

Optimización del proceso de compostaje con la pulpa de café en el anexo Unión Pucusani (Chanchamayo - Junín)

Optimization of the composting process with coffee pulp in the annex Unión Pucusani (Chanchamayo - Junín)

Rocio Bustinza¹, Luis Gomero^{1*}

RESUMEN

La pulpa de café es el principal residuo poscosecha del cultivo de café que, al no tener un adecuado manejo, se convierte en un contaminante que afecta al suelo, al agua y al aire. Es por ello que esta investigación tiene como objetivo optimizar el proceso de compostaje a partir de pulpa de café en el anexo Unión Pucusani, Perú, para brindar información a los agricultores de la zona sobre un manejo y aprovechamiento adecuado de sus residuos poscosecha. El ensayo experimental constó de 6 tratamientos con tres repeticiones: T₀ (pulpa), T₁ (pulpa + ceniza), T₂ (pulpa + ceniza + estiércol de cuy), T₃ (pulpa + ceniza + estiércol de cuy + inóculo de microorganismos de montaña), T₄ (pulpa + estiércol de cuy) y T₅ (pulpa + inóculo de microorganismos de montaña). Cada pila de compost fue de 2 m² y se instalaron en el fundo El Inka, donde se monitorearon semanalmente el pH y la temperatura. Finalizados los 3 meses de compostaje, se analizaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), N, K₂O, P₂O₄, CaO y MgO, y se compararon con la Nch2880.Of2004 Compost – Clasificación y requisitos. Se evidenció que la combinación de ceniza con estiércol de cuy incrementó el CaO y el MgO, que a su vez elevan el pH y la CE, mientras que solo la adición de estiércol de cuy aumentó los niveles de MO, N, K₂O y MgO.

Palabras clave: compost, estiércol, cenizas, microorganismos de montaña.

ABSTRACT

Coffee pulp is the main post-harvest residue from coffee cultivation that, due to not having proper management, becomes a contaminant that affects the soil, water and air. That is why this research aims to optimize the composting process from coffee pulp in the Unión Pucusani annex, to provide information to farmers in the area on proper management and use of their post-harvest waste. The experimental trial consisted of 6 treatments with three repetitions and they were the following: T₀ (pulp), T₁ (pulp + ash), T₂ (pulp + ash + guinea pig manure), T₃ (pulp + ash + guinea pig manure + inoculum of mountain microorganisms), T₄ (pulp + guinea pig manure) and T₅ (pulp + inoculum of mountain microorganisms). Each compost pile was 2 m² and they were installed in the "El Inka" farm where the pH and temperature were monitored weekly. At the end of the 3 months of composting, the parameters of pH, electrical conductivity (EC), Organic Matter (OM), N, K₂O, P₂O₄, CaO and MgO were analyzed and compared with the Nch2880.Of2004 Compost - Classification and requirements. It was shown that the combination of ash with guinea pig manure increased CaO and MgO, which in turn raise pH and EC, while only the addition of guinea pig manure increased the levels of MO, N, K₂O and MgO.

Keywords: compost, manure, ash, mountain microorganisms.

Introducción

El café representa el principal producto de exportación agrícola en el Perú, donde alrededor de 223 mil familias distribuidas en 15 regiones manejan 425 400 ha para su cultivo (Díaz y Carmen, 2017). Durante su producción, la pulpa de café constituye un 40% de residuo poscosecha y es uno de los mayores problemas de descarte para

los caficultores (Santos *et al.*, 2019). Debido a su gran volumen es acumulada por largos periodos a la intemperie, convirtiéndose en un medio favorable para la propagación de vectores y plagas, además de generar olores desagradables (Blandón-Castaño *et al.*, 1998). Asimismo, contiene componentes bioactivos que impactan negativamente en la flora, el plancton acuático y la fauna del suelo (Cruz *et al.*, 2015). Por otro lado, la pulpa de café posee

¹ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

* Autor de correspondencia: lgomero910@hotmail.com

un alto nivel de azúcares, una conveniente relación C:N entre 25 y 30:1, y un tamaño de partícula apropiado para el compostaje (Pierre *et al.*, 2009).

El compost con pulpa de café posee un gran contenido de macronutrientes y bacterias que pueden ser reincorporados a los cafetales (Vásquez de Díaz *et al.*, 2010). No obstante, un compost convencional requiere la adición de otros insumos que mejoren su calidad (Asquer *et al.*, 2019) como la incorporación de estiércol, que aumenta las propiedades biológicas del suelo, a la vez que aporta nutrientes (Cairo-Cairo y Álvarez-Hernández, 2017). En este sentido, se viene incorporando el estiércol de cuy, que se caracteriza por ser de alta calidad (Avilés *et al.*, 2014). También la reutilización de cenizas incrementa los niveles de Ca, Mg, K y P en el compost final brindando un efecto de encalado en los suelos ácidos (Kuba *et al.*, 2008; Asquer *et al.*, 2019). Dicha propiedad beneficiaría a los suelos de Chanchamayo, que se caracterizan por tener pH ácido y bajo contenido de nutrientes (Peralta, 2013). Además, la suma de microorganismos eficientes nativos disminuye el tiempo de compostaje e incrementa el contenido de nutrientes en el compost final (Vásquez de Díaz *et al.*, 2010), permitiendo la conservación y recuperación del ecosistema, dado el aprovechamiento de la pulpa del café.

El compostaje evita la liberación de millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono. Asimismo, contribuye a disminuir el costo de disposición final y a la minimización del impacto ambiental de los residuos orgánicos a través de abonos (Chávez y Rodríguez, 2016). La investigación tiene como objetivo optimizar el proceso de compostaje a partir de pulpa de café en el anexo Unión Pucusani, para ofrecer a los agricultores de la zona un adecuado manejo y aprovechamiento de sus residuos poscosecha, retornándolos al suelo en forma de abonos para mejorar la productividad de sus cosechas. La finalidad es realizar una producción sostenible y competitiva del café, contribuyendo al desarrollo económico y social de las comunidades.

Materiales y métodos

Área de estudio

La fase de campo se llevó a cabo en el fundo El Inka (10°56'19.1"S y 74°58'29.8"W), en el anexo Unión Pucusani, a 1160 msnm, en el distrito de

Perené, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, Perú.

Instalación del ensayo

En un área de 108 m² se procedió a cubrir el techo con calaminas y se instalaron drenes de alrededor de 0,4 m de profundidad. También se cubrieron sus lados con malla raschel y se trazaron 18 parcelas de 2 m², con un distanciamiento de 0,70 m.

Material biológico

Se procedió a coleccionar cenizas (45 kg), estiércol de cuy (270 kg) y pulpa de café (2988 kg), producto del despulpado de café de los fundos aledaños a la zona de estudio e inóculo de microorganismos de montaña luego de la fase líquida (108 L).

Reproducción y activación de microorganismos de montaña

Para la reproducción de microorganismos de montaña (MM) se adaptó la metodología descrita por Suchini (2012). Primero, para la fase sólida, se coleccionaron 50 kg de hojarasca en descomposición y tierra de bosque en costales. Luego se mezclaron con 30 kg de afrecho en un tendal con ayuda de palas. Por otro lado, se mezclaron 5 L de melaza con 3 L de leche fresca de vaca, con 1 kg de roca fosfórica en un balde de 18 L de capacidad. Después se vertió lentamente la mezcla líquida en un cilindro con capacidad de 200 L. Con un tronco se procedió a mezclar y compactar, se agregaron 12 L de agua de puquial y se cerró herméticamente el cilindro durante 28 días. Después se pasó a la fase líquida, que consistió en extraer 10 kg de la mezcla sólida y colocarla en un costal de yute dentro de otro cilindro al cual se le añadieron 8 L de melaza y 180 L de agua de puquial. Luego de 7 días, se procedió a regar con el líquido obtenido que contenía microorganismos activados, los tratamientos 3 y 5, en el día 1 y en el día 30.

Ensayo experimental

El diseño de cada pila de compost fue de 2 m². Se evaluaron seis tratamientos con tres repeticiones. Se estableció una distancia de 0.70 m donde se instalaron las siguientes proporciones de insumos:

el T₀ (control) consistió en la incorporación solo de pulpa de café (166 kg.rep⁻¹); el T₁ compuesto por pulpa de café y cenizas (5 kg.rep⁻¹), el T₂ compuesto por pulpa de café, cenizas (5 kg.rep⁻¹) y estiércol de cuy (30 kg.rep⁻¹); el T₃ compuesto por pulpa de café, cenizas (5 kg.rep⁻¹), estiércol de cuy (30 kg.rep⁻¹) e inóculo de microorganismos de montaña (18 L.rep⁻¹) al día 1 y 30 de iniciado el proceso; el T₄ compuesto por pulpa de café y estiércol de cuy (30 kg.rep⁻¹), y el T₅ compuesto por pulpa de café e inóculo de microorganismos de montaña (18 L.rep⁻¹) al día 1 y 30 de iniciado el proceso. Los trabajos de mantenimiento se realizaron semanalmente. También se evaluó la temperatura con un termómetro digital de varilla y el pH con un potenciómetro.

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Una vez finalizado el proceso de compostaje (90 días), se procedió a tamizar 1 kg de compost de cada unidad experimental, el cual fue evaluado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Los análisis fisicoquímicos fueron pH, conductividad eléctrica para la medición indirecta de las sales solubles en el extracto acuoso obtenido de la pasta saturada, materia orgánica (MO) a través de la combustión húmeda de Walkley y Black, N por método de Kjeldhal y la relación carbono-nitrógeno mediante la división del %C total entre el %N total. Para el fósforo se empleó el método de azul de molibdeno. En cuanto al K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Los análisis microbiológicos fueron coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* mediante el método de la International Commission on Microbiological Specifications for Foods (1983).

Calidad del compost

La calidad del compost se evaluó mediante la guía a los estándares dados por el Instituto Nacional de Normalización de la República de Chile en la Norma Nch2880.Of2004 Compost - Clasificación y requisitos.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos del compost resultante en los seis tratamientos con 3 repeticiones fueron sometidos a la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA), para evaluar la diferencia entre los tratamientos ($pvalue < 0,05$). Se realizó la prueba de Tukey para identificar en qué grupos se presentaba diferencia significativa. La significancia estadística se consideró un nivel de confianza del 95%. Los análisis se hicieron mediante el programa InfoStat 2020.

Resultados y discusión

Temperatura

Al inicio del armado de pilas de compost, los seis tratamientos comenzaron con una temperatura inicial entre 24 °C y 26 °C (Figura 1). En la semana 1, el T₄ presentó un incremento de la temperatura hasta llegar a los 36,27 °C, el T₂ alcanzó a 31,33 °C, mientras que el T₃ registró 27,9 °C. Los tratamientos T₅, T₀ y T₁ presentaron un descenso de la temperatura

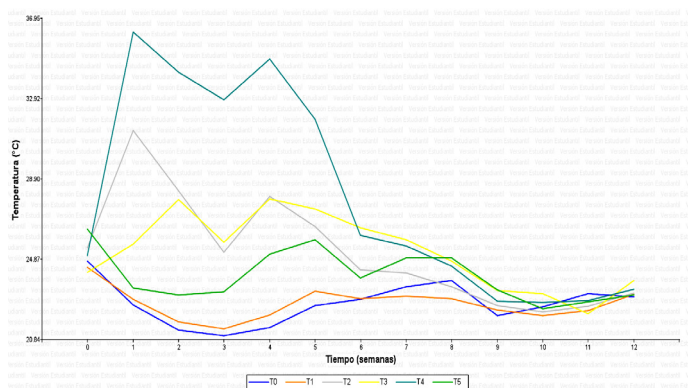


Figura 1. Evolución de la temperatura semanal de los seis tratamientos.

entre 21 °C y 22 °C. A partir de la semana nueve, los seis tratamientos comenzaron a registrar una temperatura constante y similar a la temperatura ambiente hasta finalizar el periodo de compostaje.

Pierre *et al.* (2009) reportan que la temperatura promedio del lugar (22 °C) pudo haber influido en las bajas temperaturas alcanzadas en el proceso de compostaje. Otro factor importante es el volumen de la pila de compost (Tang *et al.*, 2004). Así, los tratamientos que presentaron un mayor volumen alcanzaron una mayor temperatura, mientras que el T₀, T₁ y T₅ que tuvieron un menor volumen registraron una caída en la temperatura. Además, se observa un efecto del estiércol de cuy que aumenta la temperatura en la primera semana, lo cual pudo deberse a que contiene microorganismos que aceleran la descomposición incrementando la temperatura y eliminando los microorganismos patógenos, como lo señalan Bernal *et al.* (2009). Esto se vio reflejado en los parámetros biológicos de la investigación, donde solo el T₃ y T₄ cumplen el requisito sanitario de la NCH2880.

De acuerdo a los diagramas de cajas (Figura 2), se observa que en las semanas 0, 10, 11 y 12 existe una distribución homogénea de los datos, mientras que en la semana 3 se presenta un descenso de la temperatura promedio y se evidencia un valor atípico (32,87 °C).

pH

Al inicio del ensayo el pH en los diferentes tratamientos fue superior a 7, pero a partir de la semana 2 se observó un incremento significativo

hasta alcanzar valores cercanos a 10. Las cenizas favorecen el aumento del pH como se evidencia en los tratamientos 1 y 2 al inicio del ensayo (Tabla 1) (Asquer *et al.*, 2019). No obstante, el T₀ obtuvo valores de 10,27, por lo que se infiere que la pulpa ya era alcalina, como lo reportaron Blandón-Castaño *et al.* (1998), quienes al analizar la pulpa fresca encontraron pH de 4,40 y al cabo de 2 meses de compostaje registraron 8,25, y añadiendo lombrices con mucílago alcanzaron pH 9,33. Esta alcalinización obtenida durante todo el proceso de compostaje puede atribuirse a la pérdida de ácidos orgánicos y la producción de amoniaco por la descomposición de proteínas (Bueno *et al.*, 2008). El T₅ fue el que presentó los menores valores de pH durante las últimas semanas de compostaje, y esto puede deberse a la actividad microbiana que tiende a acidificar el medio (Tighe-Neira *et al.*, 2014) (Figura 3).

Finalizados los tres meses de compostaje, se observa que los 6 tratamientos sobrepasan

Tabla 1. Diferencia de pH.

| Tratamientos | pH inicial | pH final | Diferencia de pH |
|----------------|------------|----------|------------------|
| T ₀ | 7,83 abc | 9,08 b | 1,25 b |
| T ₁ | 8,43 a | 9,62 a | 1,19 b |
| T ₂ | 8,23 ab | 9,66 a | 1,43 ab |
| T ₃ | 7,40 bc | 9,69 a | 2,29 a |
| T ₄ | 7,77 abc | 9,15 b | 1,38 b |
| T ₅ | 7,17 c | 8,86 b | 1,69 ab |

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p < 0,05).

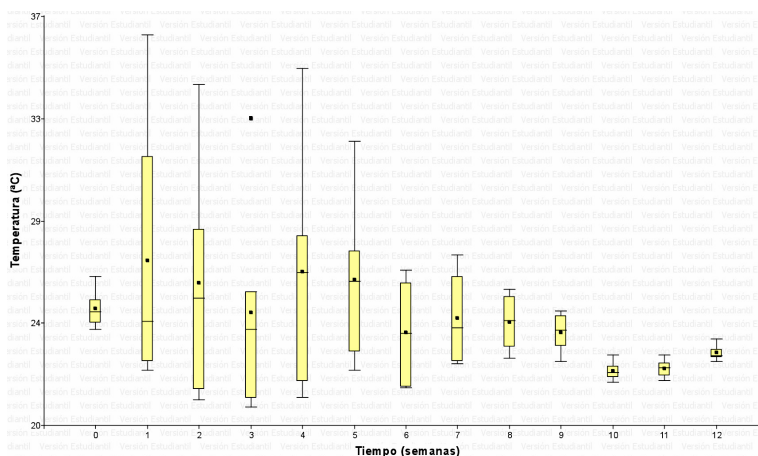


Figura 2. Diagramas de cajas para las distribuciones de las temperaturas semanales.

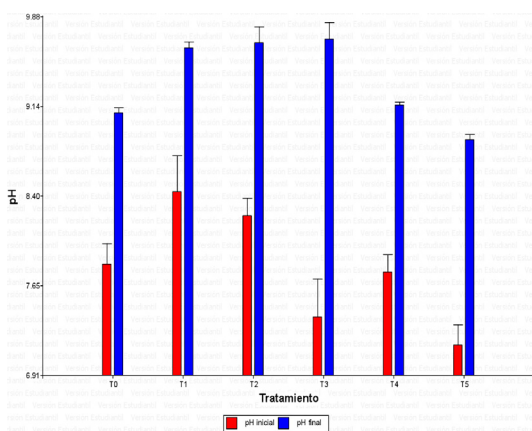


Figura 3. pH inicial y pH final.

el estándar de 8,5 indicado en la NCH2880. Asimismo, se evidenció que aquellos tratamientos que contenían cenizas y estiércol de cuy (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) alcanzaron los más altos valores y presentaron diferencia significativa con respecto al control y los tratamientos sin ceniza (T_0 y T_5) ($p < 0,05$). Los altos niveles de pH pueden ser causados por la propia alcalinidad de la pulpa de café luego de 2 meses de compostaje (Blandón-Castaño *et al.*, 1998). Esto pudo deberse a la elevada actividad microbiana que genera la degradación de la materia orgánica, formando amoniaco que al solubilizarse produce amonio y eleva el pH (Sánchez-Monedero *et al.*, 2009).

Asimismo, se observa que el T_3 presentó mayor diferencia significativa respecto a los demás tratamientos y generó un mayor incremento del pH luego de los tres meses de compostaje.

Conductividad eléctrica

Los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 sobrepasan lo establecido en la NCH2880 para clase B (8 dS/m) (Tabla 2) debido a una probable combinación de cenizas y estiércol de cuy que presentaron un alto contenido de minerales y sales, como lo reportaron Altamirano y Cabrera (2006).

Esto quedó evidenciado con la alta relación entre la conductividad eléctrica (CE) y el CaO del 90%, correspondiente a una correlación de Pearson de 0,90 ($p < 0,05$) (Figura 4). Del mismo modo, existe una alta relación entre la CE y el MgO del 83%, correspondiente a una correlación de Pearson de 0,83 ($p < 0,05$) (Figura 5). Asimismo, se observó una alta relación entre el pH y el CaO del 85%, correspondiente a una correlación de Pearson del 0,85 ($p < 0,05$) (Figura 6), mientras que la relación entre el pH y el MgO fue del 55%, correspondiente a una correlación de Pearson del 0,55 ($p < 0,05$) (Figura 7). Estos resultados concuerdan con lo registrado por Kuba *et al.* (2008), quienes señalan que los principales nutrientes aportados por la ceniza son el Mg y Ca, que elevan el pH y la CE. Por lo tanto, a mayor concentración de CaO y MgO se incrementa la CE y el pH.

Porcentaje de reducción y materia orgánica

Existen diferencias significativas entre T_0 , T_1 y T_5 frente a T_2 , T_3 y T_4 ($p < 0,05$), según la prueba de ANOVA (Tabla 3). Asimismo, el T_5 alcanzó un mayor nivel de reducción de peso final, seguido del T_1 . Esta disminución se encuentra relacionada con la pérdida de la humedad y la actividad microbiana que transforman la materia orgánica a través de la mineralización y la humificación (Yáñez *et al.*, 2009), que a su vez reducen el tiempo de compostaje (Vásquez de Díaz *et al.*, 2010).

En cuanto a la materia orgánica, todos los tratamientos cumplen con lo establecido en la NCH2880 para clase A y B ($\geq 20\%$). Asimismo, se observan diferencias significativas entre el control y los tratamientos T_2 , T_3 y T_5 . Los altos valores obtenidos en los tratamientos T_0 y T_4 pueden estar relacionados con el elevado contenido de materia orgánica que aportan la pulpa de café sola y el estiércol de cuy, como lo demostraron Vásquez de Díaz *et al.* (2010). En cambio, la combinación de pulpa con cenizas y estiércol de cuy se vio reducida a 30,47%, donde se

Tabla 2. Conductividad eléctrica.

| Parámetro | Tratamientos | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
| C.E. dS/m | 7,41d | 9,38c | 15,70a | 12,77b | 11,75b | 7,85d |

Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no difieren significativamente según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

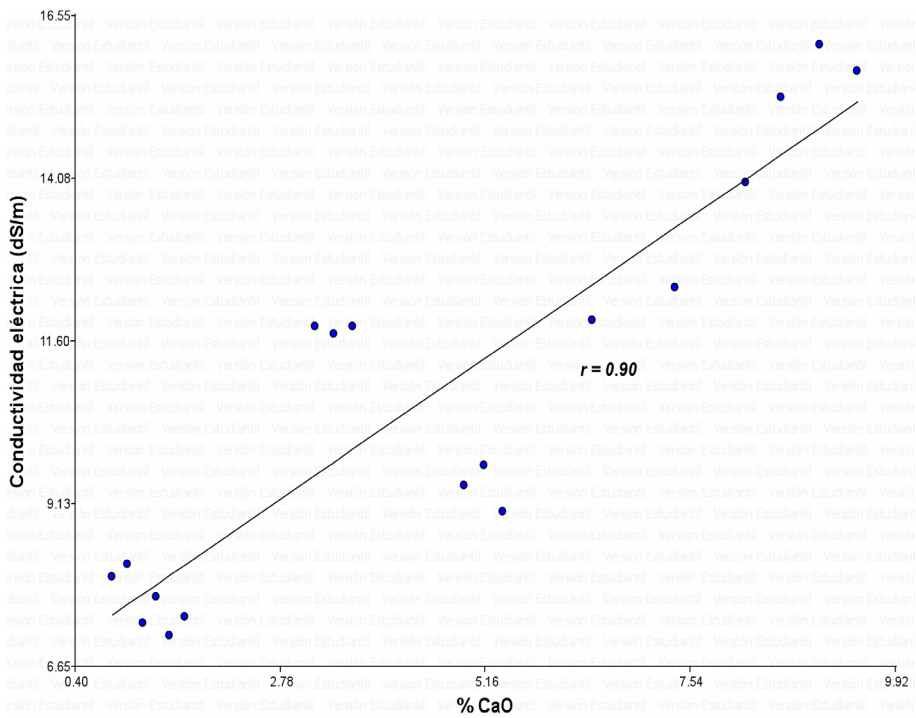


Figura 4. Relación positiva entre la CE y el %CaO.

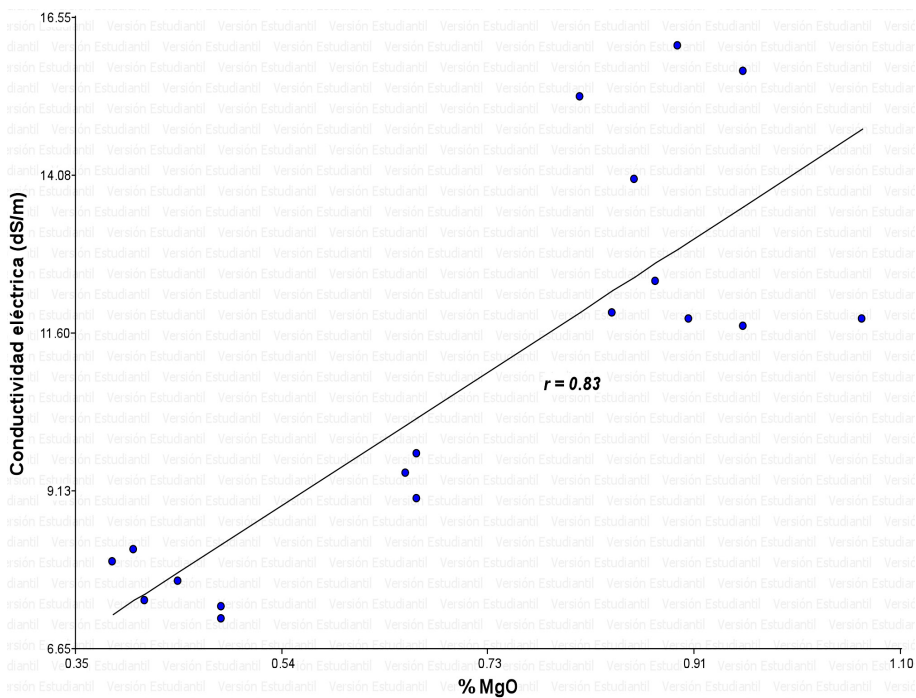


Figura 5. Relación positiva entre la CE y el %MgO.

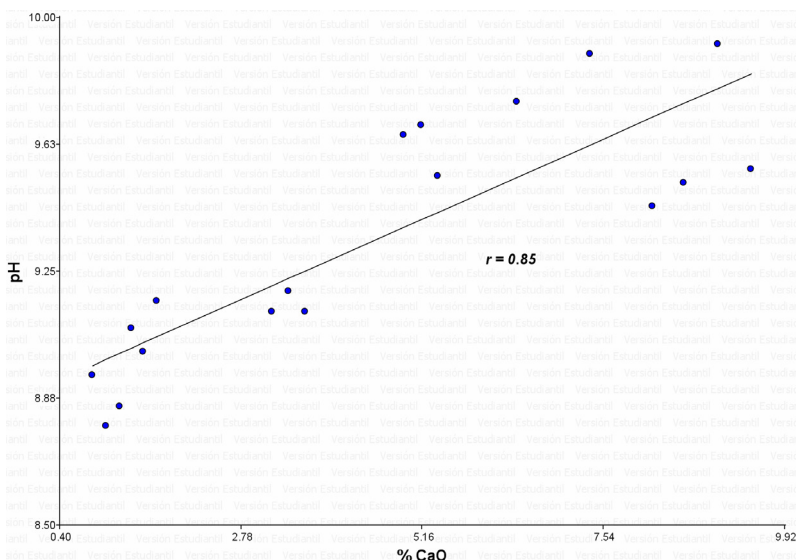


Figura 6. Relación positiva entre el pH y el %.

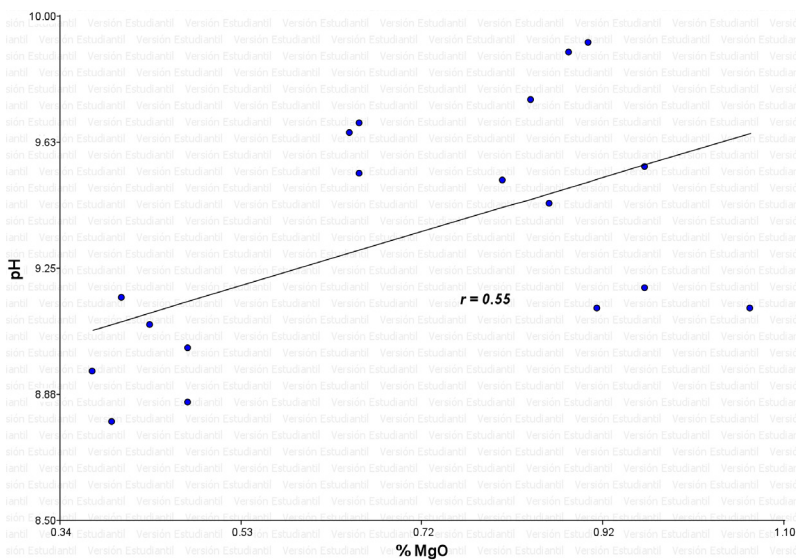


Figura 7. Relación positiva entre el pH y el % MgO.

Tabla 3. Porcentaje de reducción de masa y materia orgánica.

| Tratamientos | Pesos iniciales (kg) | Pesos finales (kg) | % de reducción | % Materia orgánica |
|----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| T ₀ | 166 | 36,75 | 77,86 a | 52,44a |
| T ₁ | 171 | 35,92 | 79,00 a | 45,74ab |
| T ₂ | 201 | 63,58 | 68,37 b | 30,47c |
| T ₃ | 219 | 67,27 | 69,28 b | 44,19b |
| T ₄ | 196 | 60,83 | 68,96 b | 52,19a |
| T ₅ | 184 | 36,43 | 80,20 a | 42,31b |

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

evidenciaría una elevada degradación biológica que produjese pérdida de materia orgánica.

Macronutrientes y relación carbono nitrógeno

Los 6 tratamientos cumplen el estándar de la NCH2880 para el nitrógeno ($\geq 0,5\%$). Estos altos valores obtenidos pueden atribuirse a que la pulpa de café sola contiene altos niveles de nitrógeno, como lo reportaron Vásquez de Díaz *et al.* (2010). Además, se observaron diferencias significativas, a través de la prueba de ANOVA, entre el tratamiento T₂ y el T₄. Este último fue el valor más alto y puede atribuirse al aporte de N del estiércol de cuy, como lo evidenciaron Altamirano y Cabrera (2006). En cuanto a la relación carbono y nitrógeno no se presentaron diferencias significativas y los seis tratamientos cumplen la NCH2880 (Tabla 4).

Según la Tabla 4, para el fósforo total se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos T₀, T₄ y T₅. El alto valor obtenido en este último puede deberse a la roca fosfórica que fue añadida en la fase sólida como medio de activación para los MM. Asimismo, Creus (2017) señaló que los microorganismos benéficos aumentarían la disponibilidad de fósforo. En cuanto al parámetro de K₂O, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el T₄ y el T₁ y T₅, evidenciándose un efecto del estiércol de cuy al incrementar este macronutriente. Así lo reportaron Paredes *et al.* (2020) al analizar la cuyinaza sola previo al compostaje.

Para el CaO el T₀ presenta diferencias significativas con T₁, T₂, T₃ y T₄ ($p < 0,05$). El T₂ fue el que obtuvo mayor contenido de CaO, lo cual se puede atribuir al efecto de las cenizas que aumentan el contenido de Cao y MgO, de acuerdo

con Kuba *et al.* (2008). El estiércol de cuy también aporta Cao y MgO, como lo demostraron Paredes *et al.* (2020) en una investigación con cuyinaza y rastrojos de maíz que alcanzaron 4,17% y 2% respectivamente.

Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), donde se encontró un 82,2% de variabilidad (Figura 8). El componente 1 explicó la mayor parte de la varianza (53,3%), dada por las variables de K₂O, MgO, pH, C.E. y CaO, presentes principalmente en el T₃, mientras que el tratamiento control T₀ está influenciado por las variables de COT, MO y relación C:N. Por otro lado, el T₄ estuvo influenciado por las variables de MO, N, K₂O y MgO.

Parámetros microbiológicos

Al comparar los resultados de la Tabla 5 con la NCH2880, en el parámetro de coliformes fecales, solo los tratamientos T₃ y T₄ cumplen los requisitos sanitarios exigidos por dicho estándar (inferiores a 1000 NMP por gramo de compost en base seca). Esto puede estar relacionado con el volumen de las pilas, la temperatura ambiente y las temperaturas máximas alcanzadas durante el compostaje. En la investigación solo se obtuvo como máximo 36,27 °C en el T₄ en la segunda semana de compostaje. En consecuencia, no se alcanzaron temperaturas superiores a 55 °C, lo que garantizaría la eliminación de patógenos (Bernal *et al.*, 2009; Tang *et al.*, 2004).

Conclusiones

El compostaje a base de pulpa de café con estiércol de cuy permite una mayor acumulación de

Tabla 4. Macronutrientes y relación carbono nitrógeno en compost finales.

| Parámetros | Tratamientos | | | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
| N % | 2,67ab | 2,45ab | 1,93b | 2,23ab | 2,86a | 2,08ab |
| P ₂ O ₅ % | 0,59d | 0,80cd | 1,02bc | 1,04bc | 1,25b | 2,47a |
| K ₂ O % | 3,84ab | 3,80b | 4,18ab | 4,28ab | 4,66a | 3,48b |
| C:N | 11,39a | 10,87a | 9,32a | 11,88a | 10,60a | 11,87a |
| CaO % | 1,51e | 5,15c | 9,05a | 7,33b | 3,41d | 1,01e |
| MgO % | 0,44c | 0,66b | 0,89a | 0,86a | 0,98a | 0,42c |

Valores seguidos de la misma letra en la misma fila no difieren significativamente según la prueba de Tukey $p < 0,05$.

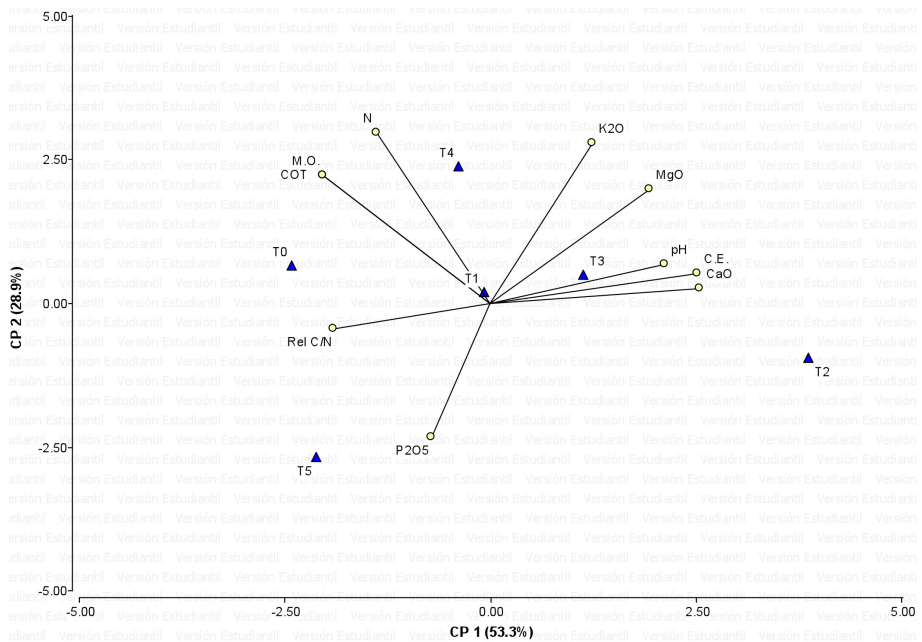


Figura 8. Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros fisicoquímicos de los compost finales.

Tabla 5. Parámetros microbiológicos.

| Parámetros microbiológicos | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Coliformes totales | >11x10 ² | 11x10 ² | >11x10 ² | 46x10 | 23 | >11x10 ² |
| Coliformes fecales | >11x10 ² | 11x10 ² | >11x10 ² | 46x10 | 23 | 11x10 ² |
| Escherichia coli | >11x10 ² | 11x10 ² | >11x10 ² | 46x10 | 23 | 11x10 ² |

Unidades de NMP/g.

Tabla 6. Comparación de resultados de análisis fisicoquímicos con la Norma Chilena NCH2880.

| Parámetros | Tratamientos | | | | | | Cumplimiento | | Límites NCH2880 | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|-----------------|----------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | Clase A | Clase B | Clase A | Clase B |
| pH | 9,08b | 9,62a | 9,66a | 9,69a | 9,15b | 8,86b | No conforme | No conforme | 5 y 8,5 | 5 y 8,5 |
| C.E. dS/m | 7,41d | 9,38c | 15,70a | 12,77b | 11,75b | 7,85d | No conforme | T ₀ y T ₅ | < 3 dS/m | ≤ 8 dS/m |
| M.O.% | 52,44a | 45,74ab | 30,47c | 44,19b | 52,19a | 42,31b | Conforme | Conforme | ≥ 20% | ≥ 20% |
| N % | 2,67ab | 2,45ab | 1,93b | 2,23ab | 2,86a | 2,08ab | Conforme | Conforme | ≥ 0,5% | ≥ 0,5% |
| P ₂ O ₅ % | 0,59d | 0,80cd | 1,02bc | 1,04bc | 1,25b | 2,47a | - | - | - | - |
| K ₂ O% | 3,84ab | 3,80b | 4,18ab | 4,28ab | 4,66a | 3,48b | - | - | - | - |
| COT | 30,42a | 26,53ab | 17,67c | 25,63b | 30,27a | 24,54b | - | - | - | - |
| RelC/N | 11,39a | 10,87a | 9,32a | 11,88a | 10,60a | 11,87a | Conforme | Conforme | ≤ 25 | ≤ 30 |
| CaO% | 1,51e | 5,15c | 9,05a | 7,33b | 3,41d | 1,01e | - | - | - | - |
| MgO% | 0,44c | 0,66b | 0,89a | 0,86a | 0,98a | 0,42c | - | - | - | - |
| Hd% | 57,33a | 47,54b | 36,15c | 45,23b | 42,11b | 34,54c | T ₂ , T ₃ , T ₄ y T ₅ | T ₂ , T ₃ , T ₄ y T ₅ | 30 y 45% | 30 y 45% |

Valores seguidos de la misma letra en la misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey p < 0,05.

materia orgánica, N, K₂O y MgO en comparación con los compostajes con cenizas y microorganismos de montaña. Por ello es posible el empleo de este tipo de proceso en las actividades agrícolas de la provincia de Chanchamayo.

Por otro lado, la adición de microorganismos de montaña favoreció la reducción del peso final del compost, acelerando el proceso de descomposición e incrementando el P₂O₄ en el producto final. En cuanto a la adición de cenizas y estiércol de cuy, estos insumos aumentaron los niveles de CaO y MgO, que a su vez elevaron el pH y la conductividad eléctrica.

Con respecto a la calidad, los 6 tratamientos cumplen los requisitos para un compost de clase A, según la NCH2880, en los parámetros de

%MO, %N y relación C/N. Solo el compostaje con pulpa de café y el compostaje con pulpa de café con microorganismos de montaña cumplen los estándares de conductividad eléctrica para clase B y ninguno de los 6 tratamientos cumple el estándar de pH.

Finalmente, la aplicación de estiércol de cuy, cenizas y microorganismos de montaña aportó nutrientes en el compost final, lo cual contribuye a la economía circular por el reciclaje y la valorización de residuos agropecuarios. Sin embargo, se requiere más investigación sobre las proporciones a utilizar, así como el volumen de pila de compost, para cumplir todos los requisitos de la NCH2880.

Literatura citada

- Altamirano, M.; Cabrera, C.
2006. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 9: 75-84.
- Asquer, C.; Cappai, G.; Carucci, A.; De Giannis, G.; Muntoni A.; Piredda, M.; Spiga, D.
2019. Biomass ash characterization for reuse as additive in composting process. *Biomass and Bioenergy*, 123: 186-194.
- Avilés, D.F.; Martínez, A.M.; Landi, V.; Delgado, J.V.
2014. El cuy (*Cavia porcellus*): un recurso andino de interés agroalimentario. *Animal Genetic Resources*, 55: 87-91.
- Bernal, M. P.; Alburquerque, J.A.; Moral, R.
2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *A review, Bioresource Technology*, 100: 5444-5453.
- Blandón-Castaño, G.; Rodríguez-Valencia, N.; Dávila-Arias, M. T.
1998. Caracterización microbiológica y físico-química de subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé*, 49: 169-185.
- Bueno, P.; Díaz, M.J.; Cabrera, F.
2008. Compostaje, Capítulo 4. Factores que afectan el proceso de compostaje. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 93-109.
- Cairo-Cairo, P.; Álvarez-Hernández, U.
2017. Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya [*Glycine max (L.) Merr.*]. *Pastos y Forrajes*, 40: 37-42.
- Chávez, A.; Rodríguez, A.
2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia & Virtualidad*, 9: 90-107.
- Creus, C.
2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*, 49: 207-209.
- Cruz, R.; Mendes, E.; Torrinha, A.; Morais, S.; Pereira, J. A.; Baptista, P.; Casal, S.
2015. Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International*, 73: 190-196.
- Díaz, C.; Carmen, M.
2017. Línea de base del sector café en el Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima, Perú. 58.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods 1983. *Métodos recomendados para el análisis microbiológico de alimentos*, 105-280. ICMSF. Acribia. Zaragoza, España. 382.
- Kuba, T.; Tscholl, A.; Partl, C.; Meyer, K.; Insam, H.
2008. Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127: 43-49.
- NCH2880.Of.
2004. Compost - Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile. 27.
- Paredes, M.; Mantilla, J.; Vilca, D.; Vallejos, L.
2020. Caracterización de nueve compostajes a base de residuos vegetales y pecuarios del Valle de Condebamba en los Andes del Norte Peruano. *Livestock Research for Rural Development*, 32.
- Pierre, F.; Rosell, M.; Quiroz, A.; Granda, Y.
2009. Evaluación química y biológica de compost de pulpa del café en Caspito, municipio Andrés Bello Blanco, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21: 105-110.
- Sánchez-Monedero, M.A.; Roig, A.; Paredes, C.; Bernal, M.P.
2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78: 301-308.
- Santos, J.; Durand, N.; Lacour, S.; Belleville, M.; Pérez, A.; Loiseau, G.; Dornier, M.
2019. Solid-state fermentation as a sustainable method for coffee pulp treatment and production of an extract rich in chlorogenic acids. *Food and Bioproducts Processing*, 115: 175-184.
- Suchini, J.G.
2012. Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 47.

- Tang, J.C.; Kanamori, T.; Inoue, Y.; Yasuta, T.; Yoshida, S.; Katayama, A.
2004. Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by the quinone profile method. *Process Biochemistry* 39: 1999-2006.
- Tighe-Neira, R.; Leonelli-Cantergiani, G.; Montalba-Navarro, R.; Cavieres-Acuña, C; Morales-Ulloa, D.
2014. Caracterización de compost a base de espinillo en relación a la norma chilena N° 2880. *Agronomía Mesoamericana*, 25: 347-355.
- Vásquez de Díaz, M.C.; López, A.; Fuentes, B.; Cote, E.
2010. Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41: 1-7.
- Yáñez, R.; Alonso, J.L.; Díaz, M.J.
2009. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresource Technology*, 100: 5827-5833.

