

Compostado acelerado para la producción de bioinsumos, como una alternativa para la transición agroecológica

Eddie Jaime Malaver Altahona*
Rosana González
Argenis Guatarasma

Profesionales de investigación del Campo Experimental Santa Bárbara del INIA-Monagas
*Correo electrónico: ejmalaver@gmail.com.

La agricultura sostenible requiere un manejo adecuado del ecosistema y de los recursos que se encuentran disponibles en el entorno, como agua, suelo y sub-productos agrícolas. Los productores enfrentan problemas asociados al manejo de desechos agrícolas. La transformación de dichos desechos en abonos y sustratos para fines agrícolas es una práctica económica y ecológicamente pertinente.

La agricultura agroecológica propone reemplazar los insumos provenientes de fuentes externas, como sustancias químicas sintéticas y combustibles, con productos o residuos del mismo ecosistema, con el manejo del control biológico de plagas, uso del nitrógeno fijado biológicamente y entre otras estrategias, la elaboración de abonos orgánicos.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de proponer al productor agrícola, una metodología de manejo de bajo costo para la obtención de bioinsumos, con el uso eficiente de los residuos producidos en el sistema de producción. En la unidad de bioinsumos de la sede del INIA Monagas se desarrolló la técnica de compostado acelerado que consiste en el uso de un consorcio microbiano (CM) y sustancias energizantes (melaza, papelón, azúcar, entre otras) como activadores. Esta técnica permite obtener compost en aproximadamente 35 días.

Según Negro *et al* (2000), el compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y en combinación de fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato.

La base del CM, es la mezcla de diferentes tipos de microorganismos benéficos: bacterias fotosintéticas o fototróficas (*Rhodospseudomonas sp.*), bacterias

ácido lácticas (*Lactobacillus sp.*) y levaduras (*Saccharomyces sp.*). Estos microorganismos poseen propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y antagonismo con patógenos, lo cual permite el equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno y genera efectos positivos al ecosistema. La actividad conjunta de estos microorganismos les confiere excelentes habilidades metabólicas para el compostado: actividad proteolítica (degradación de proteínas y aminoácidos), sacarolítica (degradación de diversos tipos de azúcares), lipolítica (digestión de lípidos o grasas) y celulolítica (degradación de celulosa o material vegetal), lo que permite un adecuado compostaje de desechos tanto vegetales como animales (Malaver, 2015).

Los tipos de compost más comúnmente empleados son los aeróbicos. En ellos se logra un proceso de compostado más rápido debido a que ocurren en presencia de oxígeno. Como consecuencia, un amplio rango de microorganismos descomponedores de la materia orgánica se reproducen rápidamente y logran sintetizar grandes volúmenes de nuevos compuestos orgánicos.

Técnica de Compostado Acelerado

En el área de Bioinsumos del INIA Monagas, se obtuvo sustrato y abono orgánico (sólido y líquido), con el uso de la técnica de compostado acelerado. La descripción del procedimiento se presenta a continuación:

Materiales requeridos

Los materiales necesarios son: 6 kilos de restos de malezas, 3 kilos de desechos animales (estiércol de ganado vacuno), consorcio microbiano, melaza, 9 litros de agua, bolsas plásticas negras para basura resistentes, envase medidor (litro), envases plásticos de uno y 14 litros de capacidad, machete o tijera de podar, palas y/o rastrillos y (Figura 1).



Figura 1. Materiales: restos de malezas, estiércol de bovino seco, agua, melaza, consorcio microbiano, envases plásticos, rastrillo, tijera de podar y peso electrónico.

Metodología

La metodología está propuesta para la obtención de bioinsumos a baja escala.

Paso 1: Activación del Consorcio Microbiano

Se mezclan 50 mililitros del consorcio microbiano, 50 mililitros de sustancia activadora (melaza) y un litro de agua a temperatura ambiente, en un envase plástico con capacidad para 1,5 litros y se deja en reposo por 10 minutos. Luego se diluye la mezcla en 9 litros de agua limpia a temperatura ambiente y se agita fuertemente. Posteriormente, se considera que la mezcla está lista para su uso (Figura 2).

Este proceso de activación permite que los microorganismos benéficos que se encuentran en el consorcio microbiano al ser expuestos a esta solución rica en azúcares (energizante) salgan de su estado de latencia, se inicie su multiplicación y se dé inicio al proceso de compostado.

Paso 2: Acondicionamiento de los materiales de compostado

Se pesan las proporciones de los materiales a compostar (6 kilogramos de restos de malezas y 3 kilogramo de estiércol); se recortan los restos de maleza a tamaño menores de 10 centímetros y se



Foto 2. Activación del consorcio microbiano.

desmenuza la bosta de ganado, con el cuidado de deshacer todos los grumos que pueda tener. Esto permite un adecuado compostado y se aumenta la eficiencia del proceso (Figura 3).



Figura 3. Acondicionamiento de los materiales de compostado.

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula; si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica de contacto, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es entre 5 y 20 centímetros (FAO, 2013).

Paso 3: Conformación de las pilas de compostado

Dentro de la bolsa plástica, se colocan ordenadamente, capas de restos de malezas y bosta, y se humedecen con el CM previamente activado. Una vez colocados todos los materiales, se compactan y se amarra la bolsa negra; se obtiene así, una pila de compostado de fácil manejo (Figura 4).

Para conocer el contenido de humedad en las pilas de compostado, se hace una prueba de campo que consiste en tomar un puño del material de la pila ya preparada y se aprieta con fuerza; si se desmorona está seca y faltaría agregar agua, si forma una bola está bien, si escurre agua por el puño, hay exceso de humedad. La porción debería soltar o destilar agua fácilmente con la presión ejercida. Durante el proceso de compostado, los materiales deben conservarse húmedos, de ser necesario, se le puede agregar más agua para hacer correcciones a la humedad en las pilas.

La humedad óptima para el compost está entre 45 y 60%. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación; esto causa que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (mayor

a 60%), el agua saturará los poros e interferirá en la oxigenación del material (FAO, 2013).

Paso 4: Manejo de la pila de compostado

Al día siguiente (transcurridas 24 horas), después de haber conformado la pila de compostado, se introduce la mano y se constata si hubo aumento de la temperatura (40 a 60 grados centígrados); esto permite comprobar si se inició al proceso de compostado. Se puede usar un termómetro para conocer con exactitud la temperatura alcanzada por la pila en proceso de compostaje.

Posteriormente, se saca todo el material a compostar de la bolsa y se remueve aireándolo bien. Esto permite proporcionar oxígeno a los microorganismos y obtener una fermentación aeróbica. Este proceso se realiza por cinco (5) días seguidos y luego cada tres (3) días, garantizando la aireación del material a compostar. Se verifica la temperatura y la humedad del mismo. El material se coloca nuevamente dentro de la bolsa y debe compactarse bien antes de cerrarla. Cuando la temperatura de la pila de compostado se iguale a la temperatura ambiente, se asume la finalización del proceso.

La función primordial de la aireación en el compostaje es el aporte de oxígeno, control de la temperatura de la masa y la evacuación de CO₂ y otros gases. Una insuficiente aireación de la masa provoca un retardo del proceso de compostaje, y la producción de metabolitos que pueden resultar tóxicos y generar malos olores.

Paso 5: Maduración del material compostado

Todo el compost obtenido se pone a secar en sombra por aproximadamente 15 días (tiempo de maduración), y se remueve diariamente hasta que el material este completamente seco y se pueda utilizar. El compost puede considerarse "maduro" si presenta olor agradable a tierra húmeda. Este proceso de maduración permite volatilizar las sustancias tóxicas. Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

En un material que no haya terminado el proceso de maduración correctamente se percibe un fuerte olor a orina; el nitrógeno se encuentra más presente en

forma de amonio que en forma de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, crea un medio tóxico que no favorece el crecimiento de la planta y da lugar a malos olores. Un material que no haya completado el proceso de compostaje, contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y las plantas (FAO, 2013).

a 10 gramos por planta en hortalizas o en mezclas, previa a la siembra en relación de 10:1 (por cada 10 kilos de suelo arenoso se usa un kilo de compost como abono orgánico para la obtención de un sustrato abonado).

Para la obtención de sustratos para semilleros en bandeja o siembra, es necesario hacer un lavado al compost con una relación 1:2 (cada kilo de compost se lava con dos litros de agua). Esto se realiza para liberar los excesos de sales y ácidos orgánicos presentes, disminuir el pH, la conductividad eléctrica del compost, y alcanzar los valores óptimos para el uso del material.

El lavado del compost sólido producido con la técnica de compostado acelerado, permite obtener un extracto líquido que, previa caracterización química y microbiológica, puede ser utilizado como abono foliar para suplir las carencias nutricionales de las plantas (Oliveros, 2012). Este abono foliar se recomienda en aplicaciones de 1:10 (1 litro de extracto líquido por cada diez litros de agua), tomando en consideración las necesidades nutricionales de las plantas.

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales sintéticos. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica, es que contiene nutrientes disponibles de lenta liberación (FAO, 2013).

Evaluación de las propiedades físicas y químicas del compostado acelerado

Es importante conocer las propiedades físicas y químicas durante los procesos de obtención del compost, para tener garantía de que los procesos que se llevan a cabo, permiten obtener un producto de calidad. Se realizaron evaluaciones en dos fases:

Fase 1: Evaluación de las propiedades físicas y químicas durante el proceso de compostado

1.1.- Evaluación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas evaluadas fueron: temperatura diaria, cambio de color y tiempo de compostado.



Figura 4. Conformación de la pila de compostado.

Obtención de abono orgánico, sustrato y abono foliar a partir del compostaje acelerado:

El compost obtenido (material puro) puede ser utilizado como abono orgánico en proporciones de 5

1.1.1.- Temperatura diaria y tiempo de compostado

Se tomaron mediciones en tres puntos de las pilas de compostado con el uso de un termómetro geotérmico y se calcularon promedios de temperatura diaria. El tiempo de compostado se estableció en el momento en que la temperatura de las pilas de compostado se igualó a la temperatura ambiente.

La evolución de la temperatura permite la biodegradación y la higienización del material, sobre la base de niveles térmicos, que favorezcan un adecuado desarrollo de ambos procesos. De este modo, los requerimientos térmicos durante el compostaje deben conjugar: higienización (mayor que 40 °C), máxima degradación (entre 35 y 55 °C) y máxima diversidad microbiana (entre 35 y 40 °C).

La temperatura de la pila de compostado, nos permite estimar la actividad microbiana a lo largo de todo el proceso. En el cuadro 1, se muestran los datos de temperatura de la pila en proceso de compostaje y se puede apreciar la lenta disminución de la temperatura.

El tiempo de compostado se estimó en 34 días, tiempo en el cual, se igualó la temperatura de las pilas con la temperatura ambiente. Se puede establecer un período de máxima degradación y diversidad microbiana alcanzada en 22 días y un período de higienización del material en 11 días.

Las temperaturas que alcanzan los sustratos durante el proceso de compostaje dependen del calor generado por la actividad microbiana; este ejerce una selección progresiva de las especies microbianas, responsables de la degradación y transformación del sustrato.

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C, sin necesidad de actividad antrópica (calentamiento artificial); y llega nuevamente, durante la fase de maduración, a temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor la higienización (FAO 2013).

La temperatura es uno de los factores que influye de forma más crítica sobre la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos durante el compostaje. Las temperaturas óptimas del proceso se encuentran entre 45 y 60 °C; sobre 60°C se asegura, además, la muerte de patógenos que afectan la salud humana y la salud agrícola vegetal.

1.1.2.- Cambio de color

A través de la toma diaria de fotografías, se evaluó el cambio de coloración en las pilas de compostado. La transición de colores claros a colores más oscuros (Figura 5), es indicativa de la evolución del proceso durante el cual, se concentran los ácidos húmicos y fúlvicos.

Cuadro 1. Evaluación de la temperatura diaria (°C) en pilas de compostado elaborados con la técnica de compostado acelerado.

Temperatura diaria (°C) los primeros 17 días de evaluación																
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17
50	50	45	44	44	43	42	41	40	40	40	39	39	38	38	38	37
Temperatura diaria (°C) entre los 18 y 34 días de evaluación																
Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31	Día 32	Día 33	Día 34
37	37	37	36	35	34	33	32	31	30	29	26	26	26	26	25	24

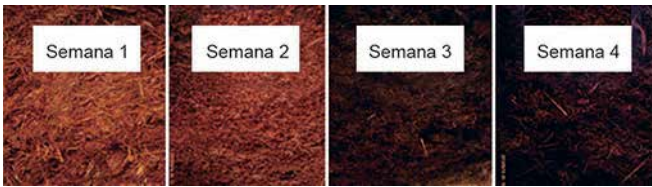


Figura 5. Cambio de color durante el proceso de compostado acelerado.

1.2.- Evaluación de las propiedades químicas durante el proceso de compostado

Las propiedades químicas evaluadas fueron: pH y conductividad eléctrica. Se determinaron semanalmente en las pilas compostadas con el uso de un potenciómetro portátil.

1.2.1.- pH

Este parámetro es indicativo de eficiencia en el proceso de compostado. Se observó un aumento en los valores del pH, desde valores ácidos en la primera semana a valores alcalinos al finalizar el proceso de compostado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Evaluación semanal del pH durante el proceso de compostado con la técnica de compostado acelerado.

Material compostado	Evaluaciones (pH)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Restos de maleza y estiércol	6,45	7,85	8,24	8,68

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En las primeras etapas del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH se eleva y evidencia la alcalinización del medio. Luego el pH se estabiliza, con valores cercanos al neutro (FAO, 2013).

1.2.2.- Conductividad eléctrica

Esta variable es indicativa de la concentración de sales durante el proceso de compostado. En las

evaluaciones se observó un aumento en los valores de la conductividad eléctrica (Cuadro 3).

Cuadro 3. Evaluación semanal de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostado con la técnica de compostado acelerado

Material compostado	Evaluaciones (C.E. u/cm)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Restos de maleza y estiércol	7,59	8,45	11,25	12,87

2.1.- Fase2: Evaluación de las propiedades químicas durante el proceso de maduración

Las propiedades químicas evaluadas fueron: el pH y la conductividad eléctrica. Se determinaron semanalmente tomando muestras de las pilas con el uso de un potenciómetro portátil

2.1.1.- pH

Este parámetro es indicativo de la eficiencia en el proceso de maduración. En las evaluaciones se observó una disminución en los valores del pH a valores cercanos a la neutralidad, por lo que se puede asumir un proceso de maduración satisfactorio del compost (Cuadro 4).

Cuadro 4. Evaluación semanal del pH durante el proceso de maduración con la técnica de compostado acelerado.

Material compostado	Evaluaciones (pH)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Restos de maleza y estiércol	8,68	8,12	7,69	7,53

La mayor parte de los procesos de descomposición durante el compostaje, ocurren a valores de pH entre 5,5 y 9. Al igual que la temperatura, la evolución del pH sigue una curva típica asociada a la actividad

microbiana. La producción de ácidos orgánicos durante el inicio de la fase termófila, conduce a un incremento gradual del pH hasta alcanzar valores en torno a 8,5. Posteriormente, los niveles de pH se estabilizan en valores cercanos a la neutralidad. Cuando no se alcanza la estabilización del pH, se considera un parámetro indicativo de falta de madurez del producto (Moreno y Moral, 2007).

2.1.2.- Conductividad eléctrica

Este parámetro es indicativo de la concentración de sales durante el proceso de maduración. En la evaluación se observó la disminución de los valores de conductividad eléctrica (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evaluación semanal de la conductividad eléctrica durante el proceso de maduración con la técnica de compostado acelerado.

Material compostado	Evaluaciones (C.E. u/cm)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Restos de maleza y estiércol	12,87	10,45	9,64	9,00

En base a lo observado, se puede inferir que durante el proceso de compostado, el pH y la conductividad eléctrica aumentan y durante el proceso de maduración, estas variables disminuyen; tal como se observa en el gráfico 6. Esto coincide con lo señalado por Malaver (2015).

Bibliografía consultada

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2013. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile.

Malaver, E., 2015, Compostado acelerado a base de gramíneas para la obtención de sustratos en la producción de semilleros de hortalizas. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister Scientiarum en Agricultura Tropical, mención Producción vegetal, Universidad de Oriente, Monagas, Venezuela, 173 p.

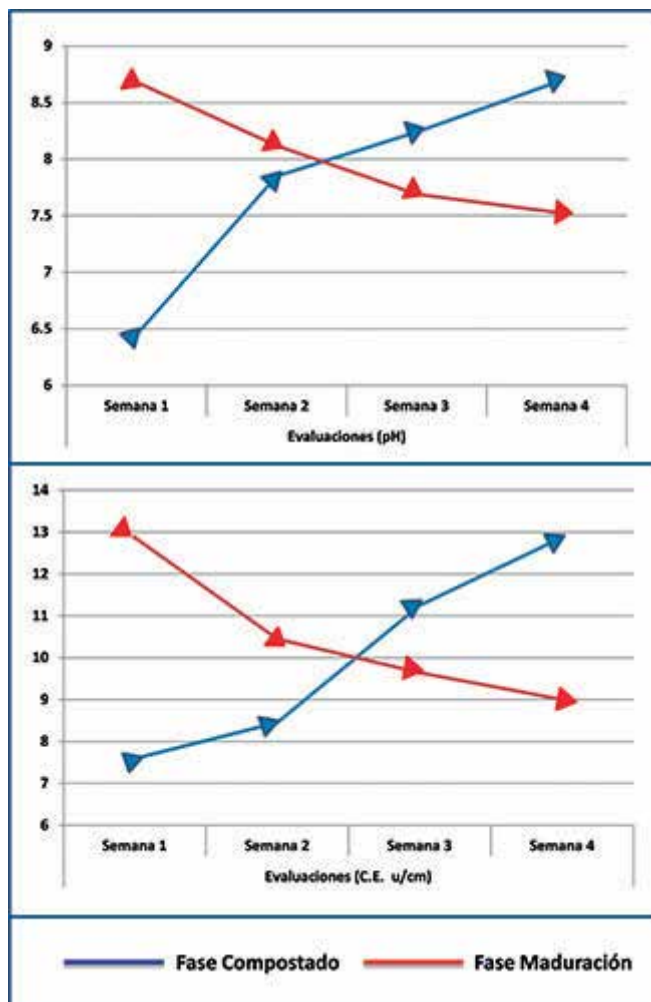


Figura 6: Evaluación semanal del pH y la conductividad eléctrica durante el proceso de compostado y de maduración.

Moreno, C. y Moral H., 2007. Compostaje, Ediciones Mundi-Prensa, 530 pág.

Negro M.J., Villa F., Aibar J., Alarcón R., Ciria P., Cristóbal M.V., De Benito A., García M. A., García M.G., Labrador C., Lacasta C., Lezaún J.A., Meco R., Pardo G., Solano M.L., Torner C. y Zaragoza C. 2000. Producción y Gestión del Compost, Centro de Técnicas Agrarias 31 p.

Oliveros, P. 2013., Evaluación de las propiedades químicas y nutricionales del compost sólido y líquido, obtenido con la técnica de compostado acelerado, Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Técnico Superior Universitario en Química Industrial. Instituto Universitario de Tecnología "Rodolfo Loero Arismendi" (IUTIRLA), Monagas, Venezuela, 120 p.