105. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112105>
3. AWASTHI, Sanjeev; SARSAIYA, Surendra; AWASTHI, Mukesh; LIU, Tao; ZHAO, Junchao.; KUMAR, Sunil; ZHANG, Zengqiang. In: Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities. In: Bioresource Technology. 2020. vol. 299, p. 122555. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122555>
4. CHAN, Man Ting; SELVAM Ammaiyappan; WONG, Jonathan. Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. In: Bioresource Technology. 2016. vol. 200, p. 838-844. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093>
5. CHOWDHURY, Abu Khayer; VAYENAS, Dimitrios; PAVLOU, Stavros; AKRATOS, Christos. Olive mill waste composting: A review. In: International Biodeterioration & Biodegradation. 2013. vol. 85, p. 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.019>
6. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE. Indicadores económicos alrededor de la construcción. Bogotá D. C.: DANE, 2021. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion>
7. ESPINOSA-PARDO, Faber Ariel; NAKAJIMA, Vânia Mayumi; MACEDO, Gabriela; MACEDO, Juliana; MARTÍNEZ, Julian. (2017). Extraction of phenolic compounds from dry and fermented orange pomace using supercritical CO₂ and cosolvents. In: Food and Bioproducts Processing. vol. 101, p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.002>
8. GELSOMINO, Antonio; ABENAVOLI, María Rosa; PRINCI, Giuseppe; ATTINÀ, Emilio; CACCO, Giovanni; SORGONÀ, Agostino. Compost from Fresh Orange Waste: A Suitable Substrate for Nursery and Field Crops? In: Compost Science & Utilization. 2013. vol. 18, no.3, p. 201-210. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736956>

9. GHINEA, Cristina; APOSTOL, Laura Carmen; PRISACARU, Ancuta Elena; LEAHU, Ana. Development of a model for food waste composting. In: Environmental Science and Pollution Research. 2019. vol. 26 no. 4, p. 4056-4069. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3939-1>
10. GUSTAVSSON, Jenny (Ed.). Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
11. IDEAM—INFORMES NACIONALES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROS - IDEAM, 2017. IDEAM. http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-nacionales-de-generacion-de-residuos-o-desechos-peligros/-/document_library_display/7zH-DlepI RPD1/view/91475885
12. IQBAL, M. K.; NADEEM, A.; SHERAZI, F.; KHAN, R. A. Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology. In: International Journal of Environmental Science and Technology. 2015. vol. 12 no. 5, p. 1759-1768. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0543-x>
13. KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. Circular Economy: The Concept and its Limitations. In: Ecological Economics. 2018. vol. 143, p. 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
14. LOBATO, Reynaldo. Mapa taxonómico de los suelos de la Universidad del Magdalena. Universidad del Magdalena. 2003
15. LOBO-RAMÍREZ, Luz Carolina. Marco base de la política pública de economía circular enfocado en una perspectiva de gestión y manejo de residuos sólidos para la ciudad de Medellín [Medellín]. 2021. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/21782>
16. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (Indicadores Cadena De Citricos (p. 15). Minagricultura. 2021.
17. MUTER, Olga; POGULIS, Aivars; GRUBE, Mara; GAVARE, Marita; BERZINS, Andrejs; STRIKAUSKA, Silvija; HANSONS, Uldis; HANSONS, Andrejs. Potato pulp as a composting substrate. In: Zemdirbyste. 2014. vol. 101, p. 57-66. <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.008>
18. ONWOSI, Chukwudi O.; IGBOKWE, Victor C.; ODIMBA, Joyce N.; EKE, Ifeanyichukwu E.; NWANKWOALA, Mary O.; IROH, Ikemdinachi N.; EZEUGU, Lewis I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. In: Journal of Environmental Management. 2017. vol. 190, p. 140-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>
19. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. Un Código Internacional de Conducta para la Prevención y Reducción de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos. Roma.: FAO, 2017. <https://www.fao.org/3/i7338s/i7338s.pdf>
20. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin FAO, 2020. p. 1-48. <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>
21. PENG, Shuang; LI, Huijie; SONG, Dan; LIN, Xiangui; WANG, Yiming. Influence of zeolite and superphosphate as additives on antibiotic resistance genes and bacterial communities during factory-scale chicken manure composting. In: Bioresource Technology. 2018. vol. 263, p. 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.107>
22. PINZÓN-BEDOYA, M. L.; CARDONA-TAMAYO, A. M. C. Caracterización de la cáscara de naranjas para su uso como material bioadsorbente. In: Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 2008. vol. 6, no. 1, p. 28-37.
23. RANGEL, Orlando.; CARVAJAL, Juan. Clima de la región Caribe colombiana. En: O. Rangel (Ed.), Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia. Instituto de Ciencia Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 2012, p. 67-129.
24. SILES, J. A.; VARGAS, F.; GUTIÉRREZ, M. C.; CHICA, A. F.; MARTÍN, M. A. Integral valorisation of waste orange peel using combustion, bimethanisation and co-composting technologies. In: Bioresource Technology. 2016. vol. 211, p. 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.056>
25. SLORACH, Peter C.; JESWANI, Harish K.; CUÉLLAR-FRANCA, R.; AZAPAGIC, A. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy. In: Science of The Total Environment. 2019. vol. 693, p. 1335-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.322>
26. VAN HEERDEN, I.; CRONJÉ, C.; SWART, S. H.; KOTZÉ, J. M. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. In: Bioresource Technology. 2002. vol. 81, no. 1, p. 71-76. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00058-X)
27. VARNERO, María. T.; ORELLANA, R.; ROJAS, C.; SANTIBÁÑEZ, C. Evaluación de especies sensibles a metabolitos fitotóxicos mediante bioensayos de germinación. En: Medioambiente en Iberoamérica: visión desde la física y la química en los albores del siglo XXI. 2007. vol. 3, p. 363-370 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7397741>
28. VÁZQUEZ, M. A.; SEN, R.; SOTO, M. Physico-chemical and biological characteristics of compost from decentralised composting programmes. In: Bioresource Technology, 2015. vol. 198, p. 520-532. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.09.034>
29. WANG, Jiaquin; LIU, Zhiping; XIA, Jiashuai; CHEN, Youpeng. Effect of microbial inoculation on physicochemical properties and bacterial community structure of citrus peel composting. In: Bioresource Technology. 2019. vol. 291, p. 121843. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121843>
30. WEI, Huawey; MA, Jiaying; SU, Yinglong; XIE, Bing. Effect of nutritional energy regulation on the fate of antibiotic resistance genes during composting of sewage sludge. In: Bioresource Technology, 2020. vol. 297, p. 122513. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122513>