

Alternativa sustentable (Takakura) para la minimización de residuos orgánicos en la finca Saltos, cantón Salitre, Ecuador

Sustainable alternative (Takakura) for the organic waste minimization in the Saltos farm, in the Salitre canton, Ecuador

Lady Bayas¹ y David García²

¹⁻²Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales
Av. Raúl Gómez Lince s/n y A. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 30 agosto 2022, aceptado 10 noviembre 2022, en línea 10 de diciembre 2022.

Resumen

La aplicación de alternativas sustentables previa caracterización de los residuos sólidos, han permitido emplear el método Takakura el cual consiste en una solución dulce y una solución salada en 2,5 litros de agua, que se incorpora en el lecho de fermentación activando microorganismos benéficos en el compostaje. Se logró descomponer un total de 64 kg de residuos orgánicos, lo que representa un 78,43% de descomposición a los 30 días. En tanto, los parámetros físico-químicos se mantuvieron constantes a excepción de la temperatura que obtuvo su máximo de 56 °C en la T12, y la compostera T11 presentó el menor valor de pH con 8,7. Con respecto a los micronutrientes y macronutrientes estos se encontraron dentro de los rangos normales. Se concluye que este método de compostaje es de gran utilidad en la descomposición de residuos orgánicos en zonas rurales que no cuentan con el servicio de recolección de desechos.

Palabras clave: Takakura, compostaje, residuos orgánicos.

Abstract

The application of sustainable alternatives, after characterization of the solid waste, has allowed the use of the Takakura method, which consists of sweet and salt solutions in 2.5 liters of water, which is incorporated into the fermentation bed, activating beneficial microorganisms in the composting process. A total of 64 kg of organic waste was decomposed, which represents a 78.43% of decomposition rate after 30 days. The physical-chemical parameters remained constant except for the temperature, which reached a maximum of 56 °C in T12, and in the T11 composter, which had the lowest pH value of 8.7. The micronutrients and macronutrients were found within normal ranges, concluding that the composting is a very useful method in the decomposition of organic waste in rural areas that do not have waste collection services.

Keywords: Takakura, composting, organic waste.

Introducción

En las últimas décadas la composición de los residuos sólidos generados en los hogares ha cambiado. Antes del siglo XX, los residuos orgánicos predominaban y su descomposición no causaba molestia al hombre y al ambiente en general (Salinas, 2019). Por otro lado, los residuos sólidos no orgánicos eran de larga vida útil. En el siglo XX y como consecuencia de los adelantos científicos se comienzan a desarrollar y producir muchos elementos sólidos como los plásticos, los que, a pesar de ser de gran utilidad, son de larga duración, lo cual los hace uno de los peores problemas de basura, ya que al desecharlos no se descompondrán. Se estima que algunos plásticos tardan decenas e incluso centenas de años en descomponerse. En este sentido, la problemática ambiental que nos

enfrentamos en los últimos años, como consecuencia del mal manejo de los residuos a nivel mundial, es un reflejo del crecimiento demográfico, el sistema de consumo masivo de la población, la urbanización y las industrias, entre otras causas; las cuales generan la creación de vertederos a cielo abierto improvisados, quema de basura, arrojado de desechos a los ríos o alcantarillas.

En los países en desarrollo, como es el caso de América Latina, el manejo de los residuos sólidos por parte de los municipios se enfoca en brindar el servicio de recolección de desechos, pero se descuida su tratamiento, como consecuencia, se crean botaderos informales que generan un riesgo medioambiental y sanitario, sin prestar atención a los criterios sociales (Durand, 2011). A nivel nacional, la generación

* Correspondencia del autor:
E-mail: dennise_bayas@hotmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

de residuos sólidos es una fuente significativa de contaminación del medioambiente, creando un alto riesgo sanitario a corto, mediano y largo plazo (Ministerio del Ambiente, 2019).

Los impactos al ambiente y a la salud humana que se pueden llegar a generar están relacionados con el manejo de los desechos. Una oportuna clasificación de estos residuos desde la fuente significaría un gran aprovechamiento de estos. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2841:2014 clasifica a los residuos según su composición: orgánicos, plásticos, vidrios/metales, papel/cartón, desechos y especiales.

En el año 2019, en Ecuador se generó 1'217.614 toneladas de desechos, los que se dividen en: 61,41% para los residuos orgánicos, 25,58% para los residuos inorgánicos y, por último, 13,34% para los desechos no aprovechables (Ministerio del Ambiente, 2019).

El Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEN) en el 2010, indica que, para ese año, a nivel nacional, el servicio de recolección de residuos cubría solo el 58% de las viviendas.

En un estudio realizado por Osejo y Verisimo (2015), se menciona que el 82% de las familias jipijapenses no seleccionan sus desechos sólidos, demostrando que no poseen conocimientos básicos sobre la clasificación de los desechos. Dentro del mismo estudio, se reconoció que el 53% de los residuos generados eran de origen orgánico.

Al ser los residuos orgánicos los que más se producen en el país, existe una prioridad de gestionarlos desde la fuente antes que todas esas toneladas terminen en el relleno sanitario, o en el peor de los casos, en los vertederos improvisados. Por lo tanto, el compostaje interviene como una solución para la disminución de los desechos, ayudando a eliminar la fracción orgánica, así como a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, así mismo, el compostaje produce abono orgánico que puede ser usado para mejorar las características de los suelos, además de que permite la recuperación de suelos degradados aumentando su fertilidad con su uso (Himanen y Hänninen, 2011).

De igual manera, el compost incorpora los residuos orgánicos degradados a la estructura del suelo, microorganismos y plantas, generando impactos positivos al ambiente y comunidades, al mismo tiempo crea una fuente de ingresos económicos y a la vez permite el tratamiento de grandes volúmenes de residuos (Huamani-Montesinos et al., 2020).

En este mismo contexto, el compostaje Takakura surge como una alternativa para reducir la cantidad de desechos orgánicos que se producen en los hogares ciudadanos y en las labores que se realizan en el campo (Honobe, 2013).

En el cantón Salitre, la implementación del compostaje Takakura reduciría la cantidad de desechos orgánicos generados por sus pobladores. Se analizó la generación de residuos en 3 parroquias: Vernaza, La Victoria y Junquillal, siendo la fracción orgánica la que mayor se produce en las 3 parroquias (Bermeo, 2020).

Este trabajo tiene como finalidad degradar los residuos orgánicos generados en los hogares de la finca "Saltos", mediante la aplicación del método sostenible "Takakura", minimizando recursos y tiempo en su ejecución.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El cantón Salitre se encuentra ubicado al centro-este de la provincia del Guayas, entre las coordenadas 1°49'46" S y 79°48'56" O, posee una superficie de 396 km². Limita al norte con los cantones Palestina y Vines, al sur con el cantón Samborondón, al este con los cantones Baba y Babahoyo y al oeste con los cantones Daule y Santa Lucía.

Salitre posee una población de 57.402 habitantes, el 18,88 % de esta se encuentra en el área urbana y el 81,12% pertenece al área rural (INEC 2010). Este cantón ha sido considerado como uno de los mayores productores de arroz del país, siendo la principal fuente de ingresos económicos de la población la agricultura y la ganadería (Jungnickel y Cantos, 2019). La finca "Saltos" se encuentra ubicada en el recinto La Bocana de Abajo de la parroquia Salitre, entre las coordenadas: 1°50'43.33»S y 79°48'22.10»O. En dicho lugar se encuentra el sitio almacenamiento y tratamiento de residuos orgánicos que provienen de 4 familias constituidas por un total de 11 personas que conforman el lugar (Fig. 1).

Metodología

El presente estudio es una investigación cuantitativa, cualitativa y experimental que se ejecutó en la finca "Saltos" mediante la transformación de desechos orgánicos a compost.

Caracterización de los Residuos

La recolección de los desechos se desarrolló durante 8 días consecutivos entre el 27 de junio al 4 de julio del 2022, tomando en consideración los criterios establecidos por Sarmiento (2015), como siguientes puntos:

1. Se descartaron las muestras del primer día, debido a que pueden contener residuos acumulados de días anteriores.
2. Se estableció la frecuencia de recolección por las mañanas entre las 8 y 9 am.
3. Al momento de recolectar los desechos se les entregaba una funda plástica de polietileno para el almacenamiento de los residuos del día siguiente.

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos

Componente
Residuos orgánicos
Plásticos
Papeles y cartones
Metales/latas
Vidrios
Textiles
Otros (pañales desechables, papel higiénico, tierra, etc.)

Fuente: Sarmiento, 2015.

4. En cada día de recolección se tomaron las fundas con los residuos y se le entregó otra vacía al responsable de cada vivienda previo pesado de las muestras.

La determinación de la composición física de los residuos se llevó a cabo colocando los residuos encima de un plástico grande, se formó un montículo y de forma manual, se realizó la clasificación de acuerdo con la Tabla 1.

Posteriormente se pesaron los residuos según su categoría y se procedió a realizar el cálculo del porcentaje correspondiente de cada categoría a través de los valores del peso total de los residuos En donde:

$$\text{Porcentaje } (\%) = \frac{P_i}{W} * 100$$

Recolectados W_i)
El peso por categoría P_i)

Recolección de residuos orgánicos

La separación desde la fuente de los residuos orgánicos no cocidos se realizó con ayuda de un balde plástico de 2 litros de capacidad, previa separación de los desechos éstos fueron triturados manualmente hasta obtener el tamaño ideal de 5 cm, aproximadamente.

Generación de residuos

Para aplicar la comparación de residuos que se generaron en la finca Saltos antes y después de la aplicación del compostaje, se procedió a realizar la siguiente relación: Cantidad de residuos generales - Cantidad de desechos orgánicos no cocidos

Porcentaje de descomposición

El valor de descomposición de residuos orgánicos no cocidos que fueron usados en la compostera se determinó al momento de la cosecha. El producto fue pesado (kg), tamizado y finalmente se pesó (kg) el material que atravesó el tamiz, el cálculo se lo desarrolló mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ Descomposición} = \frac{\text{Peso del producto en descomposición (kg)} * 100}{\text{Peso total del producto obtenido (kg)}}$$

Método Takakura

El método Takakura, originario de Asia, es una forma de compostar los residuos orgánicos, este permite descomponer los desechos a través de microorganismos aerobios (Honobe, 2013) y consiste en 3 pasos: la elaboración de las fermentaciones, la preparación del lecho de fermentación o semilla y finalmente la implantación de la compostera.

Elaboración de las fermentaciones

Solución de sal. La piel de frutas y verduras contiene bacterias que actúan para protegerlas del exterior, es por esta razón que se utilizó la cáscara de las frutas y verduras en agua salada para la obtención de microorganismos fermentadores. Estas se dejaron en reposo durante 5 días en una botella plástica de 3 litros de capacidad; para evitar la producción de gases se dejó floja la tapa del recipiente. Finalmente, al quinto día la mezcla tuvo un olor a alcohol cuando el proceso estuvo completo.

Solución de azúcar. La solución dulce permite que las bacterias de los alimentos fermentados (levadura, queso, yogurt, azúcar) proliferen al ser colocadas en agua azucarada. Mientras mayor sea la cantidad de ingredientes, más rápido se completará el proceso de fermentación.

El proceso de fermentación se completó al verificar que tenía un olor agríndice

Lecho de fermentación

Para la elaboración de la semilla se incorporaron los siguientes ingredientes: cascarilla de arroz, afrecho de arroz, hojarasca y harina. Los ingredientes fueron mezclados con las soluciones de fermentación para promover la proliferación de microorganismos (Tabla 2). El contenido de humedad se ajustó con la prueba empírica del puño, si al apretar la semilla se mantiene compacto y no chorrea, el contenido de humedad es el óptimo (40 al 60%). Se cubrió el lecho de fermentación con periódico y sacos de yute y se lo dejó reposar por 7 días para la producción de microorganismos. Durante este periodo, se controló la humedad y se realizaron volteos diarios para darle aireación a la pila. Transcurrida una semana, la superficie estuvo cubierta con moho blanco completándose el proceso y formación de microorganismos en la semilla luego de 7 días (Fig. 2).

Compostera

Se usaron 4 composteras de 60 litros de capacidad llamadas TI, TII, TIII y TIV, cada compostera fue llenada con 5 kg de semilla. Durante 10 días se realizaron los aportes de los residuos orgánicos en horas de la tarde, en donde se procesó un total de 16 kg de residuos por cada compostera. Los residuos orgánicos incorporados fueron previamente reducidos a fragmentos de menor tamaño mediante el picado de estos para que el proceso de descomposición sea más rápido.



Figura 2. Procesamiento del método Takakura: a. Desecho orgánico, b. Triturado del desecho, c. Pesado de la materia orgánica, d. Inicio de la fermentación, e. Solución salada y dulce, f. presencia de moho, fin del proceso.

Monitoreo de Parámetros en Campo

En esta sección se detallan los parámetros evaluados diariamente en las cuatro composteras, estos parámetros fueron: temperatura, aireación y humedad.

Temperatura

El control de la temperatura se lo realizó con un multiparámetro S-1000 en horas de la tarde durante las 5 semanas que duró el proceso. Para esto, se introdujo la sonda en el centro de las composteras y se esperaba de tres a cinco minutos para registrar los valores obtenidos.

Aireación

La aireación se controló por medio de los volteos diarios de las composteras, esto se realizó en horas de la tarde, se utilizó una pala de jardinería para remover el compostaje a diario, además, una vez a la semana se removió el compostaje en el suelo y se lo volvió a colocar en sus cajas correspondientes.

Humedad

La humedad fue controlada de forma empírica mediante la prueba del puño la cual consiste en tomar una cantidad del sustrato con la mano y apretarla, en caso de que caigan gotas, esto significa que la humedad excedió el 80%, si la mezcla se compacta ligeramente, el porcentaje de humedad es el óptimo entre 40 a 60%, en cambio, si la mezcla no logra compactarse, el porcentaje de humedad es menor a 30%. Debido a que este control no presentó malos olores se estima que la humedad fue la correcta.

Metodología de Laboratorio para Análisis de Parámetros

Se determinó realizar un muestreo al finalizar los 30 días de compostaje, para ello se recolectó 1 kg de muestra por cada compostera, las cuales fueron enviadas al Laboratorio Servicios Suelos y Aguas/Protección Vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), para su posterior análisis.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Para la determinación del pH en las muestras de abono se usó la metodología de potenciómetro, esta consiste en la determinación de la diferencia de dos soluciones con distintas concentraciones de H^+ (Suh, 2013), donde el pH de la solución externa provoca una diferencia de voltaje (Córdova-Toral y Gallardo-Trejo, 2016).

Humedad

La determinación de la humedad se la realizó por el método gravimétrico, dicho método consiste en la diferencia de peso de la muestra antes y después de su desecado, permitiendo conocer el porcentaje de humedad. La muestra se considera seca siempre que su peso no varíe a una temperatura de $105^{\circ}C$ durante 24 horas, transcurrido ese tiempo se deja enfriar y se realiza el pesaje (Hansen, 2015).

Conductividad eléctrica

El método utilizado para hallar la conductividad eléctrica fue el extracto de pasta saturada. Este método consiste en tomar una muestra de suelo hasta alcanzar la saturación utilizando como extractante el agua destilada, hasta alcanzar el equilibrio en un periodo de dos horas aproximadamente. Después de alcanzar el equilibrio, se filtra y se extrae la muestra mediante una bomba de vacío (Tiloom, 2016).

Nitrógeno total

El nitrógeno total se lo determinó por el método de Kjeldahl, el cual consta de tres pasos. El primero es el uso del catalizador para la digestión de la muestra en ácido sulfúrico; el segundo paso es la destilación del amoníaco en una solución de captura y por último, la cuantificación del amoníaco por titulación con una solución estándar (Ghinea et al., 2019).

K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn y Fe

Para la determinación de los metales se utilizó el método de absorción atómica cuyo funcionamiento se basa en la capacidad de absorción de luz que tiene un átomo a longitudes de ondas específicas, a un átomo en estado fundamental se le aplica energía a determinada longitud de onda logrando que el átomo absorba esta energía y el electrón pase a un orbital de mayor energía, haciendo que el átomo pase a un estado menos estable (Martínez-Guijarro, 2020).

Fósforo

El fósforo se determinó mediante el método colorimétrico la cual consiste en medir por medio de sustancias coloreadas la absorción de la radiación de

la zona visible, esta técnica permite la concentración de fósforo total que se encuentra en las muestras (Aparicio, 2017).

Materia orgánica

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black, este consiste en tomar la muestra del suelo y oxidarla húmedamente con dicromato de potasio en un medio ácido. El carbono se oxida parcialmente por el calor desprendido mientras se agrega el ácido sulfúrico, se espera que la mezcla se diluya y se adiciona ácido fosfórico para evitar la interferencia de hierro en la muestra y la titulación del dicromato residual se la realiza con sulfato ferroso. Es necesario introducir un factor de corrección debido a que este método detecta entre un 70 y 84% de carbón orgánico total (Eyherabide, et al., 2014).

Cálculo de la relación C/N

La ecuación de Walkley y Black sirvió de ayuda para el cálculo de la relación del carbono orgánico (%) que contiene la materia orgánica total calculada en los laboratorios del INIAP.

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \text{Carbono orgánico (\%)} * 1,724$$

Despejando el carbono orgánico (%) se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = \frac{\text{Materia orgánica (\%)}}{1,724}$$

Conociendo el % de carbono orgánico se pudo hallar la relación C/N mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{C}{N} = \frac{C.O}{N.T}$$

Donde:

C O = Carbono orgánico

N T = Nitrógeno Total

Análisis Estadístico

Se establecieron diferencias entre las varianzas de las medianas con la prueba de Kruskal-Wallis, mientras que con la prueba de la mediana de Mood se reafirmó si los valores obtenidos son significativamente diferentes. Los resultados fueron presentados a través de gráficos realizados en Excel y el procesamiento estadístico en Minitab 19.

Resultados

Análisis de la Caracterización de Residuos Sólidos

Se recolectó un total de 16,93 kg de residuos en 7 días, dentro del cual el 73% perteneció a la fracción orgánica, mientras que, el 10% correspondió al grupo otros: partículas de polvo, residuos sanitarios y afines, seguidos por plásticos con 8%, papeles y cartones con un 6%, vidrios 2% y 1% textiles (Fig. 3).

Comparación de la Cantidad de Residuos

En la caracterización de residuos, los más representativos fueron los orgánicos no cocidos con

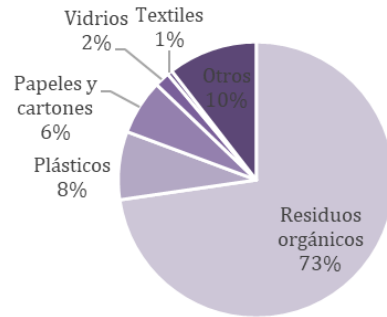


Figura 3. Composición física de los residuos generados en la finca Saltos, en el cantón Salitre, provincia del Guayas.

un peso de 12,31 kg, sin contar los restos de comida que no fueron considerados debido a que sirven de alimento para los animales que llegan a la finca.

Antes de la aplicación del compostaje, la finca generaba 16,93 kg de residuos a la semana aproximadamente, sin embargo, después de la separación de la fracción orgánica, quedaron solo 4,62 kg de desechos, habiendo una reducción de residuos del 72,7%.

$$16,93 \text{ kg} - 12,31 \text{ kg} = 4,62 \text{ kg}$$

La evaluación física de los residuos sólidos determinó que más de 50% de residuos que se generan en la finca son orgánicos, por lo cual se implementó el método de compostaje Takakura para el aprovechamiento de los desechos generados en dicho lugar.

Porcentaje de descomposición

A cada compostera se le agregó 16 Kg de materia orgánica, sin embargo, la compostera T4 experimentó el mayor porcentaje de descomposición con 78,43%, mientras que el menor valor lo registró la cama T1 con 70,11%

Análisis de las Características Físicas y Químicas del Abono Obtenido

Temperatura

La compostera T1 presentó un mayor promedio de temperatura con $41,18 \pm 0,961^\circ\text{C}$; mientras que, el menor promedio lo obtuvo la compostera T2 con $40,21 \pm 1,09^\circ\text{C}$, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sus medianas ($H=1,30$ y $p=0,729$). Esto fue corroborado a través de prueba de la mediana de Mood, quien demostró que las varianzas de la mediana son iguales ($\text{Chi-cuadrado}=1,87$ y $p=0,601$; Fig. 4).

Humedad

Se evidenció la variación de la humedad entre las 4 composteras durante 30 días, la compostera T4 presentó el mayor promedio con $36,55 \pm 1,92\%$, mientras que T1 presentó el rango más bajo con $30,37 \pm 1,93\%$

Al igual que en la temperatura, la humedad no mostró

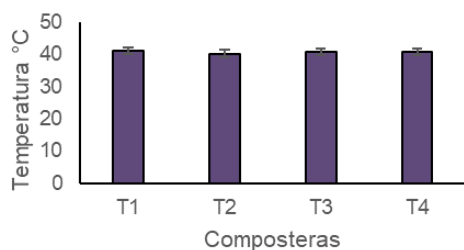


Figura 4. Variación de la temperatura de las 4 composteras, las barras se muestran como medias ± error estándar.

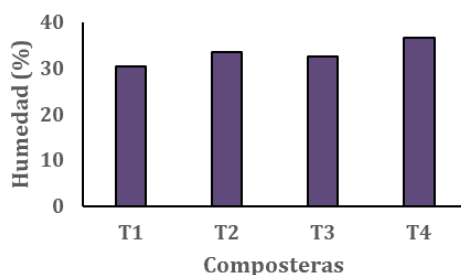


Figura 5. Variación de la humedad de las 4 composteras, las barras se muestran como medias ± error estándar.

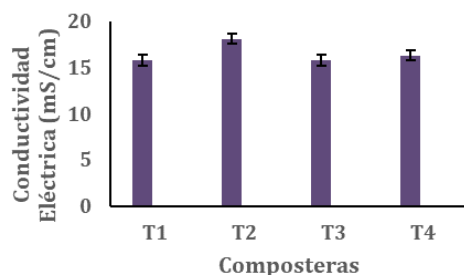


Figura 6. Resultados de los análisis de la conductividad eléctrica.

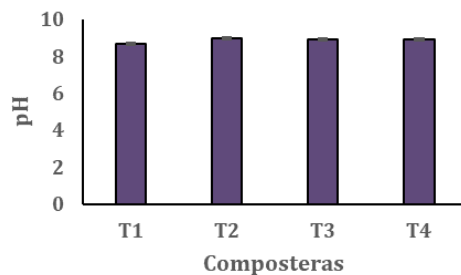


Figura 7. pH obtenido al final del proceso del compostaje.

Tabla 3. Resultados de la relación carbono/nitrógeno.

Composteras	Relación carbono/nitrógeno
T1	23,55
T2	22,47
T3	23,90
T4	32,59

Tabla 4. Valor nutricional de los abonos.

Compostera	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
T1	1,5	0,378	1,785	0,839	0,295
T2	1,5	0,433	1,944	0,905	0,351
T3	1,5	0,396	1,810	0,794	0,311
T4	1,1	0,312	1,568	0,876	0,278

Tabla 5. Valor nutricional de los abonos.

Compostera	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)
T1	0,001	0,070	0,018	0,004
T2	0,002	0,111	0,023	0,005
T3	0,001	0,109	0,021	0,005
T4	0,001	0,081	0,017	0,005

diferencias significativas en la comparación de las medianas de las composteras ($H=7,48$ y $p=0,058$). En cuanto a la prueba de la mediana de Mood (Chi-cuadrado=8,64 y $p=0,035$) sí presentó diferencias significativas.

En cuanto al reporte de los análisis de laboratorio, el mayor porcentaje de humedad al finalizar el compostaje lo obtuvo la cama T4 con 42% y el menor valor fue de la muestra T3 con 32,2% (Fig. 5).

Conductividad Eléctrica

De acuerdo con los resultados de los análisis realizados por el INIAP, la compostera T2 obtuvo los valores más altos de conductividad eléctrica con 18,1 mS/cm, mientras que T1 y T3 tuvieron el valor más bajo con 15,8 mS/cm para cada cama (Fig. 6).

pH

Se obtuvo valores de pH alejados a la neutralidad superando valores establecidos para el compostaje (8,5), el mayor pH lo obtuvo la cama T2 con un valor de 9, mientras que el valor en la cama T1 fue el más bajo con 8,7 (Fig. 7).

La relación C/N más baja la obtuvo la compostera T2, indicando el grado de avance del proyecto, al contrario de la compostera T4, la cual superó las condiciones óptimas para el proceso de compostaje (30:1; Tabla 3).

Análisis de Macronutrientes y Micronutriente

Macronutrientes

Los macronutrientes obtenidos de las composteras T1, T2 y T3 denotaron que el nitrógeno presentó rangos similares entre las camas, siendo mayor la concentración de N con 1,5 %, en tanto, el contenido de P, K, Ca, Mg registraron mayor porcentaje en la compostera T2, siendo estos nutrientes son esenciales para las plantas (Tabla 4).

Micronutrientes

El contenido de Fe y Mn fue mayor en la compostera T2 con valores entre 0,1% y 0,023 % respectivamente, mientras que la muestra T1 obtuvo menor porcentaje de micronutrientes tales como: Cu y Zn, cuyas concentraciones máximas de metales pesados que indica la norma chilena NCh2880 (Tabla 5).

Discusión

La eficiencia en la reducción de residuos orgánicos no cocidos, a través del método Takakura, presentó el mayor porcentaje de descomposición en la cama T4 con 78,43%, esta reducción de residuos es similar a la obtenida por Borrero (2014), quien obtuvo un 80% de descomposición.

En el proceso de compostaje, se observó que existe un incremento en la temperatura después de un día de agregar los residuos orgánicos, alcanzando mediciones cercanas a los 60 °C, lo que guarda relación con lo expresado por Campos-Rodríguez et al. (2016), en su estudio donde se demostró que existe una relación entre la temperatura y los residuos, la adición de estos últimos provoca un aumento de la temperatura en las composteras.

La temperatura máxima durante todo el proceso la obtuvo la compostera T2 con 56 °C, la cual es ideal para el proceso de compostaje, debido que no se obtuvo valores que pudieran perjudicar el proceso de compostaje, afectando a factores como la descomposición de los residuos y humedad (Borrero, 2014).

Con respecto a la humedad, entre las composteras arrojaron un promedio de 33,25% valores que cumplen con uno de los parámetros de calidad de compost establecidos en la norma chilena NCh2880 (2004), la cual indica que el contenido de humedad debe estar entre un rango del 30 al 45%, porcentaje que se logró en el ensayo.

Por otro lado, los valores de conductividad eléctrica fueron superiores a los 10 mS/cm, siendo la compostera T2 la que obtuvo el valor más alto de conductividad eléctrica con 18,1 mS/cm. En tanto, según los resultados mostrados denotan un decrecimiento en la conductividad eléctrica de 4,85 mS/cm (Iliquin, 2014). Es por ello, que se recomienda prolongar el compostaje cuando la conductividad eléctrica es superior a 5,5 mS/cm, para evitar un

efecto nocivo sobre las plantas por el alto contenido de sales (Sánchez et al., 2017).

El pH en la fase inicial del compostaje este osciló entre 6,5 y 7, concordando con los resultados mostrados por Campos-Rodríguez et al. (2016), quienes obtuvieron un rango de 6,5 a 7 de ph en los primeros 5 días del compostaje. Según Delgado et al. (2019), esta disminución se debe a que, al inicio del proceso, los microorganismos actúan sobre la materia orgánica, liberando ácidos orgánicos.

El pH final en las distintas composteras alcanzó valores superiores a los 8,5, sobrepasando los límites permisibles de la norma NCh2880, la cual indica que el compost debe tener un ph entre 5 y 8,5. Estos resultados indican que el pH se encontraba en su segunda fase, como menciona FAO (2013) el medio se alcaliniza progresivamente debido a la liberación de amoníaco y pérdida de ácidos orgánicos como consecuencia de la descomposición de proteínas.

De acuerdo con la maduración de las composteras según la relación carbono/nitrógeno promedio entre las camas T1, T2, T3 fue de 23,3 similares a lo establecido en la norma NCh2880, la cual indica que la relación c/n debe ser menor a 25, si se lo considera como único parámetro de calidad, el compost obtenido sería un abono de clase A. Sin embargo, Jusoh et al. (2013) mencionan que no se puede tomar la relación c/n como concluyente para definir la madurez del compostaje, posiblemente, como consecuencia que el carbono no se encuentra disponible.

En cuanto a los macronutrientes del compost las camas presentaron concentraciones altas de N y en trazas para el P (0,31% - 0,43%), lo cual guarda coherencia con lo reportado por Mendoza (2012), quién atribuye un rango permisible (0,3% - 3,5%). Sin embargo, la cantidad de K en la muestra T2 excede en los límites permisibles (0.5% - 1.8%; Mendoza, 2012).

Asimismo, los porcentajes de Ca y Mg fueron mayores en la compostera T2, estos nutrientes son esenciales para las plantas, el Ca ayuda a mantener las estructuras de las células vegetales de las plantas y la condición del suelo, mientras que el Mg tiene un papel importante en la fotosíntesis, ya que forma el átomo central de la clorofila (Manohara y Belagali, 2014).

En los análisis de micronutrientes, la compostera T2 presentó un mayor valor de Fe, esto puede darse debido a que la compostera tuvo la mayor temperatura. Jusoh et al. (2013), señalan que el compost que pierde contenido de humedad y carbono, acumula mayor cantidad de Fe y estas pérdidas ocurren a temperaturas mayores de 55 °C. Por otra parte, los valores obtenidos tanto de Cu y Zn se encuentran dentro de las concentraciones máximas de metales pesados que indica la norma chilena NCh2880. Por último, el Mn fue mayor en la compostera T2 (0,023%), siendo importante en la asimilación del nitrógeno y la fotosíntesis de la planta (Sharma et al., 2017).

Conclusion

El método Takakura resultó ser de gran utilidad para la descomposición de residuos orgánicos en zonas que no cuentan con el servicio de recolección de desechos, en este trabajo se aprovecharon 64 kg de residuos orgánicos en un periodo de 30 días con un porcentaje de descomposición de 78,43%.

Las altas temperaturas alcanzadas en cortos periodos de tiempo permitieron la degradación de los residuos de una forma acelerada y aseguran la eliminación de microorganismos patógenos, en promedio, la cama T1 alcanzó las mayores temperaturas. En cuanto al pH, este logró acercarse más a la neutralidad; con respecto a su conductividad eléctrica obtuvo el rango más cercano a la norma a pesar de haber sobrepasado el rango aceptado. Sin embargo, aunque el contenido de humedad fue el menor en comparación con las otras camas, no obstante, se encontró dentro de los parámetros de calidad del compost.

En los análisis de macronutrientes y micronutrientes, los resultados indicaron que el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de todas las muestras se encuentran dentro del rango comercialmente aceptable, a excepción del potasio para la cama T2. En cuanto al calcio, todas las composteras presentaron un déficit de este elemento. Todas las camas contaron con la presencia de nutrientes como Mn, Zn, Cu, Fe, los cuales son importantes para el desarrollo de las plantas. En la socialización realizada se logró la participación de los pobladores de la finca creando consciencia ambiental sobre la gestión de los residuos orgánicos producidos en sus domicilios, así mismo, se despertó el interés por el uso del compostaje Takakura, debido a su fácil ejecución y mantenimiento.

Recomendaciones

Realizar análisis en la fase inicial del compostaje para hacer una comparación de los cambios presentados durante el desarrollo del compost.

En la elaboración de la semilla es recomendable utilizar lácteos de diferentes marcas para obtener diferentes microorganismos fermentativos.

Para la obtención de abono en menor tiempo, se sugiere la disminución de la cascarilla de arroz y en su lugar utilizar el afrecho de arroz.

En caso de usar gran porcentaje de cascarilla de arroz, evitar que la humedad disminuya del 50% debido a que su firmeza estructural lo permite.

Si la humedad es superior al 60% o se presentan malos olores se debe controlar el proceso agregando materiales secos como hojarasca, afrecho de arroz, cartón, entre otros.

En el momento de agregar los desechos se los debe triturar, debido a que esto permite que el proceso de degradación sea más rápido.

El área destinada para el compostaje debe ser en un lugar fresco y que no esté directamente expuesto al sol. Además, las composteras deberán estar protegidas de la lluvia en época de invierno.

Por la facilidad de uso del método Takakura, se recomienda la implementación de esta técnica en todo el cantón.

Referencias

- Aparicio, E. G. (2017). "Técnicas Colorimétricas ." *Visión Criminológica-Criminalística* 18-23.
- Bermeo, A. (2020). *Gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios en el cantón Salitre, Provincia del Guayas*. Trabajo de titulación previo a obtener el grado de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
- Borrero, G. (2014). *Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico*. Tesis de Maestría. Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Campos-Rodríguez, R., L. Brenes-Peralta, y M. F. Jiménez-Morales. (2016). Technical evaluation of two methods for composting of organic wastes to be used in domestic vegetables gardens. *Tecnología en Marcha*, 29: 25-32. doi: 10.18845/tm.v29i8.2982.
- Córdova-Toral, C., y J. Gallardo-Trejo. (2016). *Ph y Muestreo de Suelos*. Puebla, México.
- Delgado, M., Mendoza, K. L., González, M. I., Tadeo, J. L., y Martín, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965-977. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
- Durand, M. 2011. La gestión de los residuos sólidos en los países en desarrollo. *Espacio y Desarrollo*, 23:115-30.
- Eyherabide, M., Saínz-Rozas, H., Barbieri, P., y Echeverría, H. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del Suelo*, 32: 13-19.
- FAO. (2013). *Manual de Compostaje Del Agricultor*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Ghinea, C., L. C. Apostol, A. E. Prisacaru, y A. Leahu. (2019). Development of a Model for Food Waste Composting. *Environmental Science and Pollution Research* 26:4056-69. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3939-1>.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Salitre. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Salitre*.
- Hansen, G. (2015). *Determinación de humedad gravimétrica de suelos. Su correlación con sensores de humedad*. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1478/8.4.6.pdf>
- Himanan, M. y K. Hänninen. (2011). Composting of Bio-Waste, Aerobic and Anaerobic Sludges - Effect of Feedstock on the Process and Quality of Compost. *Bioresource Technology*, 102(3):2842-52. doi: 10.1016/J.BIORTECH.2010.10.059.
- Honobe, Y. (2013). *Método Takakura, una alternativa para un manejo responsable de la basura orgánica*. Obtenido de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/17.pdf>
- Huamani-Montesinos, C., J. Tudela-Mamani, y A. Huamani-Peralta. 2020. Gestión de Residuos Sólidos de La Ciudad

- de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1):106-15. doi: 10.18271/RIA.2020.541.
- Ilíquín, R. (2014). Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos Takakura y em-compost. *Agroindustria. Science*, 4: 109-119.
- INEC. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/centro-de-poblacion-y-vivienda/>.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014). NTE INEN 2841. Gestión Ambiental. Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos. Requisitos. Obtenido de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2841.pdf
- Jusoh, Mohd Lokman Che, Latifah Abd Manaf, y Puziah Abdul Latiff (2013). Composting of Rice Straw with Effective Microorganisms (EM) and Its Influence on Compost Quality. 10(1), 17 | 10.1186/1735-2746-10-17." *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering* 10(1). doi: <https://doi.org/10.1186/1735-2746-10-17>.
- Jungnikel, L. y Cantos, L. (2019). Análisis de desarrollo socio económico del Cantón Salitre, de la provincia del Guayas, Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales. En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/07/desarrollo-socioeconomico-ecuador.html>* //hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1907desarrollo-socioeconomico-ecuador
- Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., y Villca-Huanaco, R. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3(1), 44-54. Obtenido de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942012000100005&lng=es&tlng=es
- Manohara, B., y S. L. Belagali. (2014). Characterization of Essential Nutrients and Heavy Metals during Municipal Solid Waste Composting. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3(2):9664-72*.
- Martínez Guijarro. (2020) *Análisis Instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. Valencia.
- Nuzir, F. A., Hayashi, S., y Takakura, K. (2019). Takakura Composting Method (TCM) as An Appropriate Environmental Technology for Urban Waste Management. *International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology (BUILT)*, 13(1), 67-82. Obtenido de <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/BUILT/article/view/183252>
- Mendoza, M. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura*. Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.
- Ministerio del Ambiente. 2019. Proyecto: Programa Nacional Para La Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS).
- Mulder, M. B., y P. Coppolillo. (2018). *The natural science behind it all*. En Conservation, ed. M. B. Mulder and P. Coppolillo, 53-80. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- NCh 2880 (Norma Chilena de Compost). 2004. *Norma Chilena Oficial. Compost-Clasificación y requisitos*. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Quillos-Ruiz, S. A., Escalante-Espinoza, N. J., Sánchez-Vaca, D. A., Quevedo-Novoa, L. G., y De La Cruz-Araujo, R. A. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 322-335. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300006&lng=es&tlng=pt.
- Sánchez, O., D. Ospina, y S. Montoya. (2017). Compost Supplementation with Nutrients and Microorganisms in Composting Process. *Waste Management*, 69,136-53.
- Salinas, P. (2019). Los desechos sólidos, residuos o basura, un problema mundial para la salud y el ambiente. *MedULA*. 28:35-38. Obtenido de: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/45900>
- Sarmiento-Sarmiento, A. W. (2015). Caracterización del Manejo de Residuos Sólidos en el Distrito de Desaguadero-Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 17(1), 2-9. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.79>
- Sharma, Dayanand, V. Sudharsan Varma, Kunwar D. Yadav, y Ajay S. Kalamdhad. (2017). Evolution of Chemical and Biological Characterization during Agitated Pile Composting of Flower Waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 6:89-98. doi: 10.1007/s40093-017-0155-9.
- Suh, Hwadam. (2013). *Determinación Del PH y Contenido total de azúcares de varias bebidas no alcohólicas: su relación con erosión y caries dental*. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Tiloom. (2016). Extracto de Pasta Saturada. Obtenido de <https://www.tiloom.com/extracto-de-pasta-saturada/>.