

Composting of kitchen waste and pet feces: quality and effect on vegetable germination and growth

Compostaje de residuos de cocina y heces de mascota: calidad y efecto en la germinación y crecimiento de hortalizas

Dalia Carbonel¹ and Tessy Luciano²

Abstract — The rates of urban growth and urbanization indicate a projected increase in waste generation. In developing countries, the organic fraction constitutes approximately half of the total waste, leading to the production of leachate, toxic gases, and the emergence of vectors. Composting emerges as a straightforward and cost-effective solution for organic waste recovery. This study focused on evaluating the quality of compost derived from organic waste (CRO) and pet feces (CM). The research aimed to investigate the impact of these composts on the germination and growth of selected vegetables. The primary quality parameters were assessed, and different mixtures of CRO and CM were implemented as experimental treatments. The majority of the fertilizers examined complied with the quality standards. However, the germination percentage of CRO (18%) and CM (10%) fell below the required threshold (80%), and CM surpassed the recommended maximum level of total coliforms (1100 NMP/g compared to the recommended 1000 NMP/g). Notably, a higher germination percentage (84%) was observed for both CRO and CM at a 25% compost addition. In terms of growth trials, the control group exhibited the tallest plants (13.88 cm), followed by the 10% CRO treatment (13.22 cm) and the 25% CM treatment (11.50 cm). The findings underscore the potential of urban organic waste, including pet waste, for composting and its positive impact on plant growth.

Keywords - *Capsicum baccatum*; compost; organic waste; *Raphanus sativus*.

Resumen — Las tasas de crecimiento y urbanización de las ciudades pronostican el aumento de residuos. En los países en desarrollo la fracción orgánica representa aproximadamente la mitad del total de residuos generados; esta fracción genera lixiviados, gases tóxicos y la aparición de vectores. El compostaje es la alternativa más sencilla y económica para la recuperación de los residuos orgánicos. En este estudio se evaluó la calidad de dos compost elaborados con residuos orgánicos (CRO) y heces de mascota (CM).

This work was supported by Lima Compost.

¹Corresponding author. Dalia Carbonel is with the National University of Engineering, Lima, 150128 PERU (e-mail: dcarbonelr@uni.pe). ORCID number 0000-0002-3229-3210.

²Tessy Luciano was with Lima Compost, Lima, 15039 PERU. She is now with Desarrollo Energético Sostenible S.A.C. Lima, 15817 PERÚ (e-mail: 1026100238@untels.edu.pe). ORCID number 0000-0002-5340-2746.

Manuscript Received: December 14, 2022.

Revised: February 7, 2023.

Accepted: May 31, 2023.

DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.958>

La pregunta de investigación analizó el efecto de estos abonos en la germinación y crecimiento de hortalizas seleccionadas. Se determinaron los principales parámetros de calidad y se diseñaron tratamientos con diferentes mezclas de CRO y CM. Los abonos evaluados se encuentran en su mayoría dentro de los parámetros de calidad. El porcentaje de germinación del CRO (18 %) y del CM (10 %) fue menor al requerido (80 %); y el CM excedió (1100 NMP/g) el máximo recomendado de coliformes totales (1000 NMP/g). La germinación fue mayor CRO y CM al 25 % (84 % en ambos casos). En los ensayos de crecimiento el control finalizó con mayor altura (13.88 cm), seguido del CRO al 10 % (13.22 cm) y CM al 25 % (11.50 cm). Los resultados demuestran el potencial de los residuos orgánicos urbanos, incluyendo los desechos de mascotas, para el compostaje y sus efectos beneficiosos en el crecimiento de las plantas.

Palabras Clave - *Capsicum baccatum*; compost; *Raphanus sativus*, residuos orgánicos.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos seguirá siendo un reto, especialmente en ciudades con altas tasas de crecimiento poblacional y urbanización [1]. Se espera que para el 2025 la población mundial ascienda a 8 billones y, en el 2050 a 9.3 mil millones; se estima que de este total el 70 % vivirá en áreas urbanas [2]. Según datos del Banco Mundial [3] en los países en desarrollo la cobertura de recolección fluctúa entre el 50 % y 80 %, los gobiernos locales invierten entre el 20 % y 50 % de sus presupuestos en la gestión de residuos, del cual entre el 80 % y 95 % se destina al transporte y recolección [4]. En gran parte de los países en desarrollo los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, los cuales suelen tener una vida útil proyectada entre 10 y 20 años. Los residuos que no son recolectados, tratados o dispuestos de manera adecuada terminan en botaderos a cielo abierto en las zonas periféricas de la ciudad y contribuyen a problemas de salud pública y riesgos ambientales [1].

Otra característica de los residuos en los países en desarrollo es la composición: a menor nivel de ingresos mayor es la fracción de residuos orgánicos; por ejemplo, en promedio en países de ingresos medios bajos y bajos el porcentaje de orgánicos es de 53 % y 56 %, respectivamente [5]. Cuando estos residuos orgánicos se descomponen, en rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto,

son los principales responsables de la generación de lixiviados tóxicos, gases metano, contaminación del suelo y acuíferos y la aparición de vectores portadores de enfermedades infecciosas [6].

Entre las opciones de aprovechamiento de residuos orgánicos el compostaje es la más sencilla, económica y utilizada [7]. El compostaje es una tecnología eficaz y rentable y usada ampliamente para el aprovechamiento de gran variedad de residuos orgánicos como estiércol, agrícolas, municipales, etcétera. Así, el compostaje es una alternativa viable y económica para la recuperación de residuos. Entre los residuos orgánicos generados en las ciudades se encuentran también los residuos de mascotas. Dado su alto contenido de patógenos y olores desagradables, el compostaje de este tipo de residuos ha recibido poca atención [8]. La gran mayoría de endoparásitos presentes en las heces de mascotas tienen un ciclo de vida en el que los adultos parásitos tienen una gran capacidad reproductiva; esta carga representa la ruta de exposición más importante de contaminación ambiental y fuente de nuevas infecciones [9]. A pesar de ello todos los residuos orgánicos urbanos tienen gran potencial para ser compostados. Los residuos de animales son ricos en fósforo y nitrógeno [10] y los residuos de cocina en carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos orgánicos [11]; todos estos compuestos beneficiosos para la fertilización de plantas. Sin embargo, el compostaje en zonas urbanas requiere de amplios espacios durante varios meses para posibilitar la degradación completa de la materia orgánica; frente a ello una solución es reducir el tiempo de compostaje para aumentar la capacidad de procesamiento.

En este artículo se presentan los resultados de una investigación que pretende llenar el vacío de conocimiento en términos de composición de residuos orgánicos urbanos, calidad del compost de residuos de mascotas (CM) y calidad de compost de residuos orgánicos (CRO) cosechado en menos de tres meses. Para ello se estudió el efecto de un CM y CRO en la germinación del rabanito (*Raphanus sativus*) y el crecimiento del ají (*Capsicum baccatum*). Este trabajo se realizó tomando como referencia las prácticas de aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios de Lima Compost.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Procedencia y compostaje de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos y el compost se obtuvieron de Lima Compost, una empresa dedicada al compostaje de residuos orgánicos y heces de mascotas (perros y gatos); su cobertura abarca 35 distritos de la zona Centro de Lima Metropolitana y sus principales clientes son hogares, restaurantes y negocios. Lima Compost realiza el compostaje en pilas con volteo manual. Para el armado de la pila de compost se coloca una base de materia seca de 25 cm de altura, luego se agrega una capa de residuos orgánicos o de heces de mascotas mezclados con aserrín. Esta primera capa se cubre con hojarasca húmeda proveniente del tamizaje del compost; encima se agregan 20 L de microorganismos benéficos. Estas dos capas se mezclan y se cubren con materia seca. Se repite el proceso hasta llegar a la altura final. El volteo es semanal. El pH, humedad y temperatura se controlan semanalmente, tres veces a la semana y con un equipo multipa-

rámetro de medición directa en el suelo. El CRO se riega entre una a dos veces por semana y se volteo tres veces al mes. El CM se riega y se volteo una vez cada tres meses. El CRO se cosecha luego de diez semanas y el CM después de cinco meses.

B. Composición de residuos orgánicos

Para determinar la composición de los residuos orgánicos se realizó un muestreo tres veces en una semana (martes, jueves y sábado) en dos momentos del año: noviembre y febrero. Cada muestra consistió de cinco baldes (50 kg en total) de residuos sin procesar. La muestra se mezcló para homogenizar y, con el método del cuarteo (fig. 1), se seleccionó una muestra de 10 kg.



Fig. 1. Cuarteo de residuos orgánicos

C. Caracterización de la calidad del compost

Aunque el compost es un abono orgánico de amplio uso y comercialización, no todos los países cuentan con una norma que establezca parámetros mínimos de calidad. En América Latina solamente Argentina, Chile, Colombia y México cuentan con pautas oficiales de calidad del compost. Estos estándares están basados en los de Estados Unidos y la Comisión Europea [12]. Los parámetros de calidad considerados para caracterizar el compost se tomaron de estas normas, resumidas en la tabla 1.

En la tabla 2 se indican los parámetros de calidad evaluados y las metodologías utilizadas.

TABLA I
PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD DEL COMPOST

País	Argentina	Chile	Colombia	México	EEUU	Comisión Europea
Año de emisión	2018	2004	2011	2018	1990	2022
Número	Resolución Conjunta 1/2019	Norma Chilena Oficial Nch2880.Of2004	NTC-5167	NMX-AA-180-SCFI-2018	–	2022/1244/CE
Organización normativa	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria	Instituto Nacional de Normalización	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación	Dirección General de Normas	US Composting Council	Comisión Europea
Olores	No debe presentar olores desagradables	Sin olores desagradables	–	Agradable a tierra húmeda de bosque	–	–
Tamaño de partícula	≤16mm	≤16mm	–	≤30mm	< 76.2mm	–
Humedad	< 60 %	30-45 % BH	20-35 %	40 – 50 %	30-60 %	< 33 (% BS)
CE en dS/m, dilución 1:5	(A/B)* <4/<6	(A/B)* <3/≤8	–	0.5 - 12	<4	–
C/N total	(A/B)* ≤20/≤30	(A/B)* ≤25/≤30	–	15 - 25	–	–
pH	5 – 8.5	5 – 8.5	4-9	6.7 – 8.5	6 – 7.5	–
Materia inerte (impurezas)	Plásticos flexibles o películas, piedras, terrones: de tamaño > a 4mm ≤ a 5 % masa en BS). Vidrio, metales, caucho, plásticos rígidos: de tamaño > a 2mm (≤ 0.5 % masa en BS)	Plásticos flexibles o películas, piedras, terrones: de tamaño > a 4mm (≤ a 5 % masa en BS). Vidrio, metales, caucho, plásticos rígidos: de tamaño > a 2mm (≤0.5 % masa en BS)	Plástico, metal caucho > 2mm: <0.2 % BS. Vidrio > 2mm: <0.02 % BS. Piedras > 5mm: <2 % BS. Vidrio >16mm: no detección	–	Metales + vidrio + plásticos <1 % BS	Vidrio y metales: > a 2mm, tiene que ser ≤ a 0.3 % BS. Plástico: > a 2mm, tiene que ser ≤ a 0.25 % BS. Plástico + Vidrio + metales: > a 2mm, tiene que ser ≤ a 0.5 % BS
Densidad aparente	–	≤700 kg/m ³	0.6 g/cm ³	12 - 16 g/cm ³	–	–
Materia orgánica	≥ 20 %	≥ 20 %	≥ 15 %	≥ 20 %	> 500 %	≥ 15 %
Contenido de nutrientes	–	≥ 0.5 % N total en BS	>1 % (c/u) de N total, P ₂ O ₅ , Ca, Mg y K	N, P, K (% BS) entre 1–3 % en cualquiera de ellos	N total 1.12 % BS, P ₂ O ₅ 0.21 % BS, K ₂ O ₅ 0.50 % BS, Ca 3.64 % BS, Mg 0.89 % BS	–
Estabilidad	Grupo 1: <10 g/kg, CSA/N total ≤ 0.7 Grupo 2: Producción de CO ₂ : < 120mg CO ₂ /kg.h, Test Solvita ≥ 5 para CO ₂ , IRE ≤ 0.5 mgO ₂ /g MO.h, IRD ≤ 1 mgO ₂ /g MO.h	Grupo 1: Respiración del suelo ≤ a 8 mg de C-CO ₂ /g de MO/día, Absorción de O ₂ ≤ 3.5 mg de O ₂ /gr MO/día, Autocalentamiento ≤ a 20°C Grupo 2: Relación amonio/nitrato ≤ 3, Concentración de amonio ≤ 500 mg/kg, Contenido de ácidos orgánicos volátiles ≤ 300 mg/kg	–	–	SOUR <3 mg O ₂ /g MO/d, Tasa de evolución de CO ₂ <2 mg CO ₂ -C/gr MO/d,	Índice respirométrico máximo 15 mmol de O ₂ /kg de materia orgánica/h Grado Rottegrad mínimo, en su caso IV
Madurez	Amonio <400 mg N-NH ₄ /kg, relación amonio:nitrato (N-NH ₄ +/N-NO ₃) <0.3; Test Solvita ≥ 4 para NH ₃	–	–	–	Test de Solvita 7-8 para CO ₂ , ≥ 4 para NH ₃ NH ₄ (mg/kg BS) <500; Relación NH ₄ -N:NO ₃ -N <3. Respiración del suelo ≤ 8	–

Toxicidad	Índice de germinación con dos especies >60 % (rye grass perenne o anual, tomate, rabanito, cebada, trigo, lechuga o berro (<i>Lepidium sativum</i>))	Germinación de rabanitos ≥ 80 %	–	Porcentaje de germinación ≥ 80 %	Porcentaje de emergencia, 80 % Vigor de germinación 80 %	Porcentaje de germinación > 90 %, Porcentaje de crecimiento > 90 %
Presencia de semillas viables de maleza	–	Germinación máxima de 2 propágulos de maleza por l de compost en cámara de crecimiento por 7 días	–	–	–	Semillas viables y germinación (2 semillas por litro)
Límite máximo de metales pesados (mg/kg BS)	(A/B)* As (15/30), Cd (1.5/3), Cr total (100/270), Cu (150/450), Hg (0.7/5), Ni (30/120), Pb (100/150)	(A/B)* As (15/20), Cd (2/8), Cr(120/600), Cu(100/1000), Hg(1/4), Ni(20/80), Pb(100/300), Zn(200/2000)	As (41), Cd (39), Cr (200), Hg (17), Pb (300)	–	As (41), Cd (39), Cr (1200), Cu (1500), Hg (17), Ni (420), Pb (300), Mo (75), Zn (2800), Se (36)	As inorgánico (10), Cd (1), Cr total (100), Cu (200), Hg (0.45), Ni (40), Pb (100), Zn (300)
Requisitos microbiológicos	Coliformes fecales: <1000 NMP/gr BS, Salmonella sp.: <1 NMP/4gr BS, Ascaris lumbricoides <1 huevo viable en 4gr BS	Coliformes: < a 1000 NMP, Salmonella: 3 NMP en 4gr BS, huevos de helmintos viables: 1 en 4gr BS	Salmonella: ausente en 25 gr, enterobacterias: < 1000 UFC/gr, ausencia de <i>Fusarium sp</i> ; <i>Botrytis sp</i> ; <i>Rhizoctonia sp</i> ; <i>Phytophthora sp.</i> y de nemátodos fitopatógenos	–	Coliformes: < a 1000 NMP, Salmonella sp.: 3 NMP en 4gr BS	<i>Salmonella spp.</i> : ausencia en 25 gr o 25 ml, <i>Escherichia coli</i> o <i>Enterococcaceae</i> 1000 UFC en 1g o 1 ml

*: Compost Clase A y Clase B

BS: Base Seca, CE: Conductividad Eléctrica, CSA: Carbono Soluble en Agua, IRE: Índice Respirométrico Estático, IRD: Índice Respirométrico Dinámico, NMP: Número más Probable, MO: Materia Orgánica, SOUR: Tasa de Respiración Específica, UFC: Unidades Formadoras de Colonia.

TABLA II
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

Parámetro	Método
pH	Determinación en pasta saturada con potenciometría
Conductividad eléctrica	Medición indirecta del contenido de sales solubles en extracto acuoso de la pasta saturada en relación 1:5
Materia orgánica	Determinación del carbono orgánico con el método de Walkley y Black
Nitrógeno	Método de Kjeldahl
Fósforo	Método del azul de molibdeno
Potasio, calcio, magnesio y sodio	Espectrofotometría de absorción atómica
Carbono orgánico	Método de Walkley y Black
Humedad	Diferencia de peso y gravimetría

Los ensayos se ejecutaron con un diseño de cuatro tratamientos y un control (tabla 3). Cada tratamiento tuvo un porcentaje diferente de compost, el resto se completó con el sustrato usado para el control. Cada tratamiento y control tuvo cuatro repeticiones y cada repetición se compuso de cinco unidades. Se usaron bandejas de germinación de 200 celdas y en cada celda se sembraron dos semillas. Los tratamientos, repeticiones y unidades se dispusieron de manera aleatoria en cada bandeja. El control consistió en una mezcla de tierra preparada que contiene musgo, tierra vegetal, tierra de chacra y fertilizantes sintéticos.

TABLA III
TRATAMIENTOS PARA ENSAYOS DE GERMINACIÓN

Tratamiento	Descripción
CRO 100 %	100 % CRO
CRO 75 %	75 % CRO + 25 % tierra preparada
CRO 50 %	50 % CRO + 50 % tierra preparada
CRO 25 %	25 % CRO + 75 % tierra preparada
CM 100 %	100 % CM
CM 75 %	75 % CM + 25 % tierra preparada
CM 50 %	50 % CM + 50 % tierra preparada
CM 25 %	25 % CM + 75 % tierra preparada
Control	100 % tierra preparada

D. Efecto del compost en la germinación y crecimiento de plántulas de rabanito

Todos los ensayos se realizaron en la planta de compostaje de Lima Compost. Los ensayos de germinación se utilizaron como indicadores de la madurez y estabilidad del compost. Estos ensa-

Las semillas se regaron con agua tres veces por semana, no se añadió ningún fertilizante. El ensayo duró catorce días, la germinación y emergencia se registraron cada dos días. La semilla germinada se contabilizó cuando ambos cotiledones estuvieron visibles. Al término del ensayo se tomaron muestras de cada tratamiento para medir la altura de las plántulas (fig. 2).



Fig. 2. Muestreo y medición de altura de plántulas de rabanito

Como indicadores de germinación se determinó el porcentaje de germinación (%G), índice de emergencia (IE) [13], germinación relativa (GR) [14], tasa de germinación (TG) [15] y coeficiente de velocidad de germinación (CVG) [16]. A continuación, se describen las ecuaciones usadas para el cálculo de cada indicador.

$$\%G = \left(\frac{\text{Nro de semillas germinadas}}{\text{Nro total de semillas}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$IE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{PG_i}{T_i} \right) \quad (2)$$

$$GR = \left(\frac{\text{Nro total de semillas germinadas (muestra)}}{\text{Nro total de semillas germinadas (control)}} \right) \quad (3)$$

$$TG = \frac{1}{t_{50}} \quad (4)$$

$$CVG = \frac{\sum N_i}{\sum T_i N_i} \quad (5)$$

Donde PG_i es el porcentaje de semillas germinadas en el día i , y T_i es el número de días desde la siembra, t_{50} el tiempo para la germinación del 50 % de semillas y N_i es el número de semillas germinadas.

E. Evaluación del efecto del compost en el crecimiento del ají

Antes de la siembra el ají se germinó en una bandeja y tuvo una frecuencia de riego de tres veces por semana. Luego de la

germinación las plántulas se trasplantaron a bolsas de vivero. Se diseñaron tres tratamientos para el CRO y tres para el CM. El compost se mezcló con tierra preparada a diferentes porcentajes; el control consistió solamente de tierra de preparada; los tratamientos se resumen en la tabla 4. Cada tratamiento y control tuvo tres repeticiones y cada repetición se compuso de cuatro unidades. El manejo del cultivo fue a pleno sol, con riego cada dos días interdiario y revisiones periódicas para prevenir la aparición de plagas y enfermedades, no se agregó ningún fertilizante. El crecimiento se evaluó durante nueve semanas.

TABLA IV
TRATAMIENTOS PARA ENSAYOS DE CRECIMIENTO DE AJÍ

Tratamiento	Descripción
CRO 40 %	40 % CRO + 60 % tierra preparada
CRO 25 %	25 % CRO + 75 % tierra preparada
CRO 10 %	10 % CRO + 90 % tierra preparada
CM 40 %	40 % CM + 60 % tierra preparada
CM 25 %	25 % CM + 75 % tierra preparada
CM 10 %	10 % CM + 90 % tierra preparada
Control	100 % tierra preparada

F. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS. La diferencia entre tratamientos y semanas se evaluó con la prueba de Anova de un solo factor para un $p < 0.05$.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Composición de los residuos orgánicos domiciliarios

En la fig. 3 se muestran las fracciones de los residuos orgánicos recolectados por Lima Compost. Los restos de verduras y frutas suman 87 %.

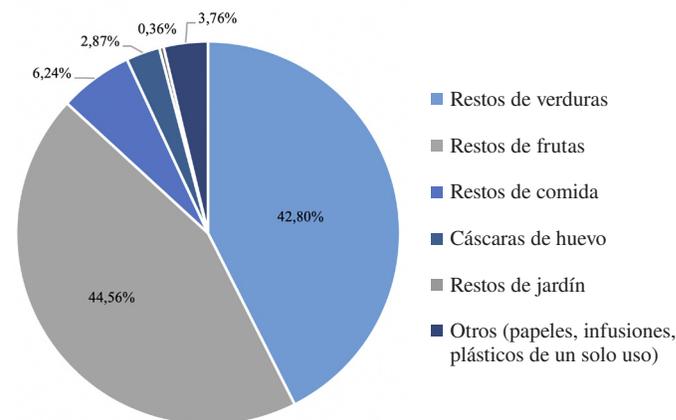


Fig. 3. Composición de residuos orgánicos utilizados para el compostaje

B. Monitoreo del compost

En la fig. 4 se resume el registro de temperatura y pH del CRO y CM. La temperatura del CRO inicia en 60°C, con un descenso progresivo con el paso de los días hasta una temperatura final alrededor de 40°C. El CM inicia alrededor de 30°C, con

aumentos y disminuciones durante los días evaluados, terminando en 55°C. El pH del CRO inicia algo más ácido (3.2) que el CM (4); en ambos casos el pH tiene grandes fluctuaciones durante el compostaje, para estabilizarse a un pH neutro de 7.6 al terminar el proceso.

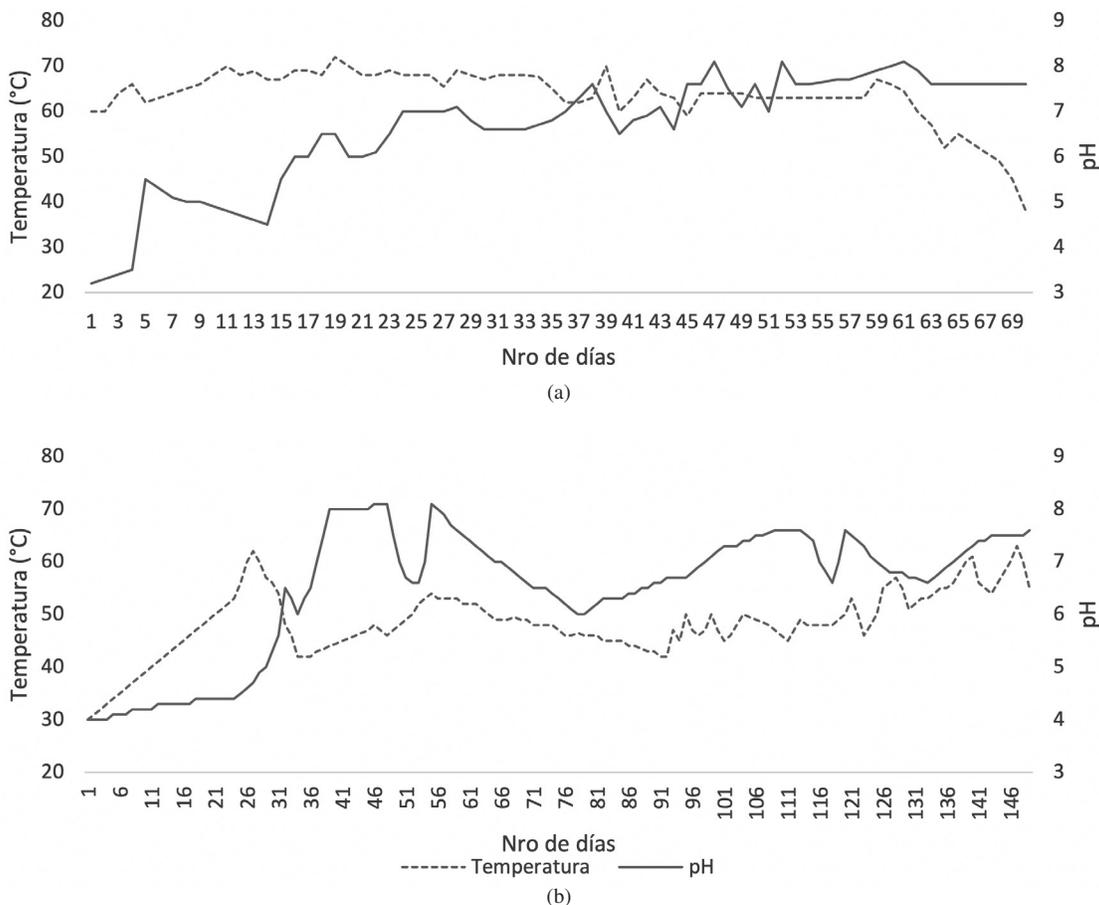


Fig. 4. Monitoreo de la temperatura y pH del CRO (a) y CM (b)

C. Calidad del compost

La tabla 5 detalla los parámetros de calidad del CRO y CM. Ambos abonos cumplen con los parámetros, salvo en el porcentaje de germinación; y, en el caso del CM, este excede ligeramente (1100 NMP/g) el máximo recomendado de coliformes totales (1000 NMP/g). La madurez del compost es un parámetro de calidad relacionado con el crecimiento de las plantas y la estabilidad representa la resistencia adicional a la putrefacción microbiana de la materia orgánica restante [15]. La presencia de compuestos fitotóxicos, bajas dosis de oxígeno o poco nitrógeno disponible en un compost inmaduro o inestable, puede tener efectos perjudiciales para el suelo, la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas [17]. El bajo porcentaje de germinación (18 % para CRO y 10 % para CM) indica que el compost no está maduro y posiblemente contenga compuestos fitotóxicos. A pesar de ello, los resultados de germinación (tabla 6) indican que su uso es seguro a concentraciones menores.

En comparación con el CRO (60.22 %), el CM (38.03 %) tiene menor porcentaje de materia orgánica y ligeramente mayor

concentración de metales pesados. La relación C/N es menor en el CM debido a que la materia prima es rica en nitrógeno; sin embargo, ambos valores se encuentran dentro del rango recomendado (12-25 %) para el cultivo de hortalizas [18] y por debajo del rango considerado tóxico para las plantas (30-40 %) [19].

TABLA V
PARÁMETROS DE CALIDAD DEL COMPOST

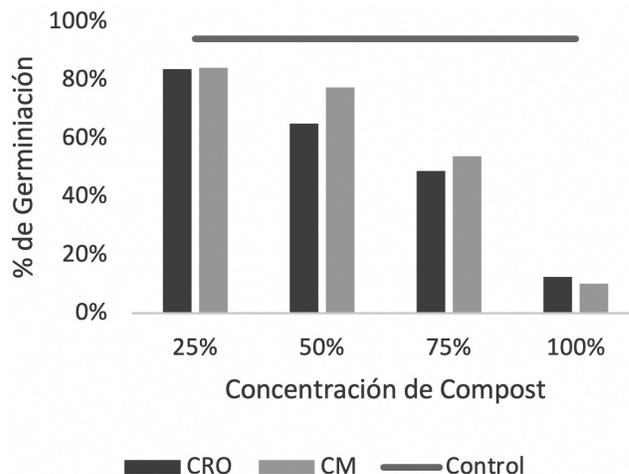
Parámetros	CRO	CM
Olores	Sin olores desagradables	Sin olores desagradables
Tamaño de partícula	<10mm	<10mm
pH	7.77	6.86
% Materia orgánica	60.22	38.03
C/N total	19.87	11.86
Conductividad eléctrica (dS/m)	5.97	6.08

Madurez		
% de germinación	18 %	10 %
Nutrientes		
% N	1	1.86
% P ₂ O ₅	0.75	1.89
% K ₂ O	0.67	1.70
% CaO	4.77	7.08
% Na	0.41	0.45
% MgO	0.8	0.96
Metales pesados		
As (mg/g)	4	4
Cd (mg/g)	0.3	0.42
Cr (mg/g)	4	7
Cu (mg/g)	17	29.3
Hg (mg/g)	0.06	0.12
Mo (mg/g)	0.76	-
Ni (mg/g)	2.9	4.5
Pb (mg/g)	5.6	22.3
Se (mg/g)	<1	-
Zn (mg/g)	58	207
Coliformes totales (NMP/g)	460	1100
Coliformes fecales (NMP/g)	-	93
Escherichia coli (NMP/g)	-	9
Salmonella sp. (en 25g)	Ausencia	Ausencia
Huevos de helmintos (en 5g)	Ausencia	-
Enterobacterias UFC/g	440	-

D. Efecto del compost en la germinación y crecimiento de plántulas de rabanito

La tabla 6 y la fig. 5 resumen los resultados del ensayo de germinación. Los datos indican que la germinación de las semillas depende, y está afectada de manera significativa, de la proporción de compost en el sustrato. Se observa que los valores más altos de los indicadores de germinación ocurrieron

a una concentración de 25 % de CRO y CM, y fueron mayores para el CRO respecto al CM. Un porcentaje de germinación mayor al 50 % es indicador de un abono adecuado para el cultivo de vegetales [20], siguiendo esta recomendación tanto el CRO como el CM pueden usarse a una concentración del 75 %, aunque la recomendada sería el 25 %. Otros autores [21] encontraron resultados similares al estudiar la germinación del tomate en un compost hecho con residuos de tomate, al aumentar la concentración del compost disminuyó el porcentaje de germinación. Sánchez-Monedero et al. [22] también reportan resultados similares. El porcentaje de germinación más alto ocurrió con el sustrato sin compost. En los resultados se aprecia que el aumento del compost en el medio de germinación redujo la emergencia de semillas y, en consecuencia, disminuyó la tasa de emergencia. Estos resultados pueden tener relación con el pH y conductividad eléctrica del compost. Al aumentar la cantidad de compost en el sustrato aumenta la conductividad eléctrica, lo que reduce la retención de agua [23]. El resultado de estas interacciones es un menor porcentaje de germinación como se encontró en este y en otros estudios [20].



Nota: no se encontró diferencia significativa entre tratamientos (p < 0.05)

Fig. 5. Efecto del compost en la germinación del rabanito

TABLA VI
EFECTO DEL COMPOST EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE RABANITO

Indicador	Control	Compost	25 %	50 %	75 %	100 %
IE	0.15**	CRO	0.14**	0.09**	0.06**	0.01**
		CM	0.06**	0.07**	0.04**	0.01**
GR	-	CRO	0.89	0.69	0.52	0.13
		CM	1.02	0.94	0.65	0.12
TG	0.20**	CRO	0.20	0.14	0.14	0.11
		CM	0.14	0.14	0.11	0.09
CVG	15.59**	CRO	15.69**	13.68**	12.70**	10.64**
		CM	12.63**	11.98**	10.22**	9.68**
Altura (cm)	9.9 ± 2.02	CRO	10.7 ± 0.75	6.2 ± 1.85	6.0 ± 1.41	2.5 ± 1.18
		CM	9.1 ± 0.94	9 ± 0.96	7.3 ± 2.30	7.6 ± 1.58

Nota: los asteriscos indican la diferencia significativa entre tratamientos (** p < 0.01)

E. Efecto del compost en el crecimiento del ají

En la fig. 6 se observa el efecto de los tratamientos de CRO y CM en el crecimiento del ají. Solamente en la semana uno la diferencia entre los tratamientos no fue significativa, a partir de la semana dos los tratamientos fueron diferentes entre sí. Debido a la condición aún inmadura del CRO y CM el tratamiento con 40 % de compost, en ambos casos, presentaron las menores alturas de crecimiento. El control finalizó con la mayor altura promedio de crecimiento (13.88 cm), seguido de las plantas con CRO al 10% (13.22 cm) y con CM al 25 % (11.50 cm).

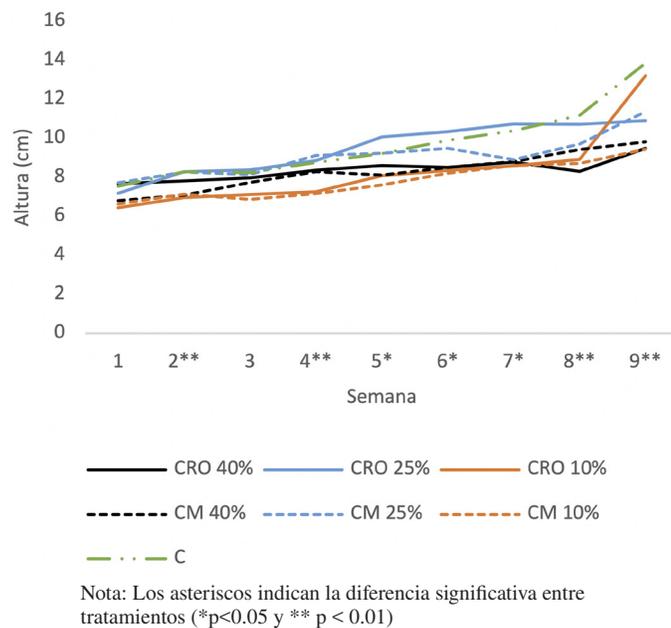


Fig. 6. Efecto del CRO y CM en el crecimiento del ají

V. CONCLUSIONES

El compostaje es una alternativa económica y sencilla para la recuperación de residuos orgánicos. En este estudio se evaluó la composición de los residuos orgánicos, la calidad del CRO y CM y su efecto en la germinación del rabanito y el crecimiento del ají. La fracción de restos de verduras y frutas representa el 87 % de los residuos orgánicos. Ambos abonos se encuentran dentro de los parámetros de calidad del compost. La excepción es el indicador de toxicidad, el porcentaje de germinación del CRO (18 %) y del CM (10%) no alcanzó el mínimo sugerido (80 %), esto debido al poco tiempo de compostaje; y en el caso del CM excedió ligeramente (1100 NMP/g) el máximo recomendado de coliformes totales (1000 NMP/g). Los ensayos de germinación en rabanito indican una relación inversa entre el porcentaje de compost en el sustrato y el porcentaje de germinación. En los ensayos de crecimiento el control finalizó con la mayor altura (13.88 cm) seguido de los tratamientos de CRO al 10 % (13.22 cm) y CM al 25 % (11.50 cm).

Con base en los resultados obtenidos, se hacen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones. En primer lugar, es importante tener en cuenta que el compost se encuentra en un estado de inmadurez. Por lo tanto, se recomienda realizar análisis

físico-químicos de las mezclas seleccionadas de compost para comprender su calidad y comportamiento y optimizar su aplicación en la producción de hortalizas. Asimismo, se resalta la importancia de considerar la variación de los porcentajes de los abonos utilizados para reducir los niveles de pH y conductividad eléctrica. Mantener un pH adecuado y una C.E equilibrada en el suelo es fundamental para garantizar la disponibilidad de nutrientes, fomentar la actividad microbiana beneficiosa, facilitar el transporte de nutrientes, entre otros. Además, se sugiere considerar otros parámetros a medir en futuras investigaciones, como la producción y el tamaño de las hortalizas. Por último, se recomienda realizar análisis microbiológicos de los productos finales para garantizar su inocuidad y calidad fitosanitaria.

REFERENCES

- [1] I. R. Abubakar *et al.*, "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 19, p. 12717, Oct. 2022, doi: 10.3390/ijerph191912717.
- [2] OECD, "OECD Environmental Indicators. Development, Measurement and Use," *OECD Environment Directorate*, 2021. <https://www.oecd.org/env/> (accessed Dec. 26, 2022).
- [3] Banco Mundial, "Solid Waste Management," *Banco Mundial*, 2018. <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management> (accessed Dec. 26, 2022).
- [4] UN-Habitat, "Solid Waste Management in The World's Cities: Water and Sanitation in the World's Cities 2010," London, 2010.
- [5] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, y F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, D.C: The World Bank, 2018. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0.
- [6] K. W. Chew, S. R. Chia, H. Yen, S. Nomanbhay, Y. Ho, y P. L. Show, "Transformation of Biomass Waste into Sustainable Organic Fertilizers," *Sustainability*, vol. 11, no. 8, p. 2266, Apr. 2019, doi: 10.3390/sul1082266.
- [7] S. K. Awasthi *et al.*, "Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities," *Bioresour Technol*, vol. 299, p. 122555, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2019.122555.
- [8] E. Martínez-Sabater *et al.*, "Comprehensive management of dog faeces: Composting versus anaerobic digestion," *J Environ Manage*, vol. 250, p. 109437, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109437.
- [9] C. Tamponi *et al.*, "Environmental Contamination by Dog Feces in Touristic Areas of Italy: Parasitological Aspects and Zoonotic Hazards," *Am J Trop Med Hyg*, vol. 103, no. 3, pp. 1143–1149, Sep. 2020, doi: 10.4269/ajtmh.20-0169.
- [10] Z. Guo *et al.*, "Does animal manure application improve soil aggregation? Insights from nine long-term fertilization experiments," *Science of The Total Environment*, vol. 660, pp. 1029–1037, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.051.
- [11] K. W. Chew, S. R. Chia, P. L. Show, T. C. Ling, S. S. Arya, y J.-S. Chang, "Food waste compost as an organic nutrient source for the cultivation of *Chlorella vulgaris*," *Bioresour Technol*, vol. 267, pp. 356–362, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.07.069.
- [12] P. Román, M. M. Martínez, y A. Pantoja, "Manual de compostaje del agricultor," Santiago de Chile, 2013. ISBN: 978-92-5-307845-5
- [13] L. Huang, P. Yu, y M. Gu, "Evaluation of Biochar and Compost Mixes as Substitutes to a Commercial Propagation Mix," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 20, p. 4394, Oct. 2019, doi: 10.3390/app9204394.
- [14] Y. Luo *et al.*, "Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects," *Waste Management*, vol. 71, pp. 109–114, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2017.09.023.
- [15] P. Mazumder, M. Khwairakpam, y A. S. Kalamdhad, "Bio-inherent attributes of water hyacinth procured from contaminated water body—effect of its compost on seed germination and radicle growth," *J Environ Manage*, vol. 257, p. 109990, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109990.
- [16] P. Sadeghianfar, M. Nazari, y G. Backes, "Exposure to Ultraviolet (UV-C) Radiation Increases Germination Rate of Maize (*Zea mays* L.) and

- Sugar Beet (*Beta vulgaris*) Seeds,” *Plants*, vol. 8, no. 2, p. 49, Feb. 2019, doi: 10.3390/plants8020049.
- [17] G. Wang, Y. Yang, Y. Kong, R. Ma, J. Yuan, y G. Li, “Key factors affecting seed germination in phytotoxicity tests during sheep manure composting with carbon additives,” *J Hazard Mater*, vol. 421, p. 126809, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126809.
- [18] V.-T. Nguyen *et al.*, “Effects of C/N ratios and turning frequencies on the composting process of food waste and dry leaves,” *Bioresour Technol Rep*, vol. 11, p. 100527, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.biteb.2020.100527.
- [19] N. Tzortzakis, S. Gouma, C. Paterakis, y T. Manios, “Deployment of Municipal Solid Wastes as a Substitute Growing Medium Component in Marigold and Basil Seedlings Production,” *The Scientific World Journal*, vol. 2012, pp. 1–6, 2012, doi: 10.1100/2012/285874.
- [20] H. Abdel-Razzak, F. Alkokaik, M. Rashwan, R. Fulleros, y M. Ibrahim, “Tomato waste compost as an alternative substrate to peat moss for the production of vegetable seedlings,” *J Plant Nutr*, vol. 42, no. 3, pp. 287–295, Feb. 2019, doi: 10.1080/01904167.2018.1554682.
- [21] A. M. A. Mahmoud, M. M. I. Afifi, y M. A. El-Helaly, “Production of Organic Tomato Transplants by Using Compost as Alternative Substrate for Peat-Moss,” *Am Eurasian J Agric Environ Sci*, vol. 14, pp. 1095–1104, 2014, doi: 10.5829/idosi.aejaes.2014.14.10.12431.
- [22] M. A. Sánchez-Monedero *et al.*, “Composts as Media Constituents for Vegetable Transplant Production,” *Compost Sci Util*, vol. 12, no. 2, pp. 161–168, Mar. 2004, doi: 10.1080/1065657X.2004.10702175.
- [23] M. Gondek, D. C. Weindorf, C. Thiel, y G. Kleinheinz, “Soluble Salts in Compost and Their Effects on Soil and Plants: A Review,” *Compost Sci Util*, vol. 28, no. 2, pp. 59–75, Apr. 2020, doi: 10.1080/1065657X.2020.1772906.