

Tema 2

Condiciones que promueven el compostaje

Subtemas:

- Relación C:N y biodisponibilidad de carbono
- Oxígeno
- Humedad
- *pH*
- Temperatura
- Tamaño de partículas y porosidad
- Tamaño del sistema
- Inoculación de microorganismos
- Tiempo

Condiciones que promueven el compostaje

- Como el proceso de compostaje es llevado a cabo principalmente por los microorganismos, la intervención humana para acelerar este proceso natural consiste en dar las condiciones favorables para el crecimiento y la actividad de esa microbiota aeróbica.
- Los microorganismos requieren:
 - **Carbono** para energía, **nitrógeno** para construir proteínas y otros elementos en menor cantidad.
 - **Oxígeno** adecuado en los poros de la mezcla de los materiales orgánicos para la respiración.
 - **Agua** para permitir la actividad biológica sin obstaculizar la aireación.

Relación de carbono (C) y nitrógeno (N)

- Los residuos orgánicos proporcionan la fuente de carbono y nitrógeno, la relación **inicial** ideal entre estos elementos para un compostaje activo es de 30 átomos de carbono por 1 de nitrógeno (Relación C:N de 30:1).

¿Por qué existe una relación específica entre el C y el N en los residuos a compostar?

- Debido a que la relación C:N en el interior de la célula microbiana es alrededor de 10:1 y la eficiencia en asimilar ese carbono del material orgánico es solo 1/3. Los otros 2/3 del carbono se oxidan como gas dióxido de carbono para obtener energía y se libera a la atmósfera (Figura n.1).
- Iniciar un compostaje con una relación C:N de 30:1 asegura 10 átomos de carbono para el crecimiento microbiano y 20 átomos se liberan en forma de CO₂.

Para mayor claridad del tema se sugiere ver el vídeo que se encuentra en el siguiente enlace:

https://www.youtube.com/watch?v=yA4xta-O7Ks&feature=emb_logo

Relación C:N en el compostaje

A medida que avanza el compostaje, la relación C:N disminuye gradualmente de 30:1 a 10-15:1 en el producto terminado. Esta baja relación C:N no produce problemas de olor porque la materia orgánica está en un forma estable.

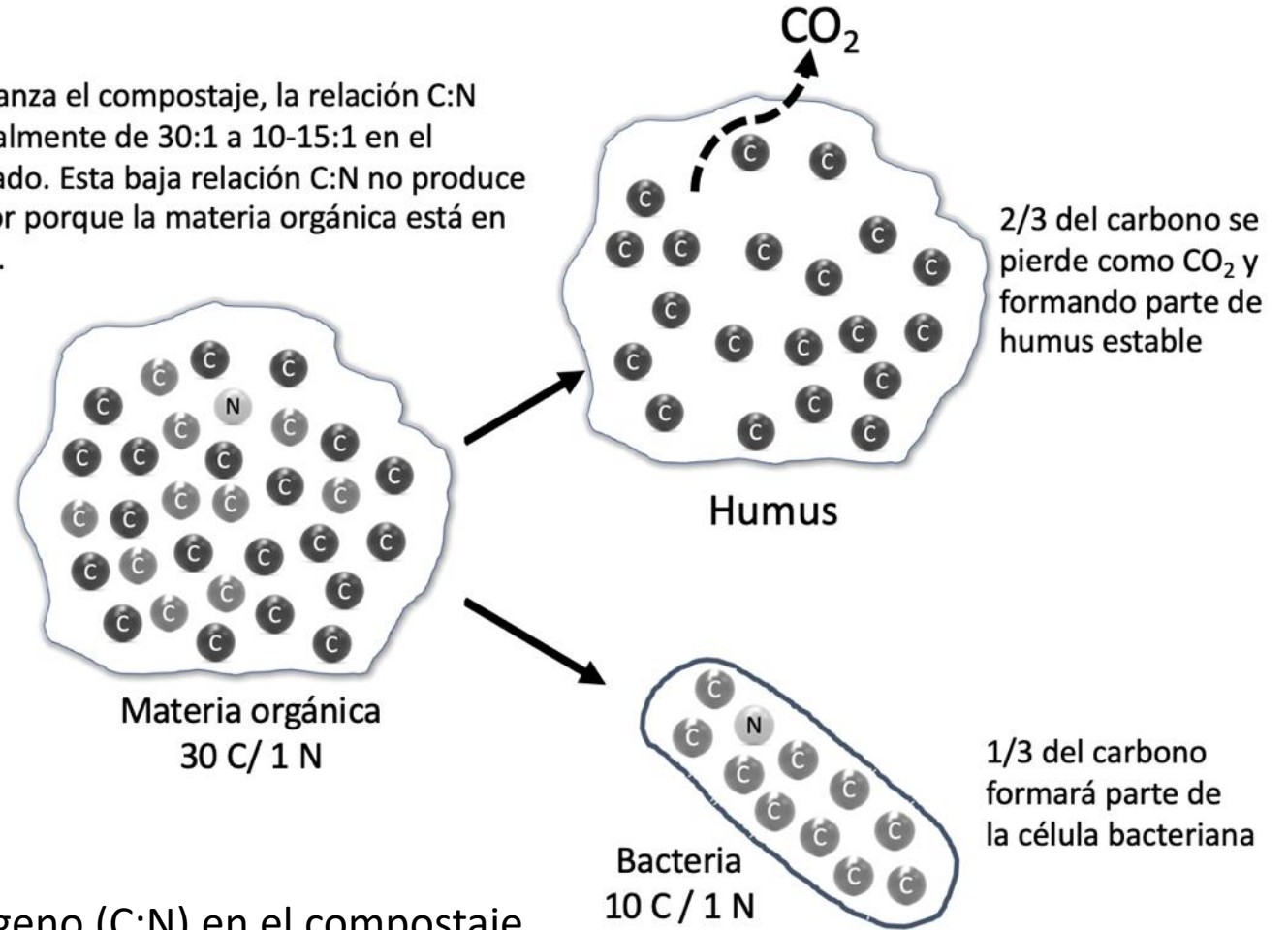


Figura n.1. Esquema de la relación ideal carbono y nitrógeno (C:N) en el compostaje.

Fuente: elaboración propia.

Relación C:N alta

¿Qué ocurre cuando la relación C/N de una mezcla inicial es demasiado alta y cómo corregirla (mayor a 30)?

- En este caso el proceso es más lento, se genera poco calor porque hay escasez de nitrógeno.
- El compost final será fibroso y con baja liberación de nutrientes en el suelo.

Solución a este problema: agregar ingredientes que tengan relación C:N baja, como estiércol o gallinaza.

Para mayor claridad sobre este tema se sugiere observar el vídeo que se encuentra en el siguiente enlace:

https://www.youtube.com/watch?time_continue=211&v=jh9PHgoL6Cs&feature=emb_logo

Relación C:N baja

¿Qué ocurre cuando la relación C/N de una mezcla inicial es demasiado baja y cómo corregirla (menor a 20)?

- Significa exceso de nitrógeno para el proceso microbiano.
- Se producen pérdidas de N en forma de gas amoniacado, tanto mayores cuando menor valor de C:N. El compost final tendrá menos N del que podría haber tenido.
- Solución a este problema: agregar ingredientes que tengan relación C:N alta, como tallos picados de maíz, hojas de árboles secas, burucha de madera.

Para mayor claridad sobre este tema se sugiere observar el vídeo que se encuentra en el siguiente enlace:

https://www.youtube.com/watch?v=S5TkyNVcSUY&feature=emb_logo

Biodisponibilidad del carbono y nitrógeno

- En la relación C:N se debe tomar en cuenta la **biodisponibilidad** de los elementos en los materiales orgánicos.
- El nitrógeno, por lo general, siempre estará fácilmente disponible.
- El carbono puede estar unido a compuestos altamente resistentes a la degradación biológica, como a la lignina en la viruta de madera o a la celulosa en los tallos de maíz.
- Estos materiales, altamente resistentes a la degradación biológica, pueden agregarse al compostaje, pero es mejor mezclarlos con otras fuentes que contengan carbono más fácilmente biodegradable.

Biodisponibilidad del carbono y otros elementos

El tamaño de partícula también puede afectar la disponibilidad de carbono. Mientras que la misma cantidad de carbono está contenida en masas comparables de astillas de madera y aserrín, la mayor superficie del aserrín hace que su carbono esté más fácilmente disponible para uso microbiano (Figura n.2). Por lo tanto, se necesitaría un mayor volumen de astillas de madera que de aserrín, para lograr la misma cantidad de carbono biodisponible.



Figura n.2. Virutas y aserrín de madera.

Tomado de:

https://st2.depositphotos.com/4796147/10974/i/950/depositphotos_109741230-stock-photo-big-heap-of-wood-chips.jpg

Degradabilidad de los carbohidratos como fuente de carbono

La facilidad con que se degradan los compuestos generalmente sigue el orden: azúcares > almidones > hemicelulosas > celulosa = quitina > lignina. Los desechos de frutas y verduras se degradan fácilmente porque contienen principalmente carbohidratos no estructurales (azúcares y almidones). En contraste, las hojas secas, tallos, cáscaras de coquitos o nueces, corteza y virutas de árboles se descomponen más lentamente porque contienen carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), Figura n.3.

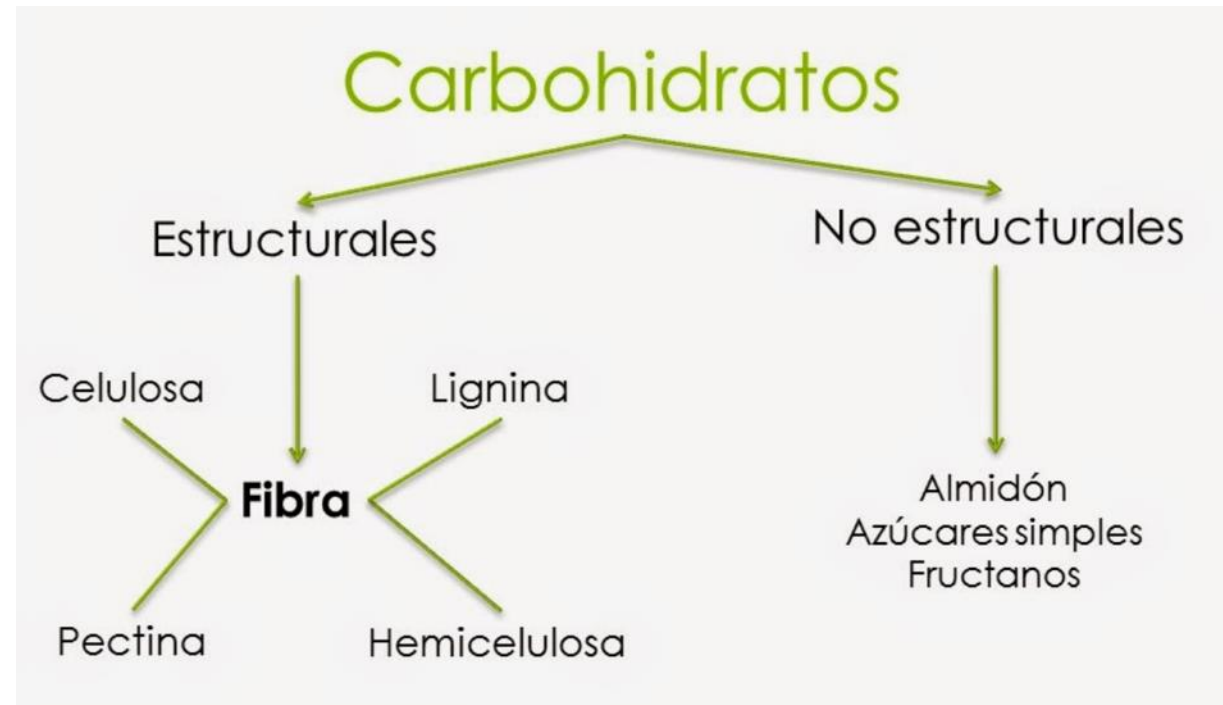


Figura n.3. Tipos de carbohidratos.

Tomado de: <http://www.cuniculturaperu.com/2014/04/equilibrio-bacteriano-y-la-fibra.html>

¿Qué hacer si no se conocen los contenidos de C y N de los residuos orgánicos?

- Muchas personas que hacen compostaje a pequeña escala realizan la mezcla de los residuos orgánicos basados en su apariencia. En general, los materiales que son verdes y húmedos tienden a tener un alto contenido de N, y los que son marrones y secos tienen un alto contenido de C. Una recomendación general es usar **tres partes de material rico en carbono y una parte rica en nitrógeno**. Este enfoque no es preciso pero hay mucha probabilidad que la relación C:N inicial esté entre 25:1 a 40:1 y, por lo tanto, que la relación C:N del producto final esté entre 15:1 a 20:1.
- Con el objetivo de optimizar la relación C:N y el contenido de humedad y con algo de experiencia con las materias primas, este enfoque de prueba y error a menudo funciona.

Si se conocen los contenidos de C y N de los residuos orgánicos

Para operaciones más grandes, o cuando el compostaje necesita ser más eficiente, se pueden calcular recetas de compost más precisas usando fórmulas y hojas de cálculo de computadora que son basados en las características de las materias primas. Existe en español una aplicación gratuita para teléfonos móviles (ver *APP **Compost Calculator**, Universitat Miguel Hernández de Elche, España*) o el sitio web:

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/areas/produccion-ecologica/compostaje-pe/paginas/calculadora-compostaje.html>

En idioma inglés, se pueden encontrar varias de estas hojas de cálculo:

<https://www.klickitatcounty.org/DocumentCenter/View/3523/Compost-Calculator>

<https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/67142>

<http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Relaciones carbono/nitrógeno de algunos residuos orgánicos (valores promedios)

Altos en N	Relación C/N	Altos en C	Relación C/N	Equilibrados	Relación C/N
Orines	1/1	Astillas de madera	600/1*	Estiércol de caballo	20-30/1
Estiércol de aves	5-15/1	Papel y cartón	150-300/1	Hierbas al final de su ciclo	20-30/1
Ortigas frescas	3-15/1	Cañas de maíz secas	100-150/1	Hojas de árboles frutales y arbustos verdes	20-35/1
Césped recién cortado	10-20/1	Ramas de podas	30-80/1		
Leguminosas	10-20/1				
Restos vegetales frescos	10-20/1				
Bosorola de café	20/1				
Restos de alimentos	15-20/1				

*Como solo la superficie exterior de la astilla de madera está realmente disponible para los microbios en la pila de compost. En la práctica, solo alrededor de 1/3 de la astilla de madera se descompondrá en un período de compostaje de 3 a 6 meses. Entonces, al determinar una mezcla de compost, solo cuente 1/3 de la relación C:N indicada, o sea, una relación C:N de 200:1.

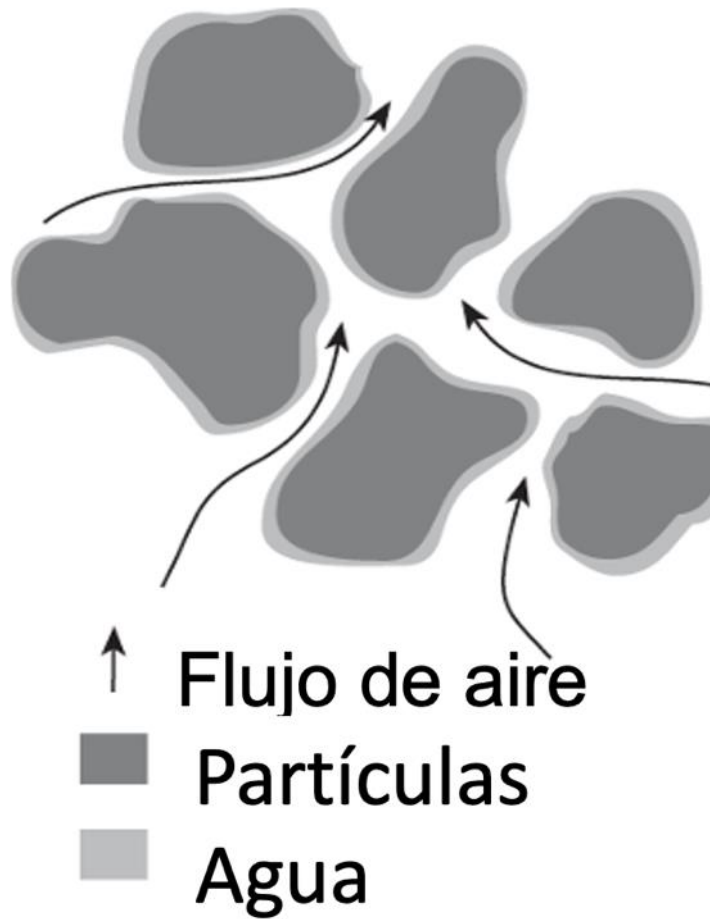
Relaciones carbono/nitrógeno de algunos residuos orgánicos (valores promedios)

MATERIALES (base seca)	C%	N%	C/N
Aserines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz.	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol suino	8	0.7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Fuente: modificado de Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos.

<http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>

Oxígeno (O₂)



- El compostaje puede ocurrir tanto en ambientes aeróbicos (con O₂) como anaeróbicos (sin O₂). Sin embargo, el compostaje aeróbico es el más eficiente.
- Aunque el aire que nos rodea contiene 21 % de O₂, los microbios aeróbicos pueden sobrevivir a concentraciones de O₂ tan bajas como 5 %, mientras que las concentraciones de O₂ de más del 10 % se consideran óptimas en las pilas de compost (Figura n.4).
- Los microorganismos oxidan el C para obtener energía y producen CO₂. Entre mayor actividad microbiana en la pila de compost, se gastará más O₂, si no se repone el proceso se volverá anaeróbico y producirá olores indeseables.

Figura n.4. Flujo de aire entre las partículas orgánicas.

Oxígeno (O₂)

- La cantidad de O₂ utilizado por microorganismos depende del contenido de humedad de los materiales del compost y su área de superficie.
- Los microbios habitan una delgada película líquida en la superficie de las partículas (Figura n.5). Debido a que el coeficiente de difusión del oxígeno a través del agua es significativamente menor que a través del aire, es posible que el oxígeno no llegue a los microbios a la velocidad que exigen, a pesar de que ingresa a la pila a una velocidad suficiente. Mantener una adecuada porosidad llena de aire en las pilas de compostaje es esencial para el compostaje aeróbico.

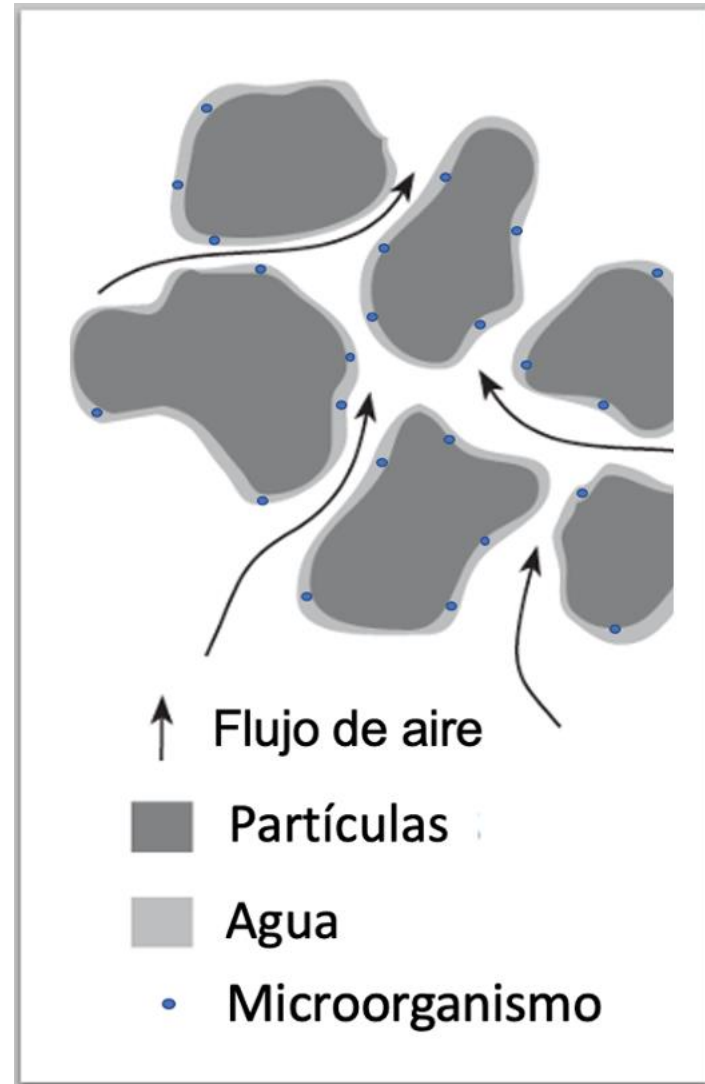


Figura n.5. Película de agua en las partículas orgánicas.

Fuente: Trautmann y Krasny, 1997.

¿Qué hacer para mantener un adecuado suministro de O₂ en la pila de compostaje?

- Se debe proporcionar un flujo de aire adecuado utilizando sistemas de aireación pasiva o forzada.
- Aireación pasiva: mediante volteos, aflojan el material restableciendo los poros o colocación de tuberías perforadas (Figura n.6).
- Aireación forzada: tubería perforada en el fondo de la pila de compost y conectada a una fuente de aireación.
- La pila o recipiente debe ser lo suficientemente grande como para retener el calor y la humedad, pero lo suficientemente pequeña como para permitir una buena circulación de aire.



Figura n.6. Pila de compost con tubos perforados para aireación pasiva.

Relación entre el O₂ y la humedad en el compost

El oxígeno se difunde miles de veces más rápido a través del aire que a través del agua, la transferencia de oxígeno se ve obstaculizada si el agua llena los poros entre las partículas de compost (Figura n.7-A).

Si las delgadas películas de agua que rodean las partículas individuales se secan, los microorganismos que descomponen la materia orgánica se volverán inactivos.

La clave es proporcionar suficiente agua para mantener las películas delgadas alrededor de las partículas de compost, pero no tanto como para reemplazar el aire en los poros más grandes (Figura n.7-B).

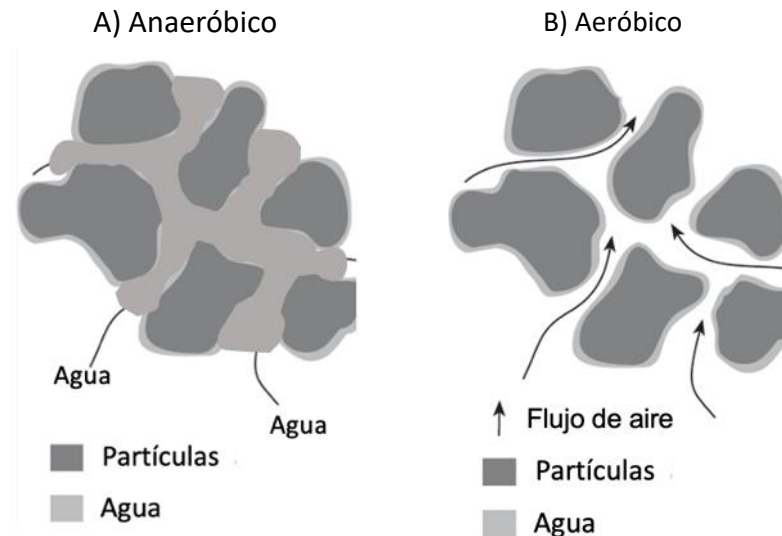


Figura n.7: A) Espacio poroso lleno de agua y B) espacio poroso con agua y aire.

Fuente: modificado de Trautmann y Krasny, 1997.

Humedad

El compost debe estar lo suficientemente húmedo como para soportar el crecimiento microbiano, pero no tan húmedo que se vuelva anaeróbico.

Fase del compostaje	Porcentaje de humedad óptimo de la mezcla	Rangos de humedad que generan problemas
Inicial	50 - 60	Menor a 35, inhibe actividad microbiana. Mayor a 60, descomposición lenta. Las pilas más secas tienden a calentarse y enfriarse más rápidamente que las pilas más húmedas.
Activa	50 – 60 El agua se evapora por aumento de la temperatura, es necesario reponerla.	Menor a 35, inhibe actividad microbiana. Mayor a 60, descomposición lenta, producción de olores, lixiviación de nutrientes.
Maduración	≈ 40	Menor a 30, genera polvo. Mayor a 55, material pesado por el agua.

Fuente: elaboración propia.

Humedad

- Se puede agregar agua a los materiales originales si están demasiado secos o si durante el proceso hay pérdida de humedad.
- Mida la humedad de forma cualitativa con la prueba del puño: tomar un puñado de la mezcla, si escurre agua la mezcla está muy húmeda; por el contrario, si al abrir la mano el puñado parece estar muy seco, será necesario incorporar humedad (Figura n.8).



Figura n.8. Esquema de la prueba del puño para determinar la humedad adecuada en la mezcla del compostaje.

Fuente. http://www.malerrekakomankomunitatea.eus/es/COMPOSTAJE_HUMEDAD

Humedad

- Si tiene la posibilidad, mida la humedad del compost regularmente durante todo el proceso de compostaje con algún dispositivo como sondas de humedad (pueden tener un costo promedio de 50 dólares).
- Se pueden mezclar materiales con diferentes contenidos de humedad, para lograr un contenido de humedad ideal.
- Materiales que contienen más fibras, como paja y astillas de madera, pueden contener un mayor contenido de humedad (más del 60 %), sin causar condiciones anaeróbicas.
- Materiales como papel, podas de césped, tierra y estiércol deben contener menos humedad total para prevenir el desarrollo de condiciones anaeróbicas.

pH en la pila de compost en el tiempo

- *pH*: medida de acidez o alcalinidad de los materiales de la pila de compost
- **Controlar el *pH* dentro de un rango óptimo es difícil y generalmente no se realiza (Figura n.9)**
- Rango de *pH* óptimo: de 6,0 a 7,5 para bacterias y de 5,5 a 8,0 para hongos
- A $pH > 7,5$ pueden ocurrir pérdidas gaseosas de amoníaco (N)
- El estiércol puede elevar el *pH*
- Los residuos de alimentos pueden disminuir el *pH*

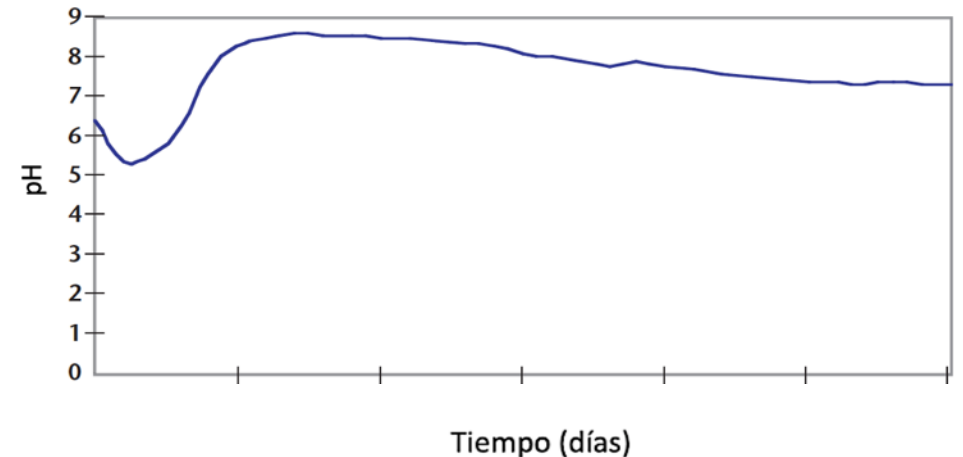


Figura n.9. Niveles de *pH* en una pila de compost en el tiempo.

Fuente: tomado de Trautmann y Krasny, 1997.

Temperatura

- El rango de temperatura óptimo es de 55 a 65 °C en la fase termófila, durante la cual la descomposición de los materiales orgánicos es más rápida, se destruyen las semillas de malezas y se mueren los patógenos.
- Temperaturas mayores a 65 °C pueden inhibir la actividad microbiana, por lo cual debe medirse con frecuencia utilizando un termómetro y ajustarse según sea necesario, durante todo el proceso de compostaje.
- Los métodos comunes utilizados para ajustar la temperatura son aireación forzada, volteos y riegos para la humedad (Figura n.10). El tamaño de la pila afecta la temperatura: a mayor tamaño de la pila, mayor temperatura (y viceversa).



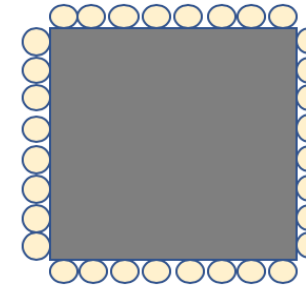
Figura n.10. Volteos en una pila de compostaje para el control de la temperatura dentro del rango óptimo.

Fuente: elaboración propia.

Tamaño de partícula y porosidad

- Las partículas de los residuos orgánicos más pequeñas tienen más área de superficie por unidad de volumen y, por lo tanto, los microbios tienen más superficies para colonizar. Esto fomentará la actividad microbiana y aumentará la velocidad de descomposición (Figura n.11).
- Sin embargo, si las partículas son demasiado pequeñas, la porosidad disminuirá, se producirá la compactación y se restringirá el flujo de aire dentro de la pila de compost. Se puede regular mediante la selección de los materiales, su molienda (picado) o mezcla.

Bacterias rodean una partícula orgánica de tamaño grande



Si la partícula grande se divide en otras más pequeñas serán rodeadas por más bacterias

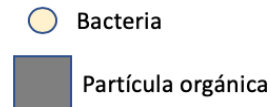
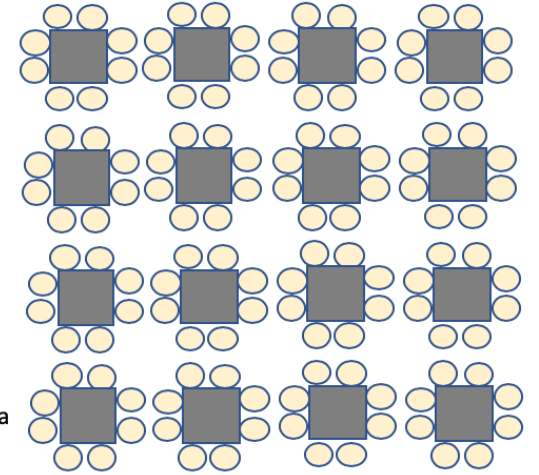


Figura n.11. Esquema que representa el área de superficie de las partículas orgánicas.

Fuente: elaboración propia.

Tamaño de partícula y porosidad



Cuando las partículas son demasiado pequeñas y compactas (aserrín), se inhibe la circulación de aire a través de la pila. Las astillas de madera ayudan a la circulación del aire.



Se pueden agregar astillas de madera, ramas picadas u olotes de maíz (entre otros), como material a granel para aumentar la porosidad. Al final del proceso de compostaje, este material que no se ha descompuesto se puede extraer del compost y reutilizarlo.



Una buena estructura (capacidad para resistir compactación) de estas partículas previene la pérdida de porosidad en la pila de compost en su ambiente húmedo.

Resumen de las condiciones ideales para un compostaje aeróbico

Condición	Ideal
Relación C:N inicial	25:1 a 35:1
Contenido de humedad	50 a 60 % por peso
Concentraciones de O ₂	> 10 %
<i>pH</i>	6,5 a 8,0
Tamaño de partículas de la materia prima	0,3 a 2,5 cm diámetro promedio
Temperatura	Entre 55 a 60 °C

En el mundo real no siempre ocurren estas condiciones. Afortunadamente, el compostaje es un proceso flexible que puede ocurrir en una amplia gama de condiciones. Una mezcla de materiales con un contenido de humedad, relación C:N razonable y buenas prácticas de manejo conllevará a un compost aceptable. En general, la combinación de la calidad de la materia prima y el manejo del compost determinará la calidad del producto terminado.

Tamaño de la pila de compost

- Una pila o montículo de compost debe ser lo suficientemente grande como para evitar la rápida disipación de calor y humedad, pero lo suficientemente pequeña como para permitir una buena circulación de aire.
- La sabiduría convencional para el compostaje termófilo es que las pilas deben tener al menos 1 m³ de tamaño para garantizar una retención suficiente de calor y humedad.
- El tamaño dependerá también del método de compostaje y el equipo utilizado para los volteos.

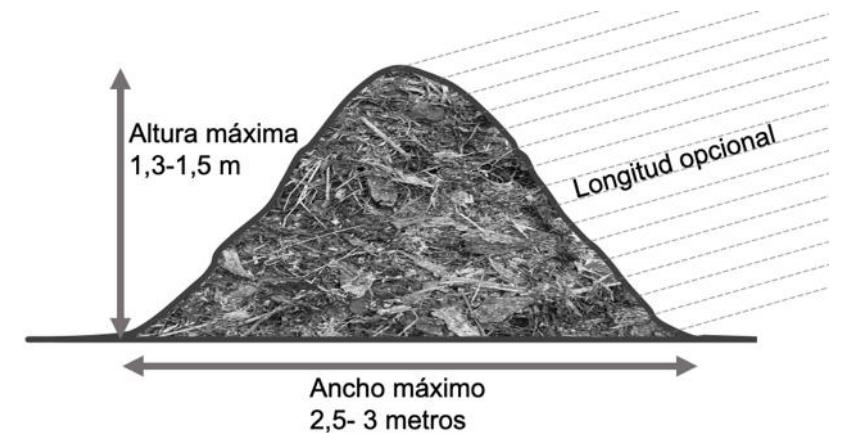


Figura n.12. Dimensiones estándar de una pila de compost.

Fuente: elaboración propia.

Tamaño de la pila de compostaje

Condición de la pila de compostaje	Consecuencia en el tamaño de la pila
Seca (<50 % de humedad) Porosidad adecuada en la mezcla	Se puede incrementar la dimensión sin causar anaerobiosis.
Húmeda (>65 %) y porosidad deficiente en la mezcla	No se puede incrementar la dimensión demasiado sin causar anaerobiosis (reducir la dimensión).
Tamaño de la pila de compostaje	Consecuencia
Pequeña	Mayor concentración de O ₂ pero menor capacidad para retener el calor.
Grande	Menor concentración de O ₂ pero mayor capacidad para retener el calor.

Fuente: elaboración propia.

Tamaño del sistema de compostaje

En sistemas más pequeños, como recipientes plásticos o de madera, se puede compostar y producir calor ($>50\text{ }^{\circ}\text{C}$), siempre que se tomen en cuenta los requerimientos mencionados para que los microorganismos realicen la descomposición aeróbica y la capacidad del volumen del recipiente no sea menor a 40 litros.

Aun en recipientes de menor volumen se puede generar calor ($>45\text{ }^{\circ}\text{C}$), algunos requerirán de un aislante para retener el calor generado.



Figura n.13. Caja para compostaje casera.

Fuente: elaboración propia.

Inoculación de microorganismos

- Los microorganismos aerobios que llevan a cabo el compostaje se encuentran presentes en los residuos orgánicos o provienen del ambiente (aire, agua, suelo, herramientas y maquinaria), estos microorganismos nativos son suficientes para llevar a cabo todo el proceso.
- Sin embargo, la introducción de otros microorganismos (inoculación) se ha considerado oportuna como activador para acelerar el proceso y obtener un compost de buena calidad. Los más utilizados son los microorganismos eficientes (EM®) y Microorganismos de Montaña (MM; consultar el Boletín INAGROP Volumen 9, N° 3, 2019, para detalles de su preparación), los cuales son aplicados junto a una fuente de energía como la melaza. Como activador se recurre también a agregar al inicio del compostaje una cierta cantidad de compost terminado (en su fase de maduración).



Figura n.14. Reproducción de MM líquido.

Fuente: Montero, A. (2017).

Tiempo de compostaje

El tiempo requerido para transformar los residuos orgánicos en el compost depende de los factores antes mencionados.

Una apropiada humedad y relación C:N, además de una frecuente aireación, asegura un período de compostaje lo más corto posible.

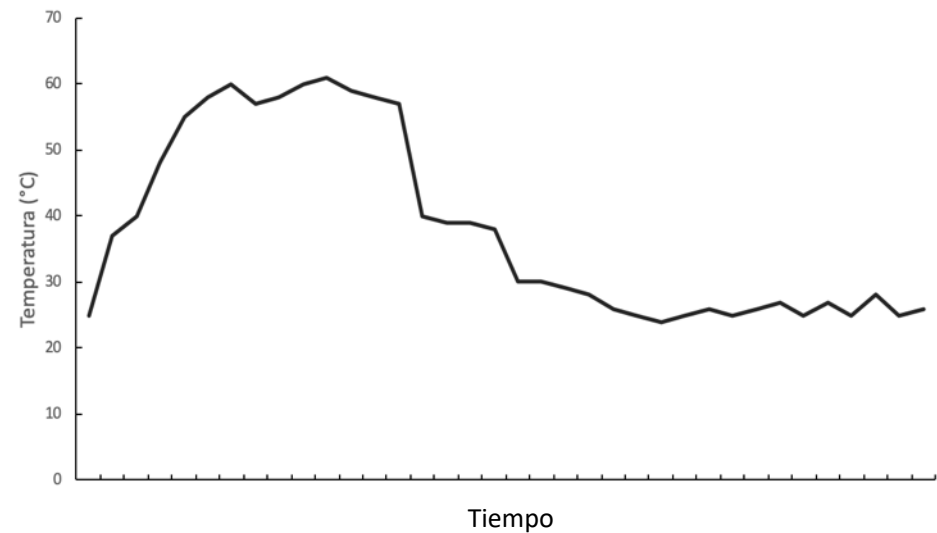


Figura n.15. La disminución de la temperatura luego de la fase termofílica indica el final del proceso de compostaje.

Fuente: elaboración propia.