

Aprovechamiento de Residuos Vegetales para la Biorremediación en la Implementación de un Fertilizante Orgánico

Use of plant residues for bioremediation in the implementation of an organic fertilizer

Recibido 21 de noviembre de 2023
Aceptado 15 de diciembre de 2023
www.unipaz.edu.co

Jhennifer Alejandra Pineda Aldana^a, Cristhian Camilo Rodríguez Larrotta^b, Sandra Milena Montesino Rincón^c, Rafael Calderón Silva^d, Ana Milena Salazar Beleño^e

Resumen: La agroindustria produce bienes y servicios para la humanidad, genera empleo para una población o una región en particular y dinamiza la economía, además genera productos alimenticios que bien pueden transformarse, conservarse o usarse de manera inmediata. Un aspecto importante a tener en cuenta en las empresas agroindustriales es la responsabilidad ambiental que deben tener. La mayoría de empresas producen residuos, que difícilmente les dan un buen aprovechamiento y se observa acumulación como lo es en la palma de aceite, el banano, el café, el queso (el suero sobrante lo arrojan a quebradas), las trilladoras de arroz, etc. Por otro lado, los suelos muestran un empobrecimiento de minerales por la siembra continua de un mismo cultivo (monocultivos), el laboreo permanente y la erosión, ocasionando una pérdida de materia orgánica año tras año. El objetivo de este trabajo es la utilización de material orgánico residual agroindustrial que se usa en la creación de un abono orgánico que ayude a mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo. La naturaleza ya lo hace a diario y en los bosques se ve como hay un dosel de hojarasca que cubre el suelo y se presenta un reciclaje de nutrientes que permite acumular materia orgánica en forma de ácidos húmicos y fúlvicos, luego de un proceso de degradación, toda esta materia interacciona con los microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos. Para ello se usó residuos como cáscaras de mazorcas de cacao, residuos de podas, hojas y cortes de pasto provenientes de zonas verdes se compostaron con la ayuda de microorganismos como MM (microorganismos de montaña) y luego de compostados aplicados a los cultivos. Al final, se obtuvo un producto con características organolépticas agradables con olor a tierra de bosque y de color negro, mostrando un buen proceso de compostaje.

Palabras claves: Residuos orgánicos agroindustriales, hojarasca, materia orgánica MO, compostaje.

Abstract: Agribusiness produces goods and services for mankind, generates employment for a particular population or region and boosts the economy, in addition to generating food products that can be transformed, preserved or used immediately. An important aspect to take into account in agroindustrial companies is the environmental responsibility they must have. Most companies produce waste, which is difficult to make good use of and accumulation is observed in the oil palm, banana, coffee, cheese (the leftover whey is thrown into streams), rice threshing machines, etc. On the other hand, soils show a mineral impoverishment due to the continuous sowing of the same crop (monocultures), permanent tillage and erosion, causing a loss of organic matter year after year. The objective of this work is the utilization of agro-industrial residual organic material used in the creation of an organic fertilizer that helps to improve the chemical, physical and biological conditions of the soil. Nature already does this on a daily basis and in forests

a. Estudiante Especialización en Agronegocios.

b. Estudiante Especialización en Agronegocios.

c. Docente Escuela Ingeniería Agroindustrial.

d. Docente Escuela Ingeniería Agroindustrial.

† Sandra.montesino@unipaz.edu.co

there is a canopy of leaf litter that covers the soil and there is a recycling of nutrients that allows the accumulation of organic matter in the form of humic and fulvic acids, after a degradation process, all this matter interacts with microorganisms such as fungi, bacteria and actinomycetes. For this purpose, residues such as cocoa husks, pruning residues, leaves and grass clippings from green areas were composted with the help of microorganisms such as MM (mountain microorganisms) and then composted and applied to the crops. At the end, a product with pleasant organoleptic characteristics was obtained, with a forest soil smell and black color, showing a good composting process.

Key words: Agro-industrial organic waste, leaf litter, organic matter MO, composting.

Introducción

La agroindustria ha generado un gran impacto, y puede ser positivo o negativo, en lo económico, social y ambiental. Estos tres niveles se relacionan entre sí, pero hay que mantener un equilibrio.

En la agroindustria se conocen diversos niveles, los cuales mayormente inician con la actividad agrícola, transformación e industrialización; el proceso da como resultado la obtención de alimentos o materias primas semielaboradas que van destinadas al mercado (Vargas, 2018).

Según la FAO (1997) citado por Vargas y Pérez (2018), la agroindustria puede clasificarse en dos clases: 1) la alimentaria y 2) la no alimentaria:

1) Agroindustria alimentaria: hace parte de un sinnúmero de actividades que generan un 6.2 % del PIB, según Procolombia (2012) citado por Vargas y Pérez, donde se reconocen algunos sectores como cacao, cárnico, acuícola, lácteo, chocolatería, hortofrutícola, caña de azúcar, arroz y todo lo relacionado con alimentos (Vargas y Pérez, 2018).

2) Agroindustria no alimentaria: es el sector en el que participan empresas transformadoras del cuero (curtiembres), elaboración de jabones, madera, entre otras. En ambos tipos de empresas agroindustriales suelen generarse desechos o residuos que se convierten en un problema ambiental, aprovechando residuos que generan los subproductos agroindustriales (Vargas y Pérez, 2018).

En Colombia estos residuos, en muchos casos, no se han logrado aprovechar de manera precisa y una de las principales razones es la falta de conocimiento sobre los métodos apropiados para su proceso, o se desconocen los subproductos que se pueden obtener o transformar, los recursos económicos que demanden estos nuevos subproductos, o la nueva comercialización. Es un problema ambiental de gran relevancia, si se nota que la población está creciendo a pasos agigantados y la demanda de nuevos productos y servicios es necesaria.

El aprovechamiento racional de subproductos agroindustriales contribuye a dar solución a la problemática ambiental; por consiguiente, estos residuos, antes un problema, pueden ser un aliado para mejorar los suelos de la agricultura. Según Yepes et al. (2018) quien cita a Abraham, Ramachandran y Ramalingam (2007); Vijayaraghavan, Ahmad y Soning (2007); Tsai, (2008) concluye que hay tres tecnologías para la recuperación de residuos: 1) la valorización térmica; 2) la obtención de combustibles, y; 3) la valorización biológica y química (Yepes, 2008).

Este artículo tiene como objetivo general aprovechar los residuos vegetales para la biorremediación en la implementación de un fertilizante orgánico y como objetivos específicos: realizar una revisión bibliográfica, social, cultural, económica y ambiental sobre alternativas que existen para aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de subsectores como el agrícola, pero prima el ambiental, siendo esta la base donde inicia este proceso para el mejoramiento de la calidad ambiental.

Para López et. al (2022), la hojarasca es importante en el funcionamiento del ecosistema, ya que al acumularse en el suelo como un mantillo sirve de hábitat y alimento a muchos seres vivos (como artrópodos, moluscos, y anélidos entre otros) y microorganismos que descomponen y transforman la materia orgánica como celulosa, hemicelulosa,

pectinas que conforman una red trófica compleja en el suelo (Baquero, 2019).

Es clave como una vía de transferencia de nutrientes y energía entre las plantas y el suelo. También es fuente importante en la alimentación de rumiantes en etapas críticas del año (Álvarez, 2013).

Residuos Agroindustriales: Impacto en el Medio Ambiente

La contaminación es producida por el hombre y/o actividades humanas, siendo perjudicial para el medio ambiente y por ende afectando a los seres vivos que habitan los ecosistemas; también afecta recursos tan importantes como el aire, suelo y agua. El generar residuos sólidos, líquidos y gaseosos es un foco focos de contaminación si no son procesados de una forma adecuada (Bermúdez, 2016).

Es muy común observar cómo los residuos de cosechas como cultivos de arroz, sorgo, maíz (Figura 1 y 2) son eliminados por medio de las quemadas, antiguamente en los cultivos de palma, el cuesco, la fibra o los racimos eran ubicados en un lote por montones y luego quemados.

Figura 1. Lote de maíz quemado luego de la cosecha.



Fuente:

<https://www.noroeste.com.mx/especiales/campo/quema-de-soca-reduce-la-calidad-de-los-suelos-EVNO1166839>

Figura 2. Quema de residuos en lote de arroz luego de la cosecha.



Fuente: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1305831/>

En zonas residenciales, zonas verdes, parques y de jardines es común recoger las hojas y las ramas que caen al suelo; pero se hace una incorrecta disposición de los desechos, por ejemplo, por lo general se queman, liberando CO₂ a la atmósfera y contribuyendo a otros problemas ambientales; en otras situaciones solo se amontonan y se acumulan, pero no se les da ningún uso, para al final terminar quemándolos o disponiéndolos en los contenedores de basura, saturando los rellenos sanitarios.

La correcta disposición de las hojas y ramas se descomponen (hojarasca) convirtiéndose en un buen abono orgánico y así, si este es inoculado con microorganismos descomponedores, se acelera el proceso de compostaje. En los bosques, este mismo proceso permite y favorece el reciclado de nutrientes de las selvas y bosques, enriqueciendo o ciclando los nutrientes en el ecosistema (Martínez, 2016).

En la industria de la palma, luego de la extracción de aceite, produce residuos como racimos de fruta vacíos (tusas), cuesco, fibra y efluentes de la planta extractora (base húmeda) (Elbersten, 2013).

El procesamiento de palma de aceite también se ha convertido en generador de residuos y por ende también ha tenido gran impacto ambiental ya que en Colombia y en el mundo se lleva a cabo este cultivo, generando efluentes contaminados, como aguas y lodos residuales; residuos sólidos

(impurezas de la fruta, cuesco y tusas vacías) (AGRONET, 2020). En el mundo se producen entre 10 a 15 millones de Ton de cuesco y en Colombia, cerca de 200.000 a 300.000 Ton, lo cual muestra que es un potencial de captura de Carbono muy grande (Van Dam, 2016).

En el proceso del arroz la cadena de producción es corta, por ejemplo, una parte se realiza en campo con la producción y cosecha del arroz paddy (húmedo, cosa cascarilla) y la segunda parte se realiza en el molino, donde se recibe, se seca, se trilla, se obtienen subproductos, se empaqueta y comercializa, en ese proceso la cascarilla se ha convertido en un problema en algunos casos. La razón, está relacionada con la composición química, es básicamente fibras, celulosa, y minerales. Su uso en la alimentación animal en la elaboración de concentrados se restringe debido a su alto contenido de silicio (SiO₂), debido a que este elemento disminuye notablemente su digestibilidad (Cardona, 2013). Igualmente, su naturaleza química no le permite una buena descomposición. Agronet (2020) informa que, según datos del Ministerio de Agricultura, en Colombia se cultivan alrededor de 490.000 has de arroz al año, de los cuales se generan alrededor de 6.300.000 Ton de residuos agroindustriales., en lo relacionado con las pajas en campo y con las cascarillas en el molino.

En general, en la mayoría de las actividades agroindustriales se emite agentes contaminantes, sobre todo en las aguas residuales, presentándose cargas orgánicas, patógenos y alta concentración de sólidos, grasas y aceites, como en la industria de sacrificio animal (avícolas, porcícolas, bovinos). Lo anterior puede provocar disminución de oxígeno sin la fuente receptora, muerte de especies en el ecosistema acuático, emisión de metano (CH₄) o formación de una capa de sedimento en el fondo del cauce produciéndose una degradación anaeróbica con la consecuente de formación de gases GEI y emisión de olores desagradables (Pagans, 2015).

Residuos Agroindustriales para la Protección del Medio Ambiente

Los residuos agroindustriales tienen altas posibilidades de ser aprovechados, siendo generadores de grandes beneficios de tipo económico, ambiental, cultural y social. A raíz de este hecho, en la actualidad, con estos residuos se han planteado y ejecutado innumerables proyectos de investigación que ayudan a la recuperación de los ecosistemas y contribuyen a mitigar el impacto socioeconómico; un ejemplo de estos es la obtención de compost, los bioenergéticos, la producción de comida para animales a partir de las tortas (palmiste, soya, algodón, ajonjolí entre muchos otros), fabricación de material para construcción u otros productos de interés con un valor agregado.

Uno de los beneficios más interesantes de conversión de residuos agroindustriales es la transformación e implementación adecuada del compost o abonos orgánicos (Jurado-Erazo, 2022).

La adición de este tipo de productos trae grandes beneficios al suelo como aireación, mejora de la textura, se convierte en fuente de nutrientes para las plantas y microorganismos, mejora las condiciones de agua y suelo, mejoramiento de las condiciones biológicas, en general pueden mejorar y aumentar las condiciones fisicoquímicas del suelo aumentando su fertilidad actual (Ramos, 2014).

Importancia de los Microorganismos

En los bosques y selvas del mundo hay un perfecto balance de nutrientes, los minerales se conservan en las hojas y ramas, pero cuando estas caen al suelo empieza la degradación de la materia orgánica perdiendo color, humedad y por acción de microorganismos como hongos, bacterias y *actinomyces* retornan nutrientes al suelo que pasarán nuevamente a las plantas y el ciclo continúa (Nuñez, 2015).

Los microorganismos juegan un papel importante en la fertilidad del suelo, inicialmente en la génesis del suelo los microorganismos atacan el material parental rocoso y permiten que se fraccione en porciones cada vez más pequeñas. El doctor Ramírez Caro, en su obra “Técnicas básicas en agricultura alternativa” menciona que unos primeros pobladores de la roca serían microorganismos quimiolitotróficos como *Thiobacillus* o quimiolitotróficos como *Vibrio desulfuricans* en depósitos de petróleo y azufre y especies de *Leptothrix* y *Crenothrix* en la formación de menas de hierro (Ramírez, 2006). Los microorganismos sintetizan enzimas que degradan la roca y van produciendo materia orgánica. Las condiciones son anaeróbicas y en ausencia de luz.

Un segundo grupo de microorganismos que precisan de oxígeno disuelto (aeróbicos) para sus procesos metabólicos, se encuentra a las cianobacterias (antes llamadas algas verde-azules) son fotosintéticas, algunos son capaces de fijar el N atmosférico (Guzmán, 2021). Debido a su actividad se acumula materia orgánica y se observan colonizaciones de bacterias, algas, hongos, protozoos y actinomicetos.

Los hongos son descomponedores de materia orgánica, incrementan el reciclamiento de nutrientes. Los protozoos, al igual que los hongos, son eficientes descomponedores de materia orgánica; se destacan por su alta capacidad para ingerir virus, cianobacterias, algas, hongos y a otros protozoarios. Permiten un control de poblaciones microbianas manteniendo un equilibrio en el suelo.

En el suelo también se encuentran macroorganismos como los detritívoros que en conjunto son descomponedores que habitan en la hojarasca, entre ellos hay lombrices de tierra, amebas, nematodos, rotíferos, tardígrados, colémbolos, oribátidos, insectos (coleópteros [escarabajos], hemípteros, himenópteros terrestres), moluscos, ácaros, oniscídeos y diplópodos; de la microfauna se pueden encontrar la rana de la hojarasca *hadadus binotatus*, la lagartija de la hojarasca *cricosaura* típica y aves

como *Seiurus aurocapilla* se alimenta de la hojarasca y la usa para armar su nido (Viñuales, 2011).

Microorganismos de montaña MM

Los microorganismos del suelo son muy importantes y cumplen diferentes papeles como ya se expuso anteriormente. Investigadores como Teruo Higa manifiesta un paradigma diferente en cuanto al manejo del suelo, que incluye el uso de microbios en los procesos geológicos y ciclos biogeoquímicos, encontrando que ciertos microorganismos “benéficos que se encuentran en la naturaleza y pueden ser aplicados directamente al suelo o a los cultivos para aumentar la diversidad microbiológica, o como inoculante para los abonos fermentados tipo bokashi”, los llamó microorganismos eficientes EM (Sarmiento, 2019).

Los EM son cepas seleccionadas y cultivadas en el laboratorio para aplicación en campo entre ellos se encuentran bacterias lácticas o lactobacilos (*Streptomyces albus albus*); bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas sphaeroides*); levaduras (*Lactobacillus plantarum*); Actinomicetos (*Propionibacterium freudenreichii*) y hongos como: *Streptococcus lactis*, *S. faecalis*, *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Cándida utilis* (Luna, 2017).

Ana Primavesi, fue una pionera en el manejo biológico del suelo, entre sus muchas aportaciones está el caldo microbiano que lleva su nombre. Este biol o biofertilizante contiene cepas microbianas nativas contenidas en las heces bovinas y agrega minerales para enriquecerlos y usarlos en los cultivos de manera foliar y edáfica de una manera económica. Luego de su experiencia, aparecen numerosos caldos en Brasil y luego dados a conocer en el mundo (Ramírez, 2006).

Carlos Ramírez Caro realizó su investigación en Colombia y estudió la rizosfera de plantas que crecían en campo sin el uso de químicos sintéticos y encontró que las especies de Borraja (*Borrago officinalis*), Limonaria o yerba limón (*Cymbopogon*

citratum), ortiga (*Urtica urens* y *Urtica dioica*) y puerro (*Allium porrum*) albergaban es sus raíces microorganismos benéficos para las plantas y lo llamó “caldo microbiano de rizósfera de finca”.

Ahora, con todos estos antecedentes, los microorganismos de montaña (MM), son bien conocidos en Centroamérica, Suramérica y el Caribe. Los MM son poblaciones microbianas que habitan naturalmente el suelo, en sitios no intervenidos por el hombre. Según Higa & Wididana (2004) citado por Zeballos (2017) “contienen un promedio de 80 especies de microorganismos de diez géneros pertenecientes a cuatro grupos de microorganismos: bacterias fotosintéticas, actinomicetos, bacterias productoras de ácido láctico, hongos y levaduras”.

Para la captura de los MM en campo, se recoge la hojarasca del bosque y se agrega repila de arroz, de trigo o harina de maíz (como fuente de carbohidratos y vitaminas) y se le adiciona melaza y se mezcla hasta quedar homogéneo. Luego se lleva a un timbo de plástico o balde y se sella de manera hermética y se deja a la sombra por 30 días. Pasado el tiempo para la activación y uso en suelo o en composteras, se procede a adicionar una parte en aguamelaza y luego de 15 o 20 días se puede usar.

Métodos

La metodología que se usó permitió dar respuesta a la pregunta problema: ¿se podrá usar los residuos de cosecha de cacao, hojarasca y desechos de podas para convertirlo en compost o tierra de hojas y usarlo como abono y ayudar a biorremediar el suelo con ayuda de microorganismos?

Se hizo énfasis en el uso y transformación de la hojarasca, pastos, malezas cortadas, residuos de mazorcas de cacao vacías, ramas y hojas provenientes de podas, ya que se encontró una buena cantidad de este desecho vegetal (Figura 3)

en la finca Villa Isabella, vereda Irlanda del municipio de Sabana de Torres.

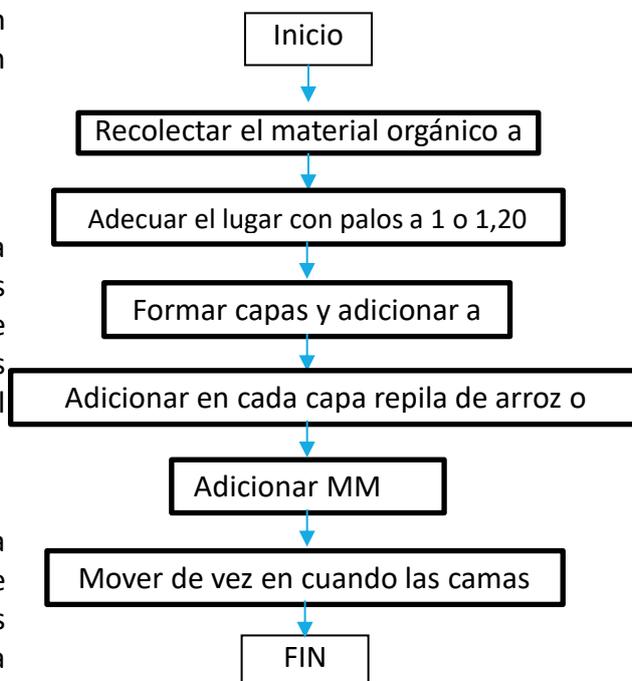
Figura 3. Hojarasca y desechos orgánicos para compostaje.



Fuente: Elaboración propia

Se realiza la representación gráfica (Figura 4) del proceso para obtener la información necesaria sobre cómo se puede aprovechar un subproducto como lo es la hojarasca, sus beneficios y el proceso de su utilización.

Figura 4. Flujo de elaboración de tierra de hojas.



La elaboración del compost “tierra de hojas” demanda más tiempo que el compost fermentado tipo bokashi, pero se requiere de menos trabajo. A continuación, en los siguientes apartados se mencionará el proceso para su elaboración:

Recolección de Materia Prima y preparación de MM activado

Como material empleado en el proceso de compostaje se usó las mazorcas vacías de cacao (*Theobroma cacao L*), la hojarasca, los desechos de hojas y ramas producto de las podas, pasto o malezas cortadas del jardín.

Adicionalmente, se requirió de 5 Kg de microorganismos de montaña MM sólidos, 4L de panela disuelta o melaza, agua sin tratar, mezclados en un recipiente de 200 L.

El proceso de los MM se activó, colocando los 5 Kg de MM sólidos en una fracción de tela con una piedra adentro que posteriormente fue amarrado. Luego es colgado en un recipiente con la adición la melaza disuelta y agrega agua en la misma proporción, se agita constantemente, luego se complementa con agua hasta su máximo nivel y se tapa herméticamente por 20 días.

Para aplicar al compostaje conformado por hojas, se aplica 4 L de MM activado a una bomba de 20 L.

Acumulación

Debajo de un árbol (sombra), se instalan cuatro palos de 1,5 m de largo distanciados entre 1 ó 1,5 m, pero haciendo cuadros cada 1 o 1,5 m.

Para la elaboración del compost de hojas o tierra de hojas, se ubica una capa de material de hojarasca, luego uno de pasto picado y hojas verdes y se moja con MM activados con una regadera (que no escurra), luego colocar una capa de cáscaras de mazorca de cacao vacías, espolvorear la repila y luego continuar el proceso hasta completar 1 o 1,20 m, como altura máxima para evitar problemas de manejo y pudrición (anaeróbico) en lugar del compostaje (aeróbico).

Mezcla de materiales

A diferencia del bokashi que hay que voltearlo varias veces para disminuir su temperatura y airear, con el diseño del compost tierra de hojas no es muy necesario (Restrepo, 2007). Se realiza la actividad de voltear cada una de las camas para que se airee un poco y los microorganismos e invertebrados que habitan hagan el trabajo. El proceso es similar a la producción de compost de bosque.

Tiempo del volteo

La tierra de hojas es un proceso un poco diferente al compost tipo bokashi se deja airear muy bien y no hay aumentos tan significativos de temperatura, como sí sucede con el bokashi. El volteo se realiza de vez en cuando, y moviendo con un palo la cama formada. Los microorganismos y artrópodos que se encuentran en la compostera realizarán el trabajo de descomponer el material puesto.

Final del proceso

Diversos autores hablan de un compost tipo bokashi como producción (Restrepo, 2007, p. 27), debido a que, en un periodo de 30 días, estará listo para ser usado, pero el proceso es más dispendioso, hay que hacer volteos por lo menos dos veces al día, controlando aireación, humedad y temperatura, hay que usar también más mano de obra. Ramírez (2006, p. 17) menciona que el compost de bosque (proceso parecido al de producción de tierra de hojas) los residuos en el proceso de compostaje no es necesario estar volteándolo todos los días, sólo se mueven algunos palos de la cama compostera para airear, el proceso contempla un tiempo entre 3 o 6 meses; depende del clima del lugar, de los materiales que se están compostando y se obtendrá un excelente mantillo de bosque. Se nota cuando el sustrato cambia de color a negro y el olor es a tierra fresca, tierra de bosque.

La biorremediación es un proceso que usa microorganismos en la descontaminación de suelos, aguas, transforma compuestos dañinos en

sustancias inocuas. Paniagua usa MM activado en suelos contaminados con agroquímicos con aplicaciones semanales por tres meses y se ha logrado el efecto de biorremediación²⁴. La tierra de hojas con el uso o cultivo de microorganismos también ayuda al proceso de nutrición de las plantas. Para un correcto y eficiente proceso de biorremediación es útil aplicar por lo menos cada semana MM activados al suelo al 20% en 20L de agua.

Resultados y Discusión

En climas cálidos el material se descomponía rápidamente, especialmente si son hojas o ramas pequeñas y delgadas, el color cambia a negro. Las partículas grandes o ramas gruesas demoran un poco más en descomponerse, luego éstas son devueltas a la compostera a reiniciar el proceso hasta que desaparecen.

Reyes et al (2017) y Rosas et al. (2021) investigaron diferentes tipos de compostaje entre bokashi de diferentes fuentes, vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y por último, compostaje de desechos de la agroindustria avícola respectivamente. Al probar los contenidos nutricionales que aporta cada uno de los abonos, encontraron diferentes proporciones (Tabla 1, 2 y 3). Si con esas dosis se quisiera suplir a un cultivo, sería muy costoso y, por otro lado, los volúmenes necesarios serían grandes. Pero los beneficios de los abonos orgánicos, deben verse con otra lupa.

Por ejemplo, al usar materiales orgánicos procedentes de la agroindustria, se está evitando que contaminen, además de un gasto adicional por parte del agroindustrial, tendrá también ingresos por la venta de la conversión de los residuos, se está capturando carbono que se deposita en el suelo y contribuye a disminuir el cambio climático o la huella de carbono, también contribuye a aportar

nutrientes al suelo y ayuda a mejorar el componente microbiológico, mejora ciertas propiedades físicas del suelo y contribuye a conservar la humedad (útil en tiempos de sequía). Al momento de elaborar el informe, el proceso del compost de tierra de hojas no había finalizado (Valera, 2003); gran parte mostraba buen color y olor a tierra, o como mencionó Ramírez (2006), el olor es a mantillo de bosque, mostrando buena actividad microbiana.

Tabla 1. Composición química de abono orgánico bokashi.

Bokashi	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	C:N	C:P
	%						ppm					
FIO	58.3	3.19	0.49	1.31	2.17	0.37	4400	14	175	200	18	119
FPI	35.0	1.4	0.09	2.09	1.64	0.69	1720	62	175	550	25	152
FC	52.4	1.3	0.29	4.22	1.92	1.1	20200	43	175	1050	40	185

Fuente: Leblanc et al. (2007) Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos.

Al comparar el trabajo realizado con Leblanc et al. (2006), investigó el contenido nutricional de tres tipos de bokashi elaborados con materiales diferentes y los denominó como se menciona a continuación.

FIO: Bokashi de la Finca Integrada Orgánica elaborado mezclando 450 kg de tierra, 100 kg de estiércol de cabra, 100 kg de estiércol de gallina, 100 kg de cascarilla de arroz, 50 kg de semolina, 5 kg de carbón y 6 kg de melaza.

FIP: Bokashi de finca Integrada Pecuaria, elaborado con excretas (estiércol y orina) bovinas, aserrín y microorganismos eficientes activados (EMA).

FC: Bokashi de finca comercial, a partir de los desechos de banano y raquis bien picados, se adiciona 8% de aserrín, en un área bajo techo y microorganismos eficientes (EM) en una mezcla de 2 L de EM activado (EMA).

De la tabla 1 se puede concluir que la naturaleza de los materiales orgánicos usados en el bokashi ayudó a que los contenidos y aportes nutricionales fueran

diferentes, el FIO tuvo mayores contenidos frente a los demás, pero el FC muestra contenidos de K muy superiores comparados con los demás, la razón es porque usaron desechos de la industria bananera y se sabe que los aportes de K en los residuos son altos.

A diferencia de Leblanc que trabajó con residuos de la industria lechera y del banano Rosas et al. (2021) elaboraron un compostaje con residuos de la industria avícola y en la tabla 2 se observan los resultados. El T1 (composta de gallinaza) mostró contenidos nutricionales un tanto superiores a los otros dos tratamientos para cada uno de los elementos. Pero en T3 (composta de residuos de incubadora y cachaza) los contenidos nutricionales son muy bajos.

Tabla 2. Composición química de tres tipos de compostaje con gallinaza, cachaza y residuos de incubadora

Residuos orgánicos	N	P	K	Ca	Mg	Na
	g kg ⁻¹					
T1	4.30a	11.99b	9.17a	4.51a	9.24b	3.93a
T2	2.22b	12.49a	8.58b	4.40a	10.81a	1.02b
T3	3.80a	0.71c	2.94c	1.79b	4.35c	0.31b

T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza). Las medias con letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Fuente: Rosas et al. (2021) Evaluación físico química de composta de residuos avícolas y cachaza

El trabajo de Rosas et al. (2017) fue comparar la producción de vermicompost y abono de jacinto de agua, lo probó en un cultivo de col morada. En la tabla 3 se observan los contenidos nutricionales de cada uno de los tipos de compost y se observa la superioridad del vermicompost frente al compost de jacinto de agua. Solo los contenidos de manganeso (Mn) mostraron superiores con el compost de jacinto de agua, posiblemente sea una especie acumuladora de Mn y pueda ser usada como biorremediador de aguas contaminadas con este elemento.

Al evaluar la aplicación de los dos diferentes compostajes en el cultivo de col morada, los resultados fueron superiores en las diferentes variables estudiadas. Rosas et al. (2017)

recomienda el uso de estos dos tipos de compost en la producción de la col morada.

Tabla 3. Composición química de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Parámetros	Unidad de medida	Vermicompost	Compost de jacinto de agua
pH	-	-	-
Nitrógeno	ppm	1,9	1,2
Fosforo	ppm	0,50	0,06
Potasio	Meq/100ml	0,93	0,16
Calcio	Meq/100ml	1,63	1,18
Magnesio	Meq/100ml	0,73	0,22
Azufre	ppm	0,40	0,28
Zinc	ppm	94,00	10,00
Cobre	ppm	47,00	61,00
Hierro	ppm	1164,00	19,00
Manganeso	ppm	373,00	1193,00
Boro	ppm	22,00	545,00
Materia orgánica	%	-	-
Índice Ca/Mg	-	-	-
Índice Mg/K	-	-	-
Índice Ca+Mg/K	-	-	-
Arena	%	-	-
Limo	%	-	-
Arcilla	%	-	-

Fuente: Reyes et al. (2017) Uso de vermicompost y compost de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*).

Conclusiones

Se logró disminuir los contenidos de materiales contaminantes proporcionados por los desechos orgánicos luego de la cosecha de cacao, de residuos de jardinería y podas.

Los contenidos nutricionales o los aportes de los compostajes en cuanto elemento mayor y menor variarán dependiendo de la naturaleza de los desechos que se usen.

Usar compostaje en diferentes cultivos trae beneficios no solo productivos sino económicos y, los más importantes, beneficios ambientales generados por los impactos positivos.

El compostaje es un componente clave de la agricultura sostenible. Al aprovechar los residuos orgánicos generados, se cierra el ciclo de nutrientes y se reduce la necesidad de importar fertilizantes. Esto contribuye a la autosuficiencia agrícola, ahorra costos y reduce la dependencia de prácticas agrícolas intensivas.

El compostaje es importante porque reduce la cantidad de residuos enviados a los vertederos, produce un fertilizante orgánico valioso, mejora la calidad del suelo, conserva el agua, reduce el uso de fertilizantes químicos y promueve la agricultura sostenible. Es una práctica que fomenta la gestión responsable de los recursos naturales y ayuda a mantener un entorno más saludable y equilibrado. De igual manera la biorremediación es importante porque ofrece una alternativa sostenible, económica y versátil para abordar la contaminación ambiental, mejorando la calidad del suelo y del agua, y promoviendo la participación comunitaria en el proceso de recuperación ambiental.

Agradecimientos

Al Instituto Universitario de la Paz, en especial a la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, por todo el proceso de formación como Ingenieros Agroindustriales y Especialistas en Agronegocios.

Referencias

Agronet, -2020. Cascarilla del arroz aumentaría resistencia del cemento. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Cascarilla-del-arroz-aumentar%C3%ADa-resistencia-del-cemento.aspx>

AGRONET. (2020). Residuos de palma africana se aprovecharían como biofertilizante. Disponible en: [https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Residuos-de-palma-africana-se-aprovechar%C3%ADan-como-biofertilizante.aspx#:~:text=Residuos%20de%20palma%20africana%20se%20aprovechar%C3%ADan%20como%20biofertilizante,-Imagen&text=Producir%20un%20fertilizante%20para%20mejorar,o%20carb%C3%B3n%20vegetal\)%20...](https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Residuos-de-palma-africana-se-aprovechar%C3%ADan-como-biofertilizante.aspx#:~:text=Residuos%20de%20palma%20africana%20se%20aprovechar%C3%ADan%20como%20biofertilizante,-Imagen&text=Producir%20un%20fertilizante%20para%20mejorar,o%20carb%C3%B3n%20vegetal)%20...)

Alonso Nuñez, B. (2015). Biodiversidad, materia orgánica y estructura del suelo: ciencia, técnica e ingeniería. Universidad de Burgos.

Álvarez Prieto, E. A. (2013) Composición botánica y potencial forrajero de un bosque decido al sur de la laguna de Taiguaiguay, municipio Zamora del estado Aragua, Venezuela, Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título Magister Scientiarum en Producción Animal. Universidad Central de Venezuela.

Baquero Mendoza (2019) Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos peligrosos para la empresa Palmeras Cararabo S.A. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás de Aquino. Bogotá. 129 p.

Bermúdez Quiroga, L. C., & Rodríguez Rico, D. A. (2016). Alternativas técnicas para el manejo de residuos sólidos producidos por el comercio instalado en áreas públicas usadas por la ciclovía de Bogotá, caso de estudio. Carrera Séptima. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/286

Cardona Castro, D. F. (2013). Caracterización de la ceniza de hojas de bambú y su influencia como material puzolánico en el concreto. Universidad EAFIT. Medellín. 1 p.

Elbersten, W. (2013) Residuos de palma de aceite disponibles para la bioeconomía, junto con el reciclaje de nutrientes. EN: Revista Palmas Vol. 34 No. Especial, Tomo II.

Fundesyram (2014) Activación de Microorganismos de Montaña. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=4YQhsdtQ0xY&t=338s>

Guzmán Duchén D, & Montero Torres, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. Revista de Investigación e Innovación

- Agropecuaria y de Recursos Naturales, 8(2), 87-101. Epub 31 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Jurado-Erazo, J. E. Tulcán-Cuasapud, Y. A. Rojas
- González, A. F. (2022) Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. Universidad Nacional de Colombia.
- Leblanc, H.A.; Cerrato, M.E.; Miranda, A. y Valle, G.. (2007) Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. EN: Tierra Tropical (2007) 3 (1): 97-107 ISSN: 1659-2751. Universidad EARTH
- López-Hernández, J. M.; González-Rodríguez, H.; Cantú-Silva, I.; Gómez-Meza, M. V.; Estrada-Castillón; Contreras-Guajardo, N. L.; del Valle-Arango, J. I. (2022) Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México. EN: Ecosist. Recur. Agropec. 9(1): e2891, 2022 <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2891B>
- Lozano Rojas, C. I. (2020). Alternativas de uso de la cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria.
- Luna Feijoo, I. M. A., & Mesa Reinaldo, M. J. R. (2017). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Revista Científica Agroecosistemas, 4(2), 31-40. Recuperado a partir de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/84>
- Martínez Urueña, J.P.; Suárez Parra H. (2022). Propuesta para elaboración de abono a partir de compostaje teniendo en cuenta la inclusión de una mezcla de microorganismos en el proceso. Proyecto integral de grado para optar al título de ingeniero químico. Fundación Universidad de América. Bogotá.
- Pagans, E.; Murguía, W.; Arias, R y van Harreveld, A. (2015). Formación y emisión de olores: caracterización y evaluación de impacto. Olores. Recuperado en: https://olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=410:formacion-y-emision-de-olores-caracterizacion-y-evaluacion-de-impacto&catid=80&Itemid=422&lang=es
- Ramírez Caro, C. (2006) Técnicas básicas en agricultura alternativa II. La biología de la formación del suelo y su relación con el manejo propuesto por la agricultura alternativa. Granja Cachilaima. Cachipay Cundinamarca.
- Ramírez Caro, C. (2006) Técnicas básicas en agricultura alternativa III. Biofertilizantes líquidos. Granja Cachilaima. Cachipay Cundinamarca.
- Ramos Agüero, D. & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4), 52-59. Recuperado en 22 de mayo de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es.
- Restrepo Rivera, J. (2007) Manual Práctico. El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible (SIMAS) p. 26.
- Reyes-Pérez, J. J.; Luna-Murillo, R. A.; Murillo-Amador, B. Nieto-Garibay, A.; Hernández-Montiel, L. G.; Rueda-Puente, E. O. y Preciado-Rangel, P. (2017). Uso de vermicompost y compost de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*) en: Interciencia, vol. 42, núm. 9, pp. 610-615, 2017. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/339/33952909010/html/>
- Rosas Martínez, V.; Rodríguez Lagunes, D. A.; Llarena Hernández, R. C.; Milanés Ramos, N.; Rico Contreras, J. O. y Castañeda Castro, O. (2021) Evaluación físico química de composta de residuos avícolas y cachaza.

- Sarmiento Sarmiento, G. J Juan, Amézquita Álvarez, M. A., & Mena Chacón, L. M. (2019). Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 55-61. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>
- Tanya Morocho, Mariuxi, & Leiva-Mora, Michel. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. Recuperado en 22 de mayo de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es.
- Van Dam, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37 (Especial Tomo II), pp. 149-156.
- Varela, A. (2003) Análisis e interpretación de propiedades biológicas. EN: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo-SCCS. Comité regional de Cundinamarca y Boyacá, p. 55.
- Vargas Corredor, Y. A. y Pérez Pérez, L. I.(2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. En: *Revista facultad de ciencias básicas*, Vol. 14 (1) 2018, 59-72.
- Viñuales Cobos, E. (2011). Todo un ecosistema en la hojarasca. En: *Heraldo*. Recuperado en: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2011/03/29/todo-ecosistema-la-hojarasca-133187-300.html>
- Yepes, S.M.; Montoya Naranjo, L. J. y Orozco Sánchez, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el Sur del Valle de Aburrá, Colombia. EN: *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 61(1):4422-4431. 2008.
- Zeballos Heredia, M. F. (2017). Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales. Trabajo de grado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Verdouw, C, et al. Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry,» *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. Vol. 73. p. 174-187.
- Verrdouw, C, et al. Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry,» *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. Vol. 73. p. 174-187.