


Síntesis y extracción de sustancias húmicas a partir de residuos orgánicos compostados provenientes de la industria alimentaria Lima, Perú 2022

Synthesis and extraction of humic substances from composted organic waste from the food industry Lima, Peru 2022

Síntese e extração de substâncias húmicas de resíduos orgânicos compostados da indústria alimentar Lima, Peru 2022

Jorge Guzman^{1,2} 

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.149>

RESUMEN

En el Perú el volumen de residuos orgánicos alimentarios está entre el 47% y el 50% del total de residuos sólidos proveniente de la industria alimentaria y otros eslabones de la cadena, siendo las causas de este problema el inadecuado manejo integral y su disposición final. En ese sentido objetivo fue evaluar la síntesis y extracción de sustancias húmicas del compost de residuos orgánicos señalados. La metodología consistió en la compostación vertical (120 días) de 4 pilas más microorganismos activados, el agua en la remoción y ventilación; luego siguió la humificación por 60 días más. En los resultados finales las cuatro (4) pilas de compostación tuvieron valores de síntesis en ácidos húmicos (%) 3.44 ± 0.5 ; 3.30 ± 0.5 ; 3.56 ± 0.5 ; 2.54 ± 0.5 ; y en ácidos fúlvicos: (%) 1.31 ± 0.3 ; 1.46 ± 0.3 ; 1.28 ± 0.3 ; 0.83 ± 0.3 ; con rendimientos de compost por encima del 35% y una humedad sobre el 49%. Los valores del pH están 5 y 7. Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico más baja es 46.3 meq/100g y la más alta fue 51.3 meq/100g. Finalmente el compost obtenido proporcionó un buen índice de germinación en el maíz.

Palabras clave: Sustancias húmicas, compostación, residuos orgánicos, microorganismos activados.

ABSTRACT

In Peru the volume of organic food waste is between 47% and 50% of the total solid waste from the food industry and other links in the chain, the causes of this problem being the inadequate comprehensive management and final disposal. In this sense, the objective was to evaluate the synthesis and extraction of humic substances from the compost of identified organic waste. The methodology consisted of vertical composting (120 days) of 4 batteries plus activated microorganisms, water in removal and ventilation; then followed humification for 60 days. In the final results the four (4) composting piles had synthesis values in humic acids (%) 3.44 ± 0.5 ; 3.30 ± 0.5 ; 3.56 ± 0.5 ; 2.54 ± 0.5 ; and in fulvic acids: (%) 1.31 ± 0.3 ; 1.46 ± 0.3 ; 1.28 ± 0.3 ; 0.83 ± 0.3 ; with compost yields above 35% and humidity above 49%. The pH values are 5 and 7. With respect to the lowest cation exchange capacity is 46.3 meq/100g and the highest was 51.3 meq/100g. Finally, the compost obtained provided a good germination rate in corn.

Keywords: humic substances, composting, organic wastes, activated micro-organisms.

¹Universidad Nacional Federico Villarreal-EUPG, Perú: 2019319153@unfv.edu.pe

²Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua-Amazonas, Perú: jguzman@unibagua.edu.pe

RESUMO

No Peru, o volume de resíduos orgânicos alimentares está entre 47% e 50% do total de resíduos sólidos provenientes da indústria alimentar e outros elos da cadeia, sendo as causas deste problema o inadequado manejo integral e sua disposição final. O objetivo foi avaliar a síntese e extração de substâncias húmicas do composto de resíduos orgânicos identificados. A metodologia consistiu na compostação vertical (120 dias) de 4 pilhas mais microrganismos ativados, a água na remoção e ventilação; depois seguiu a humificação por mais 60 dias. Nos resultados finais as quatro (4) pilhas de compostação tiveram valores de síntese em ácidos húmicos (%) 3.44 0.5; 3.30 0.5; 3.56 0.5; 2.54 0.5; e em ácidos fúlvicos: (%) 1.31 0.3; 1.46 0.3; 1.28 0.3; 0.83 0.3; com rendimentos de compostagem superiores a 35% e humidade superior a 49%. Os valores do pH são 5 e 7; a temperatura aproximadamente 25.16 °C; a condutividade elétrica 2.81 ds/m a mais baixa e 3.52 ds/m as mais altas; a capacidade de troca catiônica CIC 46.3 meq/100g a mais baixa e a mais alta 51.3 meq/100g. O composto obtido proporcionou um bom índice de germinação no milho.

Palavras-chave: Substâncias húmicas, compostagem, resíduos orgânicos, microrganismos activados.

INTRODUCCIÓN

Las sustancias húmicas provienen de la descomposición de la materia orgánica poseyendo una gran cantidad de grupos fenólicos y carboxílicos (Méndez-Martínez, et al. 2020) proveyendo características para el desarrollo de cultivos. Las sustancias húmicas son de estructura compleja y heterogénea (Tahiri et al. 2016), que se encuentran en el medio ambiente terrestre teniendo diversas funciones: como bioestimulantes, aportadores y transportadores de macronutrientes y micronutrientes, mejoradores de la estructura y fertilidad del suelo (Fascella, 2021), así como de su actividad biológica, física y fisicoquímica (Arteaga et al. 2014). Se utilizan en la agricultura para promover el crecimiento vegetal con eficacia y eficiencia en la producción (Hita-Mejía, 2020) y tienen como fuente principal a la leonardita y lixiviados (Tahiri et al. 2016); asimismo tienen como fuentes a compostados de residuos vegetales (Sui et al 2021). Según Capasso et al (2020), estudió la estructura molecular de una muestra comercial de ácidos húmicos (HA) mediante experimentos de diálisis de membrana (MD) y cromatografía de exclusión por tamaño a baja presión (LP-SEC); y afirmó que tiene una estructura macromolecular en vez de ser un agregado supramolecular de relativamente moléculas pequeñas. El tema trasciende por el hecho de comparar diferentes muestras de ácidos húmicos obtenidos de diferentes fuentes. Ying (2014), evaluó la humificación durante el compostaje de residuos de alimentos, aserrín y comida china. Los residuos de hierbas medicinales se investigaron para revelar su correlación con la madurez del compost. Después de hacer los tratamientos se obtuvieron relaciones ácido húmico/ácido fúlvico (HA/HF) incrementaron considerablemente en la medida que se redujo el aserrín en el compostaje y se mantuvo constante la cantidad de hierbas medicinales. Al final del compostaje, se apreció la disminución de compuestos

alifáticos en los ácidos húmicos y el aumento en los grupos funcionales aromáticos, que indicó la madurez del compost. Concluyo que el tratamiento con hierbas chinas proporciona, después de la desaparición de la hemicelulosa y de la lignina durante el compostaje, el núcleo para la formación de ácidos húmicos. Mansi (2020), evaluaron el compostaje mediante la sucesión microbiana marcando la degradación y estabilización de la materia orgánica. Consistió en el diseño de tres reactores aireados a escala de laboratorio: inoculando al compost *Aspergillus niger* en el primero, en el segundo solo compost viejo y en el tercer reactor un control. Comprobaron que el compostaje mejoró sustancialmente al agregar un cultivo microbiano, haciéndolo eficaz, económico y ecológicamente adecuado. Kałuża-Haładyn, A., Jamroz, E., & Bekier, J. (2019). evaluaron la transformación de sustancias húmicas durante el compostaje de biomasa de plantas y residuos sólidos orgánicos urbanos. El compost producido a partir de la mezcla de sauce y biomasa energética de heno contiene sustancias húmicas con una mayor proporción de fracciones de bajo peso molecular y una menor proporción de ácidos húmicos en el carbono orgánico total, que los producidos a partir de desechos sólidos municipales.

A nivel global, en los países industrializados y en desarrollo; los residuos orgánicos alimentarios provienen de los diferentes eslabones de la cadena agroalimentaria, y se estima que son entre el 50% y el 52 % de los residuos totales (Banco Mundial ,2018). Desde 1945, la Food and Agriculture Organization (FAO), ha identificado y ha tratado de manejar la evolución de la data de los residuos alimentarios en las distintas cadenas de suministros, mediante programas de acción de control permanente en los países productores de alimentos. Sin embargo, han pasado más de setentaicinco años y el problema se agudiza, pues de los diferentes factores incidentes, el incremento poblacional contribuye al aumento de los residuos alimentarios en forma insostenible, con

pocas alternativas de uso y o disposición final (Parfitt et al.2010; Parfitt et al.2010). Si este panorama se complica y no se toman medidas urgentes, para el 2050, los desechos totales a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales (Banco Mundial, 2018). En el Perú el volumen considerable de residuos orgánicos alimentarios se encuentra entre el 47% y el 50% del total de residuos sólidos (MINAM 2014), rango señalado por Troschinetz y Mihelcic (2009) para países en desarrollo, proveniente de la industria alimentaria procesadoras de frutas y hortalizas, siendo de los mercados de abastos cantidades más considerables (INEI,2012). El problema de los residuos de alimentos en el Perú tiene causas variables, como es la mala segregación, la falta de manejo integral y de disposición de las distintas cadenas de suministros de alimentos, así como de los centros de producción y consumo (MINAM 2014). La síntesis de sustancias húmicas permitió comprobar que la materia orgánica residual de la agroindustria alimentaria, después del proceso de compostación y humificación, se convirtió en un producto útil para la agricultura.

Los procesos de compostación y humificación, producen sustancias húmicas provenientes de los residuos orgánicos, reduciendo la contaminación al medio ambiente, logrando impactos positivos, como alternativa de solución al problema de generación y disposición final. En lo que respecta al proceso de compostación y humificación (como proceso inicial e intermedio del proceso de humificación) promueve actividades económicas rurales rentables, apoyándose en el modelo de la economía circular, utilizando residuos orgánicos sin valor comercial que luego generarán sustancias orgánicas de alto valor agregado. Lo innovador está en dos aspectos: primero la inclusión de tierra de montaña con microorganismos activados durante la compostación, con la finalidad de acelerar la desintegración y conversión de los residuos en precursores húmicos y

el segundo aspecto es el arreglo en el diseño del apilamiento empaquetado de residuos orgánicos al inicio de la compostación, con la finalidad es darle mejor soporte y condiciones de descomposición estructurada.

Sobre la base de lo mencionado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la síntesis y extracción de las sustancias húmicas provenientes de los residuos orgánicos de la industria alimentaria, previamente compostados, humificados y proponer una metodología de síntesis de las sustancias húmicas, utilizando paquetes diferentes de compostación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se desarrolló en la planta de compostaje de la Municipalidad Provincial de Barranca, Región Lima, en la zona denominada Los Anitos, ubicada en la zona sur este del distrito de Barranca; donde se manejan alrededor de 30 a 50 pilas o camellones de compostaje (Cabrera V & Rossi M. 2016) con obtención de producto cada tres meses y cuyo sistema es de tipo industrial (2.0x50.0x1.5m³) (Suarez, J. 2012). La población estimada es de 144 000 habitantes (INEI, 2018).

La población fue seleccionada convenientemente y dada principalmente por los residuos orgánicos que abastecieron a la planta de compostaje, generados por las fábricas o plantas agro-procesadoras de la industria alimentaria, así como los rastrojos vegetales de los campos de cultivo y de los diferentes centros de acopio (distritos: Supe, Puerto Supe, Pativilca, Paramonga). Complementan los residuos orgánicos de los mercados de verduras, frutas y finalmente los residuos de parques jardines. La muestra es no probabilística por conveniencia. Conformada por las variables independientes: residuos orgánicos alimentarios, microorganismos activados de tierra de montaña; y las variables dependientes: el compost en primera instancia y las sustancias húmicas.

Procedimiento experimental

El experimento consistió en formar 3 pilas o camas compostables (1.5mx1mx1.5m³) más una (1) pila de control o testigo. Los residuos orgánicos estuvieron conformados por paja y pajilla de ajos; cáscara y semilla de mango, cascaras de frutas, hortalizas variadas y los rastrojos de cosecha de maíz, papa, camote y cebolla, asimismo se agregó tierra de montaña conteniendo los microorganismos activados, más agua en la remoción y ventilación de todas las pilas, lo que permitió hacer la medición de la temperatura durante los 120 días de compostación cada quincena. Se procedió a diseñar tres (3) paquetes compostables (variando y alternando los tipos de residuos verticalmente, agregando los microorganismos de montaña (Figura 1) más una pila que solo compostó residuos de rastrojos de cosecha de maíz, papa, camote, cebolla y cáscaras de frutas que sirvió como control (sin la adición de microorganismos de tierra de montaña). La primera pila de compostación tuvo el siguiente diseño: Una pila de ocho capas (8) o camas de residuos con los mismos pesos aproximados (12.5 kg) distribuidos de la siguiente manera de abajo hacia arriba: una primera capa con rastrojos secos de cosecha de maíz, camote, papa o cebolla, la segunda capa de residuos de cáscara y semillas de mango. La tercera capa se agregó paja de ajos, agregando una cuarta capa de residuos de frutas y hortalizas variadas (lechuga, col, mango, sandía, tomate). La quinta capa fue de cáscara de ajo, y la sexta capa es de pajilla del ajo, quedando la séptima capa para residuos de cáscara de mango con sus semillas y se completó la octava capa con pajilla de ajos. A todo ello se agregó microorganismos de tierra de montaña, previamente activados y fortificados con cachaza (Moreno-Escandón et al., 2022).

La segunda pila se hizo un arreglo de ocho camas, intercambiando una cama de rastrojos secos de cosecha (maíz, camote, papa o cebolla) con otra

camas de residuos de cáscara y semilla de mango, hasta alcanzar aproximadamente 1.5m de altura. La tercera pila fue similar a la segunda, solo que ahora en vez de residuos de mango se utilizó residuos de todo tipo de fruta casera (plátano, mandarina, limón, manzana, papaya, uva, mango, ciruelas, fresa) intercambiando con rastrojos secos de cosecha de maíz, camote, papa o cebolla. La pila que sirvió de control o testigo estuvo formada por residuos de rastrojos de cosecha (maíz, camote, papa o cebolla) más cascaras de fruta, pero sin ningún orden vertical de compostación y sin tierra de montaña con microorganismos activados.

Una vez obtenido compost en las cuatro pilas se tomó muestras (1 kilo de cada pila) para llevarlas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el análisis de humedad, pH, temperatura, densidad aparente, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico total, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total.

En el compost, para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, se recurrió a la prueba de saturación con acetato de amonio por cuantificación y volumetría; luego mediante la marcha del método colorimétrico se determinó la cantidad de materia orgánica, basado en la oxidación con dicromato de potasio. Mediante la Prueba Walkley-Black (TOC) se obtuvo el carbono orgánico total, y por la prueba de Micro Kjeldahl se halló el nitrógeno total. Por cálculos operacionales se halló la relación Carbono/Nitrógeno.

Para el análisis de las sustancias húmicas del compost, se utilizó la metodología de la Sociedad Internacional de las Sustancias Húmicas (IHSS), determinando cuantitativamente la concentración por espectrofotometría ultravioleta (UV- vis) y cualitativamente mediante FTIR (espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier).

Del compost se inició la extracción de las sustancias húmicas mediante hidróxido de Sodio (NaOH) al 0.1 M juntamente con pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) al 0.1M (1:1) en la proporción P/V (P corresponde al sustrato y V corresponde al volumen de la sustancia extractante) de 1 a 10, que en algunos casos llevó hasta razones de P/V de 1/20. Seguidamente se dio un tiempo de extracción aproximado que según la IHSS recomienda que 4 horas es tiempo suficiente para solubilizar la mayor parte de la materia orgánica presente en la muestra que se quiere analizar. La extracción se da desde las 0.5 horas hasta las 24 horas. La temperatura de extracción está entre 25°C a 80°C en donde el incremento de la temperatura, independientemente de los componentes y del extractante, lo que hace es incrementar el rendimiento. Para reducir la heterogeneidad de los extractos húmicos, se recurre a un fraccionamiento, cuya metodología más usada es la variación de pH, dada la distinta solubilidad de las sustancias húmicas en medio ácido o básico. De este modo el extracto como esta en medio básico, se baja el pH hasta 2 o menos, agregando ácido (HCL al 0.1 N) con la finalidad de obtener la fracción ácida húmica precipitada y en el sobrenadante obtener la fracción fúlvica con la no húmica. Luego la porción húmica fraccionada es purificada con ácidos minerales con el fin de eliminar compuestos de bajo peso molecular, y restos de proteínas, carbohidratos, lípidos, y sales minerales que han podido quedar después de estos procesos.

Finalmente, la fracción húmica obtenida (extraída, fraccionada y purificada) del compost se midió por espectrofotometría ultravioleta (UV-vis) (380nm a 460 nm) seguida de la medición cualitativa de los grupos funcionales de la sustancia húmica presentes en el compost, en forma directa con ayuda de un dispositivo ATR (Reflectancia total atenuada) y la espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) (lectura en un amplio rango de

espectro que va desde los 700nm a 270nm y frecuencia que va desde los 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1}). La eficacia del compost conteniendo las sustancias húmicas se evaluó midiendo el índice de germinación en la semilla del maíz; aplicando un 80% del compost obtenido de cada tratamiento estudiado 1T, 2T, 3T y 4 T (testigo) en 20% de arena como sustrato de siembra, más un T5 con arena sola, con 3 repeticiones siguiendo un diseño completamente al azar (DCA).

Tabla 1. Flujo de procesamiento del compost para la síntesis y extracción de sustancias húmicas

Recepción de los materiales	Acondicionamiento de los materiales	Aireación	Disposición de las pilas de compostaje	Aireación y remoción	Aireación y remoción	Aireación y aireación	Envasado
Residuos variados alimentario: frutas, hortalizas y residuos de procesamiento de alimentos			X1				<p>C</p> <p>Compost humificado conteniendo sustancias húmicas</p> <p>Medida de parámetros químicos fisicoquímicos</p>
Rastrojos vegetales/húmedos y secos.			X2			Y1 Y2	
Microorganismos activados de tierra de montaña para compost			X3			Medida de Temperatura, Humedad y pH	
Acondicionamiento de materia prima	Después de una semana Agregado de agua	Agregado de agua	<ul style="list-style-type: none"> Medición de las propiedades fisicoquímicas y químicas del compost. 	Agregado de agua	Agregado de agua	Aireación	Medición de sustancias húmicas

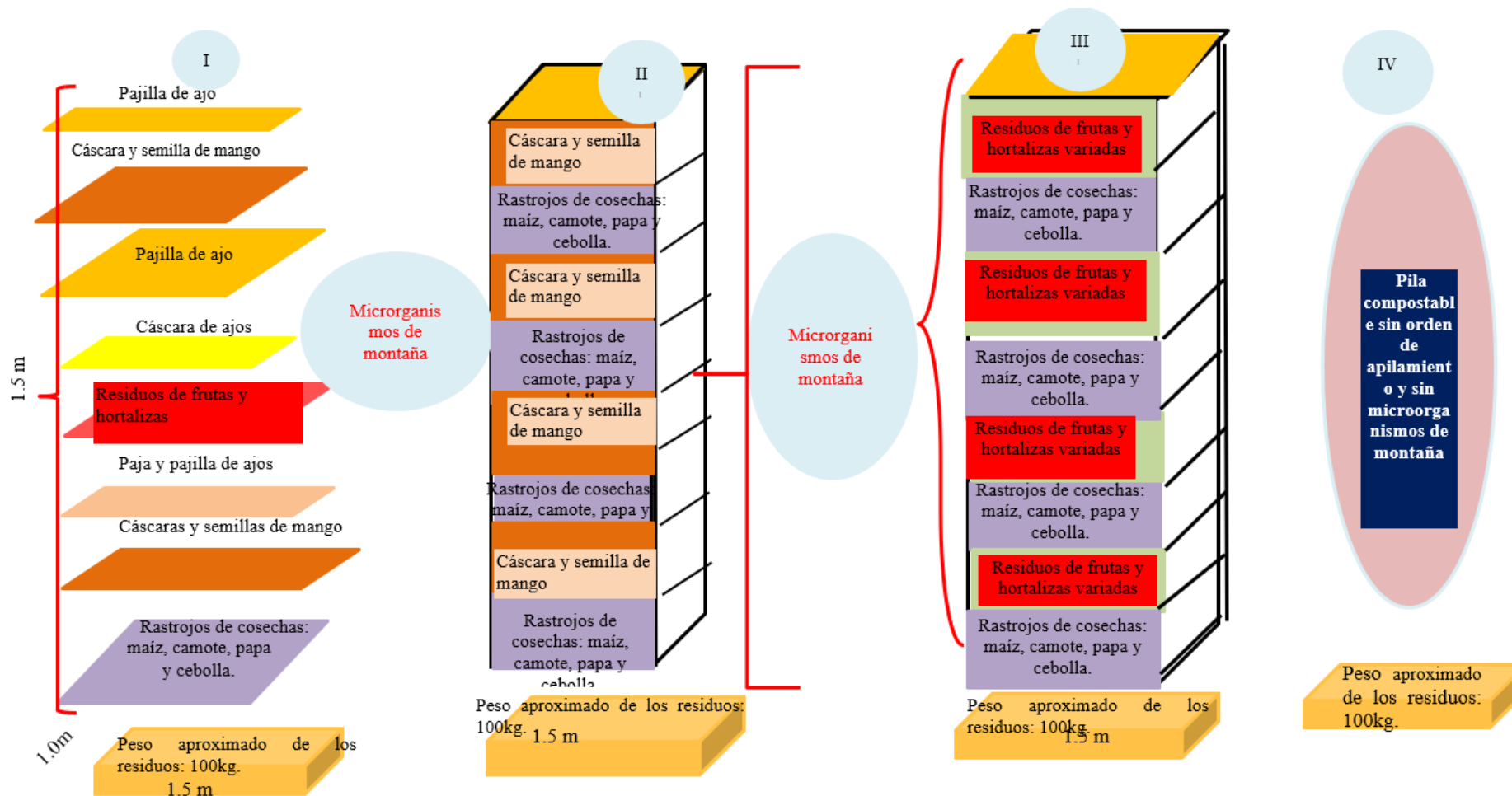


Figura 1. Diagrama del diseño del compostaje para la síntesis y extracción de sustancias húmicas

RESULTADOS

De las pilas de compostación se tuvo rendimientos de alrededor del 40%, durante los 4 meses de evaluación, la pila 4 fue la que tuvo menor rendimiento (35.66%) con una desviación estándar de la 0.65 (Tabla 2).

Tabla 2. Pesos de los residuos orgánicos compostados y el rendimiento del compost obtenido.

Materiales de trabajo: residuos orgánicos compostados	Peso aproximado residuos (kg)	Rendimiento del compost (%)
Pila 1 más MOMA	100	41.35±.25
Pila 2 más MOMA	100	42.70±0.35
Pila 3 más MOMA	100	40.25±0.55
Pila 4 sin MOMA	100	35.66±0.65

MOMA: microorganismos de montaña activados

En la Tabla 3 la humedad está en la mayoría de las pilas por encima del 50%, respecto al pH los valores son alcalinos y temperatura levemente por encima de la ambiental. La conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio de cationes presenta valores de un compost maduro.

En la Tabla 4, el carbono orgánico total muestra correspondencia con la materia orgánica (mayor a 50%). La relación Carbono/Nitrógeno mayor a 11, indica una buena conversión de la materia orgánica inicial. El nitrógeno (mayor a 1%) el fósforo (mayor a 1%) están en ordenes considerables de un compost maduro.

La tabla 5 muestra los resultados de las sustancias húmicas y fúlvicas extraídas de las 4 pilas compostadas, con apreciables cantidades, sobre todo de la primera y segunda pila con valores por encima del 3%.

La tabla 6, hace referencia a la presencia de grupos funcionales en las sustancias húmicas y fúlvicas, encontrándose solo en las dos primeras pilas de compostación y en las repeticiones.

En la Tabla 7 se presentan el valor del índice de germinación del maíz utilizando el compost elaborado

de las 4 pilas en la proporción de 80/20 con arena de río. Los valores superan el 90 %.

DISCUSIÓN

Los valores de humedad, pH, temperatura y densidad aparente del compost obtenido guardan relación con NCAT, (2015); Tello et al. (2015); Huerta, et al (2021) y de López et al. (2017) en donde la temperatura llega a estabilizar entre 23 y 25 °C (niveles de temperatura ambiental) después del periodo de compostación, ya que al inicio es muy similar, pero en la medida que pasan las semanas se incrementa hasta culminar el trabajo de las termófilas (50°C- 60°C) y desciende la temperatura hasta los valores reportados (mesófila).

La humedad está en los niveles (48-56%) en donde hay buen trabajo de los microorganismos aerobios, buena ventilación y la garantía que circula bien el oxígeno, del mismo modo el pH que muestra una tendencia hacia la alcalinidad (5.48-7.27) por la generación de amoníaco producto de la descomposición del material compostado. Esos valores indirectamente están indicando una adecuada aireación y liberación de ácidos orgánicos. La densidad aparente del compost (0.51-0.58 g/cm³), evidencia un nivel de porosidad adecuado, suficiente y útil como fertilizante para la actividad agrícola, dentro de los estándares de calidad (López-Bravo, 2017). Los valores para la conductividad eléctrica muestran un compost de calidad (Atoche, JP 2023) y para la capacidad de intercambio catiónico permiten el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en los cultivos (Millán et al., 2018). La capacidad de intercambio de cationes, son los adecuados según los resultados de Oviedo-Ocaña E. et al (2019).

En la Tabla 4 el carbono orgánico total, muestra valores que infieren el inicio de un buen nivel de materia orgánica dando al final de la compostación buenos resultados de correspondencia con la materia

orgánica (mayor a 50%). En cuanto a los elementos nitrógeno total y fósforo total, los valores están por debajo de los estándares de calidad (CONAMA 2004 NCh. 2880.Of2004), muy probable se deba a que el compost aún no concluye procesos de desnitrificación y no haya suficientes bacterias nativas solubilizadoras de fósforo (Velasco, 2021). La relación carbono/nitrógeno resalta cantidades adecuadas de materia orgánica estructurada, debido a la buena proporción de las materias primas vegetales utilizados, como son los rastrojos y brozas de las cosechas (que contienen materia leñosa) y la actividad de los microorganismos de montaña, activados en melaza que en conjunto han acelerado la descomposición de la materia vegetal (Cabrera & Rossi, 2016; Dores-Silva et al 2018; Mansi Rastogi et al 2020). Esto se debe en buena medida a la alta cantidad de material leñoso utilizado para la compostación (Cabrera & Rossi, 2016).

De la Tabla 5, el porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos son adecuadas según Kaluza et al (2019); Kaluza-Haladyn et al. (2019) la transformación de los residuos orgánicos en sustancias húmicas puede utilizarse como un índice de madurez del compost, resultando que el experimento ha obtenido sustancias húmicas en cantidades considerables. Se dice que la calidad de las sustancias húmicas está en función a la calidad de los compostados, ya que se ha obtenido una buena composición cuantitativa y cualitativa de sustancias húmicas (Kaluza_Haladyn et al. 2019), dando porcentajes considerables y asimismo prevaleciendo la existencia de grupos funcionales aromáticos en varios tratamientos, según el reporte espectrofotométrico infrarrojo, las bandas se leen entre 1720 cm⁻¹ y 1620 cm⁻¹ (Izquierdo et al., 2004). La muestra compostada y humificada reportó grupos funcionales tales como hidroxilos, grupos carbonilos, enlaces tipo éster y presumiblemente aldehídos. Sin embargo, en el tercer y cuarto tratamiento compostado y humificado, no se presentaron grupos

funcionales. La razón del último caso se presume que como la compostación no tuvo microorganismos activados presentes en la tierra de montaña, no hubo o hubo poca formación de precursores húmicos, por lo tanto después, durante la humificación no hubo una maduración total de dichas sustancias, resultando la síntesis sin ningún grupo químico, sino solo sustancias húmicas con cadenas alifáticas (Tahiri, A., et al 2016) provocando que la lectura de los picos de absorbancia hayan sido bien tenues y no se manifiesten en el espectro FTIR (Dores- Silva, et al 2018; Mansi et al. 2020).

Con respecto al índice de germinación de la semilla de maíz hay efecto del compost conteniendo sustancias húmicas, ya que todas las pilas ofrecen compost que generan más del 90 % del índice de germinación incluso hasta el testigo o control de la compostación para esta prueba de germinación tuvo 60% de índice. Asimismo, la estadística señala que hay diferencias significativas entre los tratamientos; aduciendo que ciertos tratamientos aportan de manera distinta al índice de germinación de la semilla del maíz.

Tabla 6. Presencia de grupos funcionales químicos en las sustancias húmicas

Compost humificado	Análisis espectrofotométricos de las sustancias húmicas		
1	GF	GF	GF
2	GF	GF	GF
3	NGF	NGF	NGF
4	NGF	NGF	NGF

GF: Presenta grupos funcionales; NGF: No presenta grupos funcionales.

Tabla 3. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos evaluados

Materiales resultantes (variable dependiente)		Humedad (%)	pH	Temperatura (° C)	D. aparente (g/cm³)	Conductividad eléct. (dS/m)	Cap. de int. de cationes (meq/100g)
Compost (Pila 1)	1	55.5±0.85	6.73±0.1	25.16±2	0.58±0.02	2.81±0.3	48.3±0.5
Compost (Pila 2)	2	49.5±0.66	7.10±0.1	23.5±2	0.53±0.02	3.33±0.3	51.3 ±0.5
Compost (Pila 3)	3	53.3±0.45	7.26±0.1;	23.16±2	0.51±0.02	3.52 ±0.3	47.3 ±0.5
Compost (Pila 4)	4	54.2±0.55	5.58±0.1	23.00±2	0.61±0.02	2.56 ±0.3	46.3±0.5

Tabla 4. Carbono orgánico total, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total y la relación C/N

Materiales	Carbono orgánico total (COT) (%)	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo total (%)	Relación C/N
Compost 1 (Pila 1)	32.8±0.3	51.97 ±0.5	1.36±0.1	1.16±0.1	12.11±0.7
Compost 2 (Pila 2)	33.9±0.3	55.93±0.5	1.43±0.1	1.10±0.1	11.90 ±0.8
Compost 3 (Pila 3)	31.7 ±.3	54.57±0.5	1.46±0.1	1.2±0.1	11.98 ±0.8
Compost 4 (Pila 4)	31.1±0.3	51.36±0.5	1.03±0.1	1.03±0.1	13.13±0.8

Tabla 5. Porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos extraídos

Materiales	Ácidos húmicos (%)	Ácidos fúlvicos (%)
Compost humificado 1	3.44±0.5	1.31±0.3
Compost humificado 2	3.30±0.5	1.46±0.3
Compost humificado 4	3.56±0.5	1.28±0.3
Compost humificado 4	2.54±0.5	0.83±0.3

Tabla 7. Prueba del índice de germinación de semilla de maíz con el compost.

Tratamientos	Evaluación del compost con la arena		Índice de germinación (%)	
	Materiales	Compost (%)		Arena (%)
Tratamiento 1/Compost 1		80	20	96 ± 1
Tratamiento 2/Compost 2		80	20	95±1
Tratamiento 3/Compost 3		80	20	95±1
Tratamiento 4/Compost 4		80	20	92±1
Testigo		0	20	60±1

De las comparaciones múltiples, aplicando la prueba de tukey, los tratamientos T1, T2 y T3 provocan el mismo efecto en el porcentaje de germinación en un intervalo de confianza al 95%; dejando al T4 y T0 (testigo) como los tratamientos que muestran diferencias con los anteriores tratamientos.

CONCLUSIONES

La investigación conllevó a la síntesis de sustancias húmicas en la compostación de residuos orgánicos proveniente de la producción agrícola y del procesamiento de productos agroexportables de la industria alimentaria.

La propuesta metodológica de compostar los residuos orgánicos verticalmente en forma intercalada tanto de cáscaras de frutas y rastrojos de tubérculos, raíces u hortalizas, agregando tierra de montaña conteniendo microorganismos activados; dio indicadores de compost maduros y estables, acordes con los parámetros de las normas técnicas y generador de sustancias húmicas durante su maduración. La compostación permitió obtener un producto de calidad según la normatividad (Norma NCh2880 - 2004 y NADF - 020 - AMBT - 2011), mas no se supo la calidad de las sustancias húmicas, sin embargo, por los grupos orgánicos encontrados se infiere que puede funcionar como un buen fertilizante.

La compostación y humificación permitió la reducción de volúmenes de residuos sólidos orgánicos, cercanos al 50%, proveniente de la agro industria alimentaria y generan un impacto positivo ya que el compost producido, contiene sustancias húmicas usado como sustrato para la germinación de semillas, además como enmienda orgánica del suelo, pues mejora sus propiedades físicas, químicas, biológicas y ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arteaga Barrueta, Mayra, Garces, Nelson Guridis,

Fernando, & Pino, José A. (2014). A review about the impact of humic substances on lixiviation of water-soil system (I). *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 23(3), 83-88. Recuperado en 23 de Agosto de 2021 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S2071-00542014000300013&lng=es&tln=es.

Atoche Cornejo, J. P. (2023). Aprovechamiento de los subproductos del proceso de la caña de azúcar para obtener compost de la empresa Caña Brava. Recuperado de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/4370/CSAMBI-ATOCOR-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Banco Mundial (2018). Informe titled: What a waste 2.0 A Global Snapshot of solid waste management to 2050. Comunicado de Prensa N ° 2018/037/SURR. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

Barrera, A., & Hurtado, D. (2020). Factibilidad Económica, social y ambiental de las instituciones educativas públicas sobre las técnicas de compostaje en la localidad de Kennedy [Trabajo para optar al Título de Especialista en Gestión Empresarial]. Recuperado de <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1327>

Cabrera V. & Rossi M. (2016); Propuesta para la elaboración de compost a partir de residuos vegetales, provenientes del mantenimiento de las áreas verdes pública del distrito de Miraflores. Trabajo de Titulación para optar el grado de Ingeniero Agrónomo e ingeniero ambiental. UNALM. Recuperado de

- <https://1library.co/document/yne9990y-propuesta-elaboracion-residuos-vegetales-provenientes-mantenimiento-publicas-miraflores.html>
- Capasso, S.; Chianese, S.; Musmarra, D.; Iovino, P. Macromolecular structure of a commercial humic acid sample. *Envir.* 2020; 7 (4): 32. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/environments7040032>.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente. CH). 2004. Norma de calidad del compost, clasificación y requisitos (en línea). Instituto Nacional de Normalización. INN CHILE. NCh. 2880.Of2004. Recuperado de <https://miros.cl> > NCh_2880_Compost_Clasificación
- Dores-Silva, PR, Landgraf, MD & Rezende, MOO. Proceso de humificación en diferentes tipos de residuos orgánicos mediante compostaje y vermicompostaje: ¿los micro biorreactores realmente han acelerado el proceso? *Environ Sci Pollut Res* 25, 1749017498 (2018). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1908-3>
- Fascella, G.; Montoneri, E.; Roupheal, Y. Sustancias húmicas derivadas de residuos biológicos mejoran el crecimiento y la calidad de las plantas de jasmín naranja (*Murraya paniculata* L. Jacq.) En cultivo en macetas sin suelo. *Recursos* 2021, 10, 80. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/resources10080080>
- Hernández, R. (2017). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Mc GrawHill. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hita-Mejía. (David) de. “Efectos de los ácidos húmicos sedimentarios en los microbiomas endófitos: implicaciones y potencial agronómico. García-Mina, J.M. y Fuentes, M. (dirs). Tesis doctoral. Universidad de Navarra, Pamplona, 2020. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10171/60661>
- Huerta Quinchok, Camila Marsell; Treviño Huerta, Estefany Lisset (2021). Determinación de la calidad del compostaje producido por ventilación forzada y por pilas (cielo abierto) a partir de los residuos orgánicos del comedor universitario de la Universidad Peruana Unión [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/4525>
- Izquierdo, M., Antelo, J., Fio, S., Gondar, D., Iglesias, A., López, R., & Arce, F. (2004). Caracterización de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos extraídos de una turbera minerotrófica. *Revista EDAFOLOGIA*.(España), 11(3), 329-339.
- INEI (2012). “Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales”. Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU)”. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/contenido/3452.pdf>.
- INEI (2018). Region Lima. Estudios definitivos. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1550/15BTOMO_01.pdf
- Kałuża-Haładyn, A., Jamroz, E., & Bekier, J. (2019). Humic substances of differently matured composts produced from municipal solid wastes and biomass of energetic plants. *Soil Science Annual*, 70(4), 292–297. Recuperado de <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0026>
- López Bravo, Anderson; Javier Andrade Rivera, Miguel Herrera Suárez, Omar Gonzalez Cueto y Armando García de la Figal Costales. Propiedades de un compost

- obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. Vol.44, No.3, julio-septiembre, 49-55, 2017. Recuperado de <http://cagricola.uclv.edu.cu>.
- Mansi Rastogi, Meenakshi Nandal, Babita khosla (2020), "Microbes as vital additives for solid waste composting". Volumen 6 issue E03343, Febrero 01,2020. Recuperado de [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)30188-2.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)30188-2.pdf)
- Méndez-Martínez, Z.Y.1, Cervantes-Arista, J.I.1, López-Núñez, M.F.2, Villafañá-López, L.1, Quiroz Ramírez, J.J.3, Guerra-Sánchez, R.J.1, Suárez-Toriello V.A.3. Obtención de sustancias húmicas a partir de un residuo industrial carbonoso. Congreso Internacional de desarrollo sustentable y energías renovables 2020. (Asociación Latinoamericana de desarrollo sustentable energías renovables) ALDESER. Recuperado de https://cidser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/proceedings_cidser_2020_final.pdf
- MINAM (2014). Sexto informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales 2013. Editorial de la Dirección de investigación e información Ambiental. Recuperado de <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>
- Millán, Fernando, Prato, José Gregorio, La Cruz, Yésica, & Sánchez, Adriana. (2018). Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost. Revista Colombiana de Química, 47(2), 21-27. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338>.
- Moreno-Escandón, L., Perea-Soto, D., Soto-Paz, J., Torres-Lozada, P., & Marmolejo-Rebellón, L. F. (2022). Improvement of Biowaste Composting by Addition of Sugarcane Filter Cake as an Amendment Material: Mejora del compostaje de biorresiduos mediante la incorporación de cachaza como material de enmienda. Revista Ingeniería y Universidad, 26, 1+ Recuperado de <https://link.gale.com/apps/doc/A694379206/IFME?u=anon~75c85f96&sid=googleScholar&xid=f674cdcb>
- NCAT (Programa del Centro Nacional de Tecnología Apropiada). 2015. Hoja de Datos: Compost. Proyecto ATTRA Sustainable Agriculture attra.ncat.org/español/index.html. Recuperado de [https://www.ams.usda.gov/~/FINAL Compost](https://www.ams.usda.gov/~/FINAL%20Compost)
- Oviedo-Ocaña E. Dominguez, I, Komilis, D & Sanchez,A (2019) Co composting of green waste mixed with unprocessed and processed food waste: Influence on the composting process and product quality. Waste and Biomass Valorization, 10(1), 63-74. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-0047-2.10>
- Parfitt J. et al (2010). "Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. Phil. Trans. R. Soc. B (2010) 365, 3065–3081. Recuperado de <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>.
- Suarez, J. (2012). "Aprovechamiento de los Residuos Sólidos provenientes del beneficio del Café, en el Municipio de Betania Antioquia: Usos y Aplicaciones. [Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligros]. Recuperado de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf

- Sui, W.; Li, S.; Zhou, X.; Dou, Z.; Liu, R.; Wu, T.; Jia, H.; Wang, G.; Zhang, M. Potential Hydrothermal-Humification of Vegetable Wastes by Steam Explosion and Structural Characteristics of Humified Fractions. *Molecules* X, 26, 3841(2021). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/molecules26133841>
- Tahiri, A., Richel, A., Destain, J et al. Comparación completa de la caracterización química y estructural de las fracciones húmicas de lixiviados de vertedero y leonardita. *Anal Bional Chem* 408, 1917-1928 (2016). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00216-016.9305-6>
- Tello P. Lilly y Vega R. Rubí A. Metodologías para determinar la retención de la humedad en el compost. *Anales Científicos*, 76 (1): 186-192 (2015). <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.780>
- Troschinetz A., Mihelcic J. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, volumen 29 (número 2), 2009:915- 923. Recuperado de <http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2017/10/1-s2.0-S0956053X08001669-main.pdf>
- Velasco Salas, A. I. (2021). Inoculación de compost con microorganismos solubilizadores de fosfato y su efecto sobre la disponibilidad del fósforo. Recuperado de <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13510/VELASCO%20SALAS,%20A NAHIS%20ISABEL.pdf?sequence=1>
- Ying Zhou, Ammaiappan Selvam, Jonathan W.C.Wong. Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues. *Bioresources Technology* (2014). Recuperado de