

Lista de contenido

Introducción

Propósito del Manual

Objetivos

Glosario de términos importantes

Capítulo 1: Fundamentos del Compostaje

1.1 Fase Mesófila

1.2 Fase Termófila O de Higienización

1.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II

1.4 Fase de Maduración

Capítulo 2: Materiales para Compostaje

2.1 Tipos de Residuos Aceptables

2.2 Materiales a Evitar

Capítulo 3: Principios básicos del compost

3.1 Infraestructura

3.2 Aspectos técnicos

3.2.1 Relación Carbono-Nitrógeno Óptima

3.2.2 Oxígeno

3.2.3 Humedad

3.2.4 pH

3.2.5 Lixiviados

Capítulo 4: Guía y proceso de Compostaje

4.1 Selección y Triturado del Material Vegetal

4.2 Volteo y Control de las Composteras

4.3 Mezcla y Llenado de Pilas

4.4 Calendario de labores semanales

Capítulo 5: Usos del Compost

5.1 Aplicaciones del Compost

5.2 Beneficios del Uso del Compost

Capítulo 6: Problemas Comunes y Soluciones

6.1 Lixiviados y roedores

6.2 Control de pH

6.3 Control de la aireación

6.4 Control de la humedad

6.5 Recomendaciones generales

Capítulo 7 Referencias

Anexos

Materiales Complementarios



Introducción

Propósito del manual

El propósito del manual es proporcionar una guía clara y accesible al personal y a la comunidad universitaria sobre las mejores prácticas y optimización para el proceso de compostaje desarrollado en el campus universitario. Busca fomentar la sostenibilidad, reducir los residuos orgánicos, educar a la comunidad sobre los beneficios del compostaje, y fortalecer al sistema de basura cero del eco campus.

Objetivos

- ❖ **Informativo:** Proporcionar instrucciones claras y prácticas sobre cómo llevar a cabo el compostaje, incluyendo los insumos, cantidades, métodos y procesos necesarios.
- ❖ **Educativo:** Informar a la comunidad universitaria sobre qué es el compostaje, sus beneficios y aplicación en la universidad, además de la importancia de manejar correctamente los residuos orgánicos en el ecocampus.
- ❖ **Fomento de sostenibilidad:** Promover la reducción de residuos en el campus contribuye a fortalecer el sistema de gestión basura cero, así como a los objetivos de sostenibilidad de la universidad.
- ❖ **Solución de Problemas:** Identificar y ofrecer soluciones a los problemas comunes que pueden surgir en el proceso de compostaje fortaleciendo el sistema y minimizando las posibles fallas en su aplicación.

Glosario

- ❖ **Compost**
Material orgánico descompuesto utilizado como enmienda para mejorar la fertilidad y estructura del suelo.
- ❖ **Materia orgánica**
Residuos de origen vegetal o animal que se descomponen en el compostaje, como restos de alimentos, hojas y estiércol.
- ❖ **Microorganismos**
Organismos microscópicos, como bacterias y hongos, que descomponen la materia orgánica durante el proceso de compostaje.
- ❖ **Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**
Proporción entre el carbono y el nitrógeno presente en los materiales compostables; afecta la velocidad y eficiencia del proceso.
- ❖ **Aerobio**
Proceso que requiere oxígeno para la descomposición de la materia orgánica y la producción de compost.

- ❖ **Temperatura**
Factor clave en el compostaje; las fases mesofílica y termofílica indican diferentes etapas del proceso de descomposición.
- ❖ **Lixiviados**
Líquidos que se generan durante el proceso de compostaje debido a la descomposición de los materiales orgánicos.
- ❖ **Humus**
Producto final del compostaje, rico en nutrientes y capaz de mejorar la capacidad de retención de agua del suelo.
- ❖ **Volteo**
Acción de mezclar los materiales en una pila de compost para mantener el oxígeno y asegurar una descomposición uniforme.
- ❖ **pH**
Medida de la acidez o alcalinidad del compost; un rango de pH neutro (6-8) es ideal para el compostaje.

Capítulo 1

Fundamentos del Compostaje

Se llama compostaje a la técnica realizada en condiciones particulares de humedad, aireación, temperatura, bajo la acción de ciertos microorganismos, para la transformación y la estabilización de residuos orgánicos biodegradables en un producto final llamado compost, que según su contenido de nutrientes puede ser un abono de buena calidad.

(Luna, L. & Bolaños, M. 2007)

Este proceso permite la reducción significativa de residuos en instituciones y ciudades, realizando así un aporte significativo al medio ambiente, dejando de contaminar áreas destinadas a la disposición de residuos que generan vectores y agentes tóxicos importantes para las matrices de aire, suelo y agua, por lo que es una opción integral y sostenible que hace parte del modelo de economía circular, donde los residuos sirven de materia prima para producir compost rico en nutrientes que puede ser utilizado en la fertilización de suelos para la agricultura, creando así un ciclo cerrado que reduce considerablemente los impactos ambientales.

Según (Román et al., 2013) el compostaje se da en cuatro fases importantes durante su producción.

1.1 Fase Mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días e incluso en horas, la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

1.2 Fase Termófila o de Higienización. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados en su mayoría por bacterias termófilas, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

1.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los

40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista.

Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino.

Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

1.4 Fase de maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

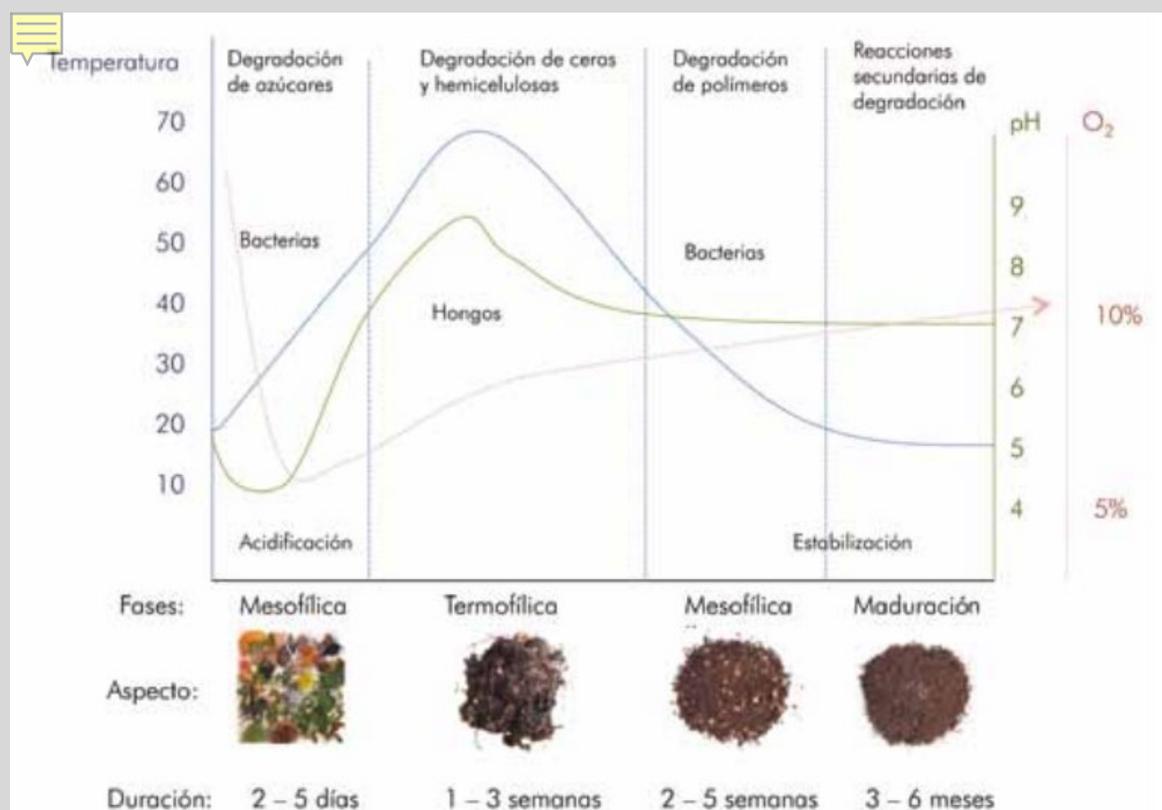


Figura 1. Temperatura en fases del compost. Fuente: (Román et al., 2013)

Capítulo 2

Materiales para Compostaje



Es importante reconocer que no todos los residuos orgánicos pueden ser aprovechados para generar compost de buena calidad, por lo que se pueden generar vectores o presencia de roedores. A continuación, se enumeran los residuos orgánicos que según (*Román et al., 2013*) pueden ser usados y cuáles deben ser evitados para un compost óptimo.

2.1 Tipos de Residuos Aceptables

- ❖ Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecado).
- ❖ Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral. Prácticas particulares de gestión aplicadas en cada caso.
- ❖ Restos orgánicos de cocina en (frutas y hortalizas). Cáscaras de huevo (preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas). Papas estropeadas, podridas o germinadas.
- ❖ Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).
- ❖ Virutas de aserrín (en capas finas).
- ❖ Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).
- ❖ Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

2.2 Materiales a Evitar

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como:

- ❖ Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- ❖ Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- ❖ Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- ❖ Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
- ❖ Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- ❖ Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).
- ❖ Restos de alimentos cocinados, carne.

(Román et al., 2013)

Capítulo 3

Información Técnica

3.1 Infraestructura

En primera instancia es importante tener en cuenta condiciones físicas y ambientales óptimas para el desarrollo del compostaje. El estudio de (L. Luna & M. Bolaños, 2007) otorga varios lineamientos importantes a seguir para que el compostaje se haga de manera adecuada.

- ❖ Estar lejos de casas, zonas residenciales, bloques u oficinas donde se encuentre personal.
- ❖ Estar cerca al sitio de origen de los residuos con el fin de reducir los costos por concepto de transporte
- ❖ Tener acceso a fuentes de agua no contaminada que permitan asegurar la humedad de los residuos en proceso de descomposición
- ❖ Estar retirado de quebradas y ríos para evitar contaminación del agua por escorrentía
- ❖ Estar protegido de la lluvia ya que el exceso de humedad demora la descomposición y reduce la calidad química del abono por pérdida de nutrientes
- ❖ Se sugiere ubicar el sitio para realizar el compostaje cerca de árboles para proteger los residuos orgánicos de la exposición directa al sol, ya que la radiación solar excesiva podría secar el material y dificultar la actividad microbiana. Además, la vegetación circundante puede contribuir a mitigar los efectos de la liberación de gases como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), que se generan durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos.
- ❖ No tener riesgos de inundación para evitar que el material compostable se disperse por el agua, o que los nutrientes se pierdan por lixiviación o lavado.
- ❖ Disponer de un área lo suficientemente grande para la recepción y acumulación de residuos orgánicos para el posterior tratamiento de los mismos.

3.2 Principios básicos del compost

3.2.1 Relación Carbono-Nitrógeno Óptima

Es el factor químico más importante en el proceso de compostaje, es la cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material. (Román et al., 2013).

La relación C/N (Carbono:Nitrógeno) óptima **inicial** de los residuos orgánicos es de 35/1 a 40/1, para que al final cuando el compost está maduro (listo para ser usado como abono) este entre 20/1 a 25/1, para asegurar una mineralización de la materia orgánica y eficiente aprovechamiento del nitrógeno. (Luna, L. & Bolaños, M. 2007) Es importante considerar que en condiciones de clima frío y frío moderado se sugiere considerar relaciones C/N cercanas a 35/1, mientras que para clima medio y cálido es recomendable seleccionar residuos orgánicos con relaciones de 40/1, debido a que el proceso de mineralización de materia orgánica es más rápido en climas cálidos.

(Luna, L. & Bolaños, M. 2007)

Es importante saber que al mezclar residuos orgánicos, cada uno posee diferente relación C/N y que de esta depende la velocidad para su transformación y calidad del abono.

El estudio de (Busajim, G. 2023) realizó una compilación internacional acerca de las relaciones C/N de diferentes materiales compostables para así, tener una referencia más sólida a la hora de elaborar un compost que estuviera en un rango C/N inicial adecuado. Estos datos recopilados pueden encontrarse en la tabla del Anexo A.

Así mismo Para poder determinar una relación adecuada de C/N se puede utilizar una fórmula diseñada por (Busajim, G. 2023)

$$R = \frac{CN1 \times Q1 + CN2 \times Q2 + CN3 \times Q3 + \dots + CNn \times Qn}{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno total de la masa total compostable.

Q = Cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material

Esta fórmula nos permite asegurar que la relación de Carbono/Nitrógeno total de la mezcla a emplear se encuentre en los rangos adecuados para el proceso de compost y este se desarrolle óptimamente. Además de esta relación existen otros factores físicos importantes para la producción del compost. tales como el oxígeno, la humedad.

En los anexos se presentan unas tablas que nos indican las relaciones C/N de distintos materiales.

3.2.2 Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. (Román et al., 2013)

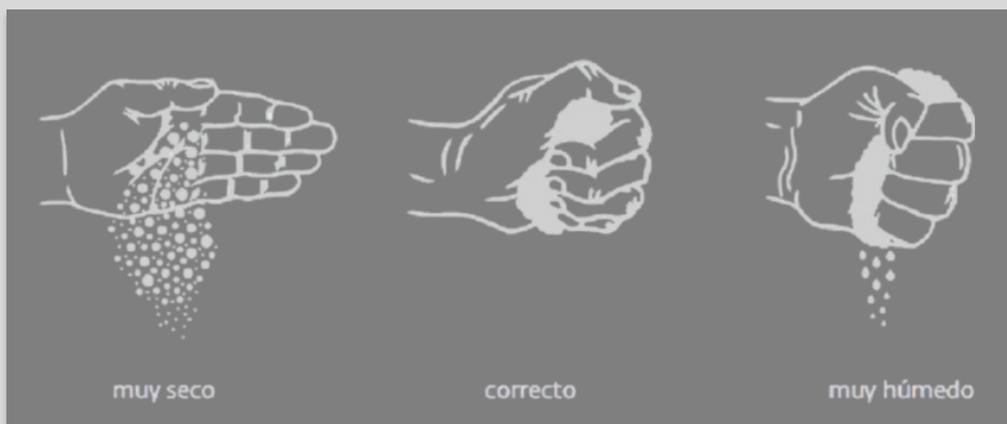
La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. (Román et al., 2013)

3.2.3 Humedad

La humedad es uno de los factores clave en el proceso de compostaje porque permite que los microorganismos encargados de la descomposición se mantengan activos y eficientes. Estos organismos, como bacterias y hongos, necesitan agua para vivir, consumir los materiales orgánicos y generar el calor necesario para el desarrollo de las fases del compostaje.

La humedad óptima del proceso de compostaje debe mantenerse entre el 40 y 60%. (Bejarano, E. & Delgadillo, S. 2007)

Para realizar control de la humedad de la compostera se puede realizar la técnica del puño cerrado. La técnica de puño cerrado consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o material chipeado). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped). (Román et al., 2013)



Técnica del puño

3.2.4 pH

Según la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (2020) el pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. El pH afecta la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas, cuyo crecimiento y desarrollo se pueden ver reducidos bajo condiciones de acidez y basicidad extrema, de ahí la importancia del control del proceso para lograr en el compost maduro valores cercanos a la neutralidad, es decir, con pH cercano a 7. Un factor a tener en cuenta es que algunas materias primas pueden aumentar el pH (residuos del procesado de papel, cenizas), y otras disminuirlo (residuos de comida). Por otro lado, la producción de ácidos orgánicos y las condiciones anaeróbicas (ausencia de aire) pueden producir $\text{pH} < 4,5$ limitando la actividad microbiana.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2. (Román et al., 2013)

3.2.5 Lixiviados

Corresponde al agua que drena, por la sobresaturación (exceso de humedad) del material, durante el proceso de compostaje, este exceso de agua, sale del compost y puede ser colectado, contiene también nutrientes solubles y algunos microorganismos. Sin embargo, cuando el compost tiene exceso de agua, y aún está inmaduro, se generan zonas anaeróbicas, donde se producen compuestos como azúcares que pueden dar lugar a ácidos y otros compuestos que pueden resultar tóxicos para las plantas (fitotóxicos). Cuando el lixiviado procede de compost fresco, generalmente el líquido tiene aspecto oscuro, pH ácido y tiene mal olor. (Román et al., 2013)

Capítulo 4

Guía y proceso de Compostaje

4.1 Selección y Triturado del Material Vegetal

El material vegetal recolectado durante toda la semana a veces llega con residuos como empaques de comida, servilletas, entre otros, por lo que este debe ser seleccionado y depurado para su posterior triturado.

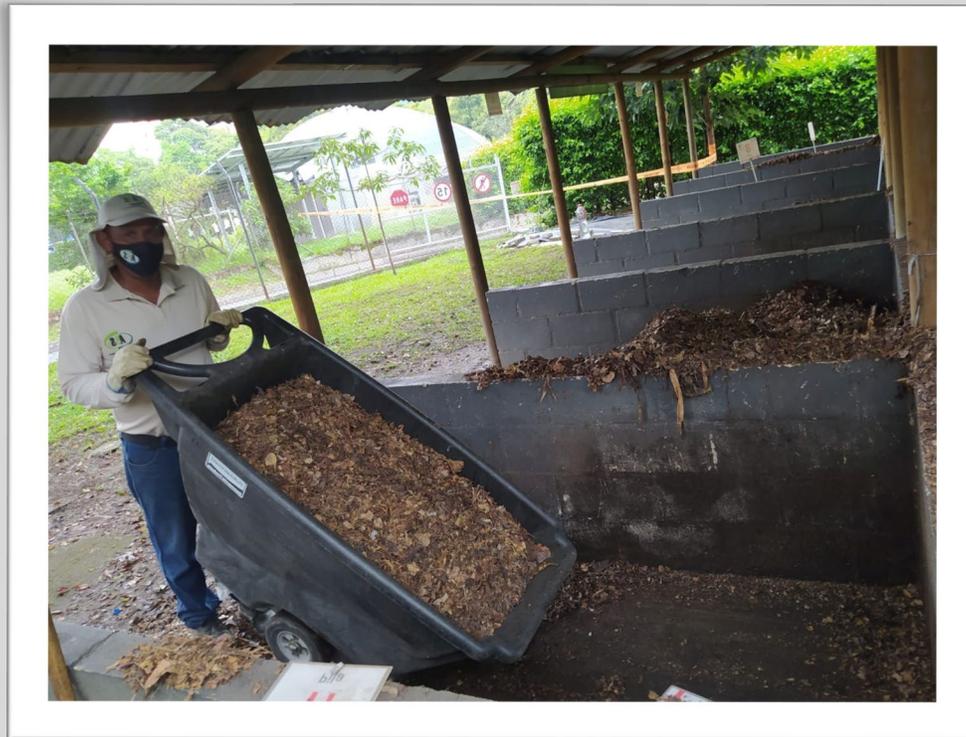
El triturado se le realiza únicamente a hojas secas y a ramas de un tamaño pequeño, esta es la fuente principal de carbono en el sistema, y el triturado se hace para facilitar la descomposición de la materia orgánica, reducir el tiempo de compostaje y que este se desarrolle de manera óptima y adecuada.

Esta tarea se lleva a cabo los **lunes y martes**, garantizando que haya cantidad suficiente de material listo para usar.

Herramientas: Trituradora mecánica y equipo de protección personal (EPP), tales como guantes, gafas y careta.



4.2 Volteo y Control de las Composteras



El proceso de volteo generalmente empieza sacando la pila 12, que es la pila que lleva 12 semanas en proceso de compostaje y tiene ya compost terminado o semi terminado en fase de enfriamiento o Mesófila II, esta pila se dispone posteriormente en una pila que se encuentra junto a las composteras al aire libre, donde se encuentra el material terminado de las dos composteras, esperando a ser utilizado por los jardineros de la universidad cuando lo necesiten.

De esta manera se puede mover la pila 11, a la pila 12, la pila 10 a la 11 y así sucesivamente hasta dejar la primera cama vacía para ser llenada el día viernes.

El objetivo del volteo de las composteras es mantener una buena aireación y realizar un control de la temperatura y la humedad en las pilas y de esta manera verificar que el proceso está siendo óptimo.

El control de la humedad en las camas de compost es esencial para asegurar una descomposición eficiente. **La técnica del puño** es una técnica sencilla y práctica: se toma un puñado del material en descomposición y se exprime con fuerza. Los resultados se interpretan así:

- ❖ Si el material libera agua en exceso, la pila está demasiado húmeda y es necesario voltearla o añadir material seco como aserrín o hojas.
- ❖ Si el material no libera agua, pero se siente húmedo y mantiene su forma sin desmoronarse, la humedad es adecuada (40-60%).
- ❖ Si el material se desmorona fácilmente y está seco al tacto, la pila necesita ser humedecida, ya sea rociando agua directamente o incorporando residuos frescos ricos en agua hasta el punto óptimo de humedad.

El día **miércoles** se realiza el Volteo de composteras cubiertas.

El día **jueves** se realiza el Volteo de composteras al aire libre.

Herramientas: Pala, bidón 5 galones, carro contenedor de 110 litros, y equipo de protección personal (EPP), tales como guantes, gafas y careta.



4.3 Mezcla y Llenado de Pilas



La mezcla de residuos orgánicos se hace para asegurar un equilibrio adecuado en la relación carbono nitrógeno y que así los microorganismos posean una buena fuente de alimento y la descomposición se haga efectivamente.

Esta tarea se realiza los **viernes**, donde tanto las composteras cubiertas como las composteras al aire libre se llenan con una mezcla de los residuos orgánicos del laboratorio de vinos y licores, además de los residuos aportados por el local de Cevi Mango de la universidad, que son residuos de frutas.

Herramientas: Pala y equipo de protección personal (EPP), tales como guantes, gafas y careta.



4.4 Calendario de labores semanales

De esta manera, las labores para el operario que esté a cargo del manejo de las pilas de compost, quedan distribuidas de la siguiente manera a lo largo de la semana.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Selección y triturado de material vegetal	Selección y triturado de material vegetal	Volteo y control de composteras cubiertas	Volteo y control de composteras al aire libre	Mezcla y llenado de pila 1 de composteras cubiertas y al aire libre

Calendario de funciones semanales compost UPB

Capítulo 5

Usos del Compost

5.1 Aplicaciones del Compost

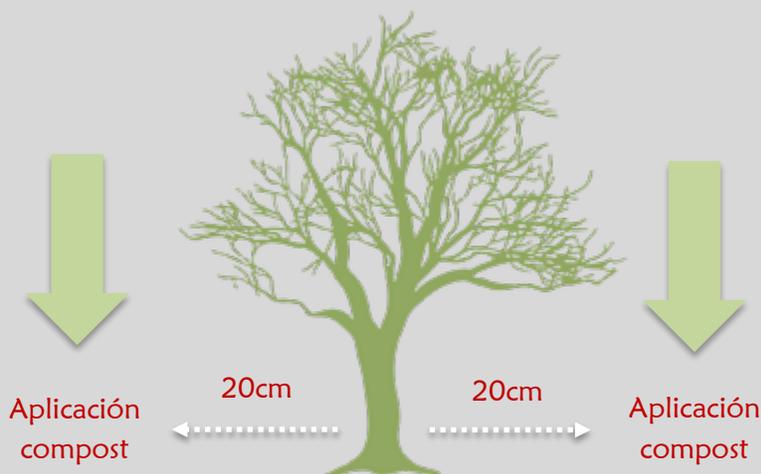
Después de la semana 12, el compost existente en estas camas se dispone junto a las camas al aire libre para que este sea pueda ser utilizado y aplicado por los jardineros de la universidad, mientras que eso sucede, allí continua su proceso de descomposición. En la aplicación del compost no interviene directamente el operario de las camas del compost, sino los jardineros de la universidad, que toman el compost ya terminado que necesitan en carretillas, tomándolo cuando lo necesiten y aplicándolo en las plantas y árboles el campus según la necesidad.

Para la aplicación del compost (*Román et al., 2013*) afirma:

El compost semi maduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas. El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas.

Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz como preparación de sustrato.

Se recomienda que esta aplicación de compost se realice a una distancia entre 20 y 30cm de distancia del tallo de la planta o del árbol, en forma de circunferencia, de tal manera que el compost no lo toque directamente para evitar que la humedad retenida en este pueda pudrir la planta.



5.2 Beneficios del compost.

En cuanto a los beneficios del compost (*Román et al., 2013*) Afirma:

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva. Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo.

El compost es un recurso clave para una agricultura sostenible, ya que no solo mejora la fertilidad del suelo al incorporar nutrientes de liberación lenta, sino que también fomenta un equilibrio ecológico al reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Su alto contenido de materia orgánica revitaliza los suelos, promoviendo una mejor retención de agua, mayor aireación y el desarrollo de microorganismos beneficiosos. Además, su uso responsable, basado en análisis de suelo, permite ajustar la fertilización de manera precisa, maximizando los beneficios para los cultivos y minimizando el impacto ambiental. Esto convierte al compost en una herramienta esencial para mejorar la calidad del suelo y cerrar el ciclo de los residuos orgánicos de forma eficiente.

Capítulo 6

Problemas Comunes y Soluciones

Conociendo las características generales del compostaje se puede tener un control adecuado de los factores que mayormente inciden en el proceso de su desarrollo, aun así, se pueden presentar problemas comunes, bien sea por condiciones ambientales, operacionales o técnicas, estos y las posibles soluciones que pueden tener se presentan a continuación.

6.1 Lixiviados y roedores.

Para evitar la producción de lixiviados, la instalación debe estar diseñada en un lugar cubierto, donde se proteja el compost, y se sugiere no usar materiales demasiado húmedos ni la adición de demasiada cantidad de agua a la mezcla, la humedad debe ser la adecuada según los autores anteriores de tal forma que el tratamiento de lixiviados sea solo necesario como último recurso.

Así mismo los lixiviados generados durante el proceso de compostaje pueden reintroducirse para controlar la humedad y optimizar el proceso optimización del proceso. (Bilgili et al. 2007)

Igualmente, para el control de roedores la empresa, creadora de las composteras, (Earthgreen, s.f.) afirma:

Si se dejan residuos orgánicos descubiertos, estos pueden ser un foco de atracción de roedores. Es importante siempre que se haga una carga al compostador tapar con una capa la mezcla con aserrín, u hojas secas trituradas para además de asegurarse de que la humedad en el proceso sea la indicada, esto garantizará calor intenso dentro del proceso haciendo que los roedores no lleguen al compostador.

6.2 Control de pH

Román (2013) proporciona una tabla que nos permite observar cuales son las características de que la mezcla de compost se encuentre en un rango muy elevado o muy bajo del pH y cómo solucionarlo

pH	Causas Asociadas		Soluciones
< 4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 - 8,5 Rango ideal			
> 8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de podo, hojas secas, aserrín)

Tabla 1. Control del ph. Fuente: (Román et al., 2013)

6.3 Control de la aireación.

Para observar tangiblemente que sucede con el compost en diferentes condiciones de oxígeno, además del procedimiento a realizar en los diferentes casos problemas que pudiesen ocurrir, se recurre a la tabla realizada por (Román et al., 2013)

Porcentaje de aireación	Causas Asociadas		Soluciones
< 5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación.
5% -15% Rango ideal			
> 15%	Exceso aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado de material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros).

Tabla 2. Control de la aireación. Fuente: (Román et al., 2013)

6.4 Control de la humedad

Para observar tangiblemente que sucede con el compost en diferentes condiciones de humedad, además del procedimiento a realizar en los diferentes casos problemas que pudiesen ocurrir, se recurre a la tabla realizada por (Román et al., 2013)

Porcentaje de humedad	Causas Asociadas		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros).
45% -60% Rango ideal			
> 60%	Oxígeno Insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Tabla 3. Control de la humedad. Fuente: (Román et al., 2013)

6.5 Recomendaciones generales

Igualmente el estudio de (Bejarano, E. & Delgadillo, S. 2007) nos muestra en una tabla diferentes síntomas generales y problemas en una compostera con su solución.

SÍNTOMA	PROBLEMA	SOLUCIÓN
Olores ofensivos	1. Demasiado mojado 2. Necesita más aire 3. Exceso de materiales con alto contenido de nitrógeno.	Agréguete a la pila materiales secos como hojas. Voltee la pila para incorporarle más aire o mezcle materiales que no se compactan para crear espacios de aire. Agregue y mezcle materiales con alto contenido de carbono como olotes, hojas secas, etc.
La pila tiene olor a amoníaco.	1. Demasiados materiales verdes. 2. La relación C/N está fuera de balance.	Voltee la pila o agréguele materiales secos como aserrín o pedazos de madera.
El proceso es muy lento	Las partículas en la pila de compost son demasiado grandes	Corte los desechos en pedazos que no sean mayores de 20 o 25 cms., además se puede agregar material compostado para proveer más microorganismos.
La pila no se calienta	1. Falta de nitrógeno 2. El área superficial de la pila de compost puede ser muy pequeña.	Agréguete materiales con nitrógeno como grama verde o desechos de vegetales. Mezcle más materiales para crear una pila más grande
El centro está seco.	No hay suficiente agua.	Agregue agua cuando este volteando la pila de compost.

Tabla 3. Problemas y soluciones en compostaje. Fuente:(Bejarano, E. & Delgadillo, S. 2007)

6.5.1 Tamizaje

La Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (2020) recomienda que se debería hacer un tamizaje del compost para que las partículas que no se alcanzaron a degradar puedan separarse y reintroducirse al proceso de nuevo.

Acción que no se realiza dentro de la universidad, ya que el compost terminado, aunque posee una buena estructura y se ha degradado adecuadamente, este se recoge y se aplica sin previo tamizaje generalmente.

6.5.2 Enriquecimiento del compost

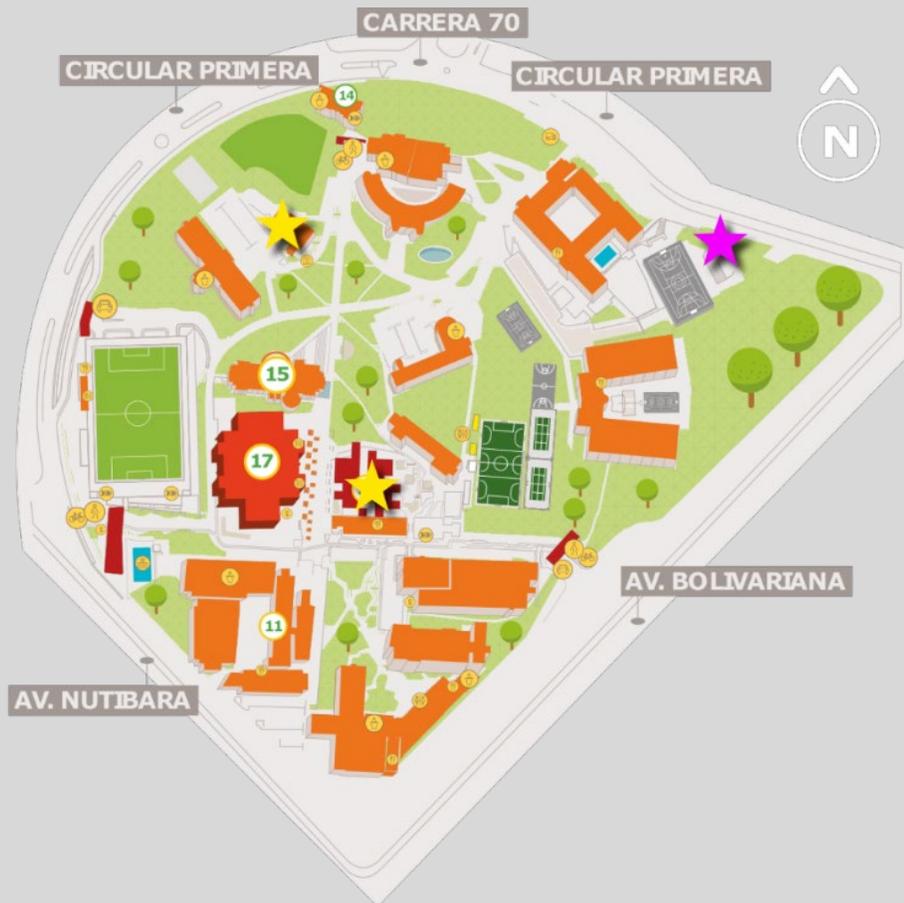


Figura2. Mapa de mayores generadores de residuos orgánicos utilizables en la universidad y composteras.

Debido a que el componente principal del compost actual son hojas secas, este se podría enriquecer agregándole más material orgánico como restos de verduras y frutas.

Utilizando la fórmula explicada en el capítulo tres, de la relación Carbono/Nitrógeno, se pudo determinar los siguientes valores del compost actual. Además, se pudo estimar la cantidad necesaria del material que puede ser utilizado según la literatura para mejorar el compost. Las estrellas amarillas en el mapa pertenecen a los mayores generadores de material orgánico en la universidad que son el restaurante Diverso y Montana Serviexpress, y la estrella rosada pertenece a las composteras de la universidad.

Recordando a la fórmula:

$$R = \frac{CN1 \times Q1 + CN2 \times Q2 + CN3 \times Q3 + \dots + CNn \times Qn}{(Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Qn)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material

Con esta fórmula se determinó que se trabaja semanalmente como **Q1** a la cantidad de hojas secas utilizadas en la mezcla con (210,6 Kg) y una relación C/N 47,1:1, y a **Q2** como la cantidad de desechos de frutas con (34,6 Kg) y una relación CN de 40:1, la formula proporcionaba una relación C/N de 46,09. Con base en esto se calculó la cantidad de residuos organicos que deberían agregarse a cada cama para que esta estuviera en el rango ideal de relación C/N

El cálculo se realizó para tener una cantidad similar de residuos orgánicos en las camas de compost a la que se trabaja actualmente, y los residuos orgánicos pueden ser obtenidos de los mayores generadores, como lo son los restaurantes de Diverso, taco Factory, Serviexpress. Los valores hallados se determinaron variando los valores de la formula, en la cantidad de los insumos a utilizar, y agregándole otros que pueden recolectarse semanalmente entre estos tres restaurantes presentes en la universidad, solo debería solicitarle a cada uno, la separación de los mismos, que, para este caso en específico, y la particularidad de los restaurantes, serian residuos de vegetales. Los posibles valores a utilizar se presentan a continuación.

- ✓ Reduciendo en dos contenedores la cantidad de hojas secas, se tendrían 4 contenedores donde su peso seria aproximadamente de (140 Kg) con relación C/N de 47,1:1, se seguirían utilizando los mismos residuos de frutas que se usan actualmente en la universidad (34,6 Kg) con relación C/N de 40:1, se recolectarían semanalmente (80Kg) de vegetales y verduras, con una relación C/N de 19:1. Y reemplazando estos valores en la formula, la mezcla tendría una relación C/N total de **37,3:1** y teniendo como peso (254,6 Kg)
- ✓ Reduciendo en tres contenedores la cantidad de hojas secas, su peso seria aproximadamente de (105 Kg) con relación C/N de 47,1:1, se seguirían utilizando los mismos residuos de frutas que se usan actualmente en la universidad (34,6 Kg) con relación C/N de 40:1, se recolectarían semanalmente un poco más de residuos vegetales y verduras (90Kg), con una relación C/N de 19:1. Y reemplazando estos valores en la formula, la

mezcla tendría una relación C/N total de **35,06:1** y teniendo como peso (229,6 Kg)

7. Referencias

1. Bejarano, E. P., & Delgadillo, S. M. (2007). *Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “La Modelo” por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM)* (Proyecto de grado, Universidad La Salle). Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1666&context=ing_ambiental_sanitaria
2. Bilgili, M. S., Demir, A., & Ozkaya, B. (2007). *Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes*. Journal of Hazardous Materials. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406010533?via%3Dihub>
3. Busajim, G. G. (2023). *Desarrollo de una aplicación para el cálculo de la relación carbono-nitrógeno de una masa compostable*. Recuperado de: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18984/busajm-mellado-gonzalo-tesis.pdf
4. Earthgreen. (s.f.). *Preguntas frecuentes*. Earthgreen. Recuperado de: <https://www.earthgreen.com.co/preguntas-frecuentes/>
5. Luna, L. A., & Bolaños, M. M. (2007). *Producción de abonos orgánicos de alta calidad*. Recuperado de: https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/1_compostaje.pdf
6. Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

Anexos

En esta sección se presentan los anexos correspondientes a las tablas, gráficos y otros documentos que respaldan los análisis realizados en el presente trabajo. En particular, se incluyen las tablas utilizadas para determinar los índices de carbono-nitrógeno, las cuales sirvieron como base para evaluar la calidad del compost generado en el proyecto.

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Anexo 1 Relación C/N de Materiales Fuente (Román et al., 2013)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Hierba seca (gramíneas)					81	Román et al. (2013)
Hojas de café					38	Román et al. (2013)
Bagazo de caña de azúcar					104	Román et al. (2013)
Restos de poda					44	Román et al. (2013)
Mazorca de maíz					117	Román et al. (2013)
Paja de maíz					312	Román et al. (2013)
Aserrín					638	Román et al. (2013)
Alpeorajo	65	890	1,3	57,2	44	González Provost et al. (2017)
Hojín	40	300	1,4	50,5	36,07	González Provost et al. (2017)
Paja	12	100	0,7	56	80	González Provost et al. (2017)
Estiércol de ovino	38,5	400	1,7	22,6	13,29	González Provost et al. (2017)
Estiércol de vacuno	45	700	2,3	28,1	12,22	González Provost et al. (2017)
Gallinaza	20,1	400	3,2	40	12,5	González Provost et al. (2017)
Desechos de procesamiento de Fruta	80,3	800	1,9	55,2	29,05	Peña et al. (2020)
Lodo de procesamiento de papa	77	900	1,8	48,3	26,83	Peña et al. (2020)
Escombros de procesado de papa y maíz	75,1	800	0,9	57,2	63,56	Peña et al. (2020)
Cascara de arroz	2	100	0,4	46,5	116,25	Peña et al. (2020)
Aserrín	54,1	100	0,7	56,4	80,57	Peña et al. (2020)
Guano de vaca lechera	5	300	3,7	32,6	8,81	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de caña de azúcar	52,3	400	0,5	12,2	24,40	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de manzana	60	710,15	1,2	15,6	13	Rynk et al. (1992)
Pulpa de manzana	88	924,92	1,1	52,8	48	Rynk et al. (1992)
Lodos de procesamiento de manzanas	59	837,11	2,8	19,6	7	Rynk et al. (1992)
Cáscara de cacao	8	473,43	2,3	50,6	22	Rynk et al. (1992)
Mazorca de maíz	15	330,45	0,6	58,8	98	Rynk et al. (1992)
Harina de semilla de algodón			7,7	53,9	7	Rynk et al. (1992)
Torta de filtro de arándano	50	605,73	2,8	86,8	31	Rynk et al. (1992)
Torta de filtro de arándano con cáscara de arroz	71	770,07	1,2	50,4	42	Rynk et al. (1992)

Anexo 2 Relación C/N de materiales. Fuente: (Busajim, G. 2023)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Planta de Arándano (tallo, hojas)	61		0,9	54,9	61	Rynk et al. (1992)
Desechos de frutas	80		1,4	56	40	Rynk et al. (1992)
Tapas de papa			1,5	37,5	25	Rynk et al. (1992)
Cáscara de arroz	14	119,84	0,3	36,3	121	Rynk et al. (1992)
Residuos del procesamiento de tomates	62		4,5	49,5	11	Rynk et al. (1992)
Productos vegetales	87	940,34	2,7	51,3	19	Rynk et al. (1992)
Desperdicios de cangrejo y langosta	47	142,39	6,1	29,89	4,9	Rynk et al. (1992)
Migas de empanizado de pescado	10		2	56	28	Rynk et al. (1992)
Lodos de procesamiento de pescado	94		6,8	35,36	5,2	Rynk et al. (1992)
Residuos de pescado	76		10,6	38,16	3,6	Rynk et al. (1992)
Desechos de mejillones	63		3,6	7,92	2,2	Rynk et al. (1992)
Cadáveres de aves de corral	65		2,4	12	5	Rynk et al. (1992)
Desechos de camarones	78		9,5	32,3	3,4	Rynk et al. (1992)
Guano de pollo	37	512,59	2,7	37,8	14	Rynk et al. (1992)
Guano de vaca	81	865,00	2,4	45,6	19	Rynk et al. (1992)
Guano de ganado lechero fijo	79		2,7	48,6	18	Rynk et al. (1992)
Guano de ganado lechero libre	83		3,7	48,1	13	Rynk et al. (1992)
Guano de caballo	72	818,13	1,6	48	30	Rynk et al. (1992)
Guano de caballo de carrera	63		1,2	49,2	41	Rynk et al. (1992)
Guano de gallinas ponedoras	69	877,46	8	48	6	Rynk et al. (1992)
Guano de oveja	69		2,7	43,2	16	Rynk et al. (1992)
Guano de cerdo	80		3,1	43,4	14	Rynk et al. (1992)
Guano de pavo	26	464,54	2,6	41,6	16	Rynk et al. (1992)

Anexo 3 Relación C/N de materiales. Fuente: (Busajim, G. 2023)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Residuos farmacéuticos			2,6	49,4	19	Rynk et al. (1992)
Lodo activado			5,6	33,6	6	Rynk et al. (1992)
Lodo digerido			1,9	30,4	16	Rynk et al. (1992)
Heno (leguminosa)			2,5	40	16	Rynk et al. (1992)
Heno (no leguminosa)			1,3	41,6	32	Rynk et al. (1992)
Paja (general)	12	134,67	0,7	56	80	Rynk et al. (1992)
Paja (avena)			0,9	54	60	Rynk et al. (1992)
Paja (trigo)			0,4	50,8	127	Rynk et al. (1992)
Corteza de madera dura			0,241	53,743	223	Rynk et al. (1992)
Corteza de madera blanda			0,14	69,44	496	Rynk et al. (1992)
Cartón corrugado	8	153,66	0,1	56,3	563	Rynk et al. (1992)
Residuos de aserradero			0,13	22,1	170	Rynk et al. (1992)
Lodos de fábrica de papel	81		0,56	30,24	54	Rynk et al. (1992)
Pasta de papel	82	832,37	0,59	53,1	90	Rynk et al. (1992)
Aserrín	39	243,24	0,24	106,08	442	Rynk et al. (1992)
Guías telefónicas	6	148,32	0,7	540,4	772	Rynk et al. (1992)
Maderas duras (astillas, restos, etc.)			0,09	50,4	560	Rynk et al. (1992)
Maderas blandas (astillas, restos, etc.)			0,09	57,69	641	Rynk et al. (1992)
Recortes de césped	82		3,4	57,8	17	Rynk et al. (1992)
Hojas	38		0,9	48,6	54	Rynk et al. (1992)
Algas marinas	53		1,9	32,3	17	Rynk et al. (1992)
Poda de arbustos	15	254,52	1	53	53	Rynk et al. (1992)
Poda de árboles	70	768,89	3,1	49,6	16	Rynk et al. (1992)
Restos hortícolas	85,4 ± 2,7		7,7 ± 0,9		4,9 ± 1,1	Ruggieri et al. (2008)

Anexo 4 Relación C/N de materiales. Fuente: (Busajim, G. 2023)