

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA RESTABLECER LA FERTILIDAD DEL SUELO



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



Siempre
con el pueblo



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024



MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN Y MONITOREO EN LAS ESTACIONES
EXPERIMENTALES AGRARIAS

**MANUAL DE PRODUCCIÓN DE
ENMIENDAS ORGÁNICAS
PARA RESTABLECER LA
FERTILIDAD DEL SUELO**

Manual de Producción de Enmiendas Orgánicas para Restablecer la Fertilidad del Suelo

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Juan Rodo Altamirano Quispe

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Pedro Hugo Injante Silva

Viceministro de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Marco Wilson Coronel Pérez

Jefe del INIA

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

Autores:

Wendy E. Pérez Porras

Yuri Arévalo Aranda

Luz Palomino Paccua

José Quintanilla Rosas

Luis Felipe Ortiz Dongo

Sandra Duarte Guardia

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA

Equipo Técnico de Edición y Publicaciones

Av. La Molina 1981, Lima-Perú

Teléf. (511) 2402100 - 2402350

www.gob.pe/inia

Editor general:

Emely Elizabeth Lazo Torreblanca

Revisión de contenido:

Emely Elizabeth Lazo Torreblanca

Diseño y Diagramación:

Luis Enrique Calderon Paredes

Primera edición digital:

Diciembre, 2022

Publicado:

Diciembre, 2022

Disponible en:

<https://repositorio.inia.gob.pe/>

ISBN:

978-9972-44-110-3

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-12843

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso

Tabla de Contenido

Presentación	9
1. Introducción	11
2. Enmiendas orgánicas	13
2.1 Compost	13
2.1.1 Generalidades	13
2.1.2 Principios	14
2.1.3 Método de preparación	24
2.1.4 Método de aplicación	38
2.1.5 Precauciones	39
2.2 Bokashi	40
2.2.1 Generalidades	40
2.2.2 Principios	42

Tabla de Contenido

2.2.3	Modo de preparación	43
2.2.4	Método de aplicación	60
2.2.5	Precauciones	63
2.3	Digestados (Bioles y Biosoles)	64
2.3.1	Generalidades	64
2.3.2	Principios	65
2.3.3	Modo de preparación	66
2.3.4	Método de aplicación	72
2.3.5	Precauciones	73
2.4	Vermicompost	74
2.4.1	Generalidades	74
2.4.2	Principios	75

Tabla de Contenido

2.4.3	Modo de preparación	81
2.4.4	Método de aplicación	89
2.4.5	Precauciones	89
2.5	Bioestimulantes	90
2.5.1	Generalidades	90
2.5.2	Principios	90
2.5.3	Método de preparación	91
2.5.4	Método de aplicación	92
2.5.5	Precauciones	101
3.	Glosario	103
4.	Referencias bibliográficas	109



PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), que desarrolla actividades de investigación, transferencia tecnológica, aprovechamiento y conservación de los recursos genéticos; además de la producción de semillas, plántones y reproductores bovinos de elevado valor genético.

El INIA, a través del Proyecto Suelos y Aguas – PI CUI N° 2487112, tiene como uno de sus objetivos, la transferencia de tecnología y conocimiento para el desarrollo adecuado de la agricultura, especialmente la agricultura familiar.

Según estimaciones del MIDAGRI, el Perú cuenta con 11.6 M ha destinadas a la agricultura, sin embargo, el desarrollo de la actividad agrícola no es homogéneo; especialmente la pequeña agricultura y agricultura familiar, ya que poseen diversos obstáculos para un desarrollo adecuado. Entre estas limitaciones, se encuentra el acceso a recursos como los fertilizantes, por el incremento de costos y poca disponibilidad.

Adicionalmente, la gran cantidad de residuos generados como parte del proceso productivo agrícola, hacen necesario un mejor manejo de estos, a fin de incorporar nutrientes al suelo, lo cual representa una gran oportunidad.

Es en este contexto se desarrolla el **“Manual de producción de enmiendas orgánicas para restablecer la fertilidad del suelo”**, el cual presenta información científica y práctica relevante para la producción de enmiendas de fácil fabricación, ofreciendo alternativas eficientes y de bajo costo que pueden ser aplicables por los pequeños agricultores.

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.
Jefe del INIA



1. INTRODUCCIÓN

La utilización de los residuos agrícolas, mediante su transformación en enmiendas orgánicas, es una útil estrategia que promueve el desarrollo de las plantas e impacta beneficiosamente en las propiedades del suelo, devolviendo al mismo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo.

Durante muchos años, la práctica agrícola incluía la elaboración y aplicación de enmiendas orgánicas; sin embargo, con la Revolución Verde se discontinuó esta actividad y la agricultura se volvió dependiente de los fertilizantes.

En la actualidad, el alto costo de los fertilizantes trae la necesidad de generar alternativas para el manejo de la fertilidad de suelos y la nutrición vegetal. Ante ello, el empleo de abonos orgánicos u órgano-minerales, puede sustituir en gran parte el uso de fertilizantes minerales.

Por otro lado, en América Latina y El Caribe, se generan en promedio 1.09 Kg/cápita/día de residuos sólidos municipales, aproximadamente más del 50 % de naturaleza orgánica (biodegradable). Sin embargo, la segregación formal de estos materiales para ser reciclados sólo se reduce al 2%, dado que no es una práctica común en la región (Hettiarachchi et al. 2018). Por ello, es prioritario realizar un manejo y tratamiento adecuado de éstos, y así evitar la contaminación del entorno y la aparición de enfermedades para el hombre y los animales.

Entre los mecanismos más accesibles para los agricultores, se encuentra el reciclado de nutrientes a través de las compostas, el uso de estiércoles y residuos de cosecha, que se caracterizan por poseer una elevada relación carbono nitrógeno y materia orgánica.

La descomposición aeróbica o anaeróbica de la materia orgánica por acción de los microorganismos da lugar a productos estabilizados. Estos mejoran diversas propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica y carbono, la retención de humedad e infiltración, pH, estructura, conductividad hidráulica, densidad aparente, altos contenidos de elementos esenciales para las plantas y resistencia a plagas y enfermedades.



2. ENMIENDAS ORGÁNICAS

2.1 COMPOST

2.1.1 Generalidades

La elaboración del compost se entiende como un proceso de descomposición aeróbica —con presencia de oxígeno— de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, por medio de microorganismos descomponedores de materia orgánica que existen en ellos en condiciones controladas, dando como resultado un producto inocuo y libre de efectos fitotóxicos.

El compost es un abono orgánico sólido, producto de la biodegradación de la materia orgánica, generando partículas más finas, estabilizadas y oscuras, por lo que su aplicación no provoca daños a las plantas y se podrá almacenar sin necesidad de tratamientos ni alteraciones, siempre y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas. Cabe mencionar que también es conocido como composta, composto, mantillo, acondicionador orgánico de suelo (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2020).

La importancia fundamental del uso del compost obedece a que es una fuente de microorganismos para el suelo, los cuales son necesarios para la nutrición de las plantas, ya que permiten que asimilen los nutrientes de manera más eficiente, ayudando a un óptimo desarrollo de los cultivos. Entre las ventajas que podemos mencionar, tenemos:

- Reduce el uso de fertilizantes sintéticos.
- Bajo costo de inversión.
- Mejora la cantidad de materia orgánica.
- Mejora la estructura del suelo.
- Incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Aporta de manera natural elementos minerales que requieren las plantas.
- Incrementa y favorece el desarrollo de la actividad biológica del suelo.

2.1.2 Principios

Proceso de compostaje

Es un proceso biológico, interpretado como la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y carbono (C) presentes para producir su propia biomasa (Román et al., 2013).

a. Características del proceso de compostaje

Las características más destacables del proceso de compostaje son las siguientes (Agencia de Residuos de Cataluña [ARC], 2016):

- Reduce el volumen de residuos, facilita su almacenamiento, permite un mejor aprovechamiento agrícola y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores.
- Tiene un fundamento simple, es muy robusto y versátil, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos orgánicos y mezclas, y a escalas de trabajo muy diversas; además, requiere sistemas tecnológicos mucho o poco sofisticados.

b. Sistemas del proceso de compostaje

Los sistemas tecnológicos de compostaje son muy variados por lo que, debido a la gran diversidad tecnológica, se clasifican de la siguiente manera (ARC, 2016):



Figura 1. Pilas de concreto para procesamiento en compostaje

- Según el movimiento y disposición de material durante la etapa:
 - Sistemas estáticos: pilas, trincheras o canales (con paredes laterales que contienen el material), pilas extendidas (sin estas paredes), reactores de tipo túnel.
 - Sistemas dinámicos: pilas, trincheras, pilas extendidas o canales volteados periódicamente, reactores rotativos.
- Según el tipo de equipos de volteo:
 - De pilas.
 - De pilas extendidas.
 - De canales.
 - Reactores cilíndricos.
- Según la ventilación forzada (con recirculación de aire caliente o sin ella):
 - Impulsión, aspiración o con alternancia.
 - Continua (con variación de caudal o sin ella) o discontinua.
- Según el tipo de control de la ventilación:
 - Temporizada o de caudal variable.
 - Para asegurar niveles mínimos de oxígeno.
 - Para controlar la temperatura de la masa.
 - Integrando varios factores.
- Según la solera pavimentada (de hormigón o similar):
 - Perforada de tipo spigot o picholín.
 - Perforada de tipo plenum.
 - Tubos perforados sobre el pavimento.
 - Tubos perforados en zanjas realizadas en el pavimento.
 - Tubos perforados embebidos en un material grueso y poroso (grava, corteza, astilla, etc.).
- Según la ubicación del material en la etapa:
 - Al aire libre sin ningún tipo de protección para la lluvia.
 - Al aire libre con cubierta:
 - Clásica (chapa, plástico rígido o lámina, etc.).
 - De geotextil impermeable y transpirable.
 - De lámina plástica en contacto directo con el material, pero con respiraderos para evacuar el aire gastado.
 - Nave cerrada.
 - Reactores (túneles, boxes, tambores rotativos, reactores verticales, etc.).
 - Otros.

c. Fases del proceso de compostaje

Este proceso incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. Al descomponer el carbono, nitrógeno y toda la materia inicial, los microorganismos desprenden calor a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura se reconocen las siguientes etapas (Román et al., 2013).

- **Fase mesófila:** es la etapa donde comienza el proceso a temperatura ambiente y, en pocos días —e incluso horas—, la temperatura puede aumentar hasta los 45 °C, debido a la actividad microbiana que utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno, generando calor. Con respecto al pH, puede llegar a bajar hasta cerca de 4.0 o 4.5. Este proceso dura entre dos a ocho días.
- **Fase termófila:** también llamada etapa de higienización. La mezcla alcanza temperaturas mayores a los 45 °C, llegando hasta los 70 °C. Con respecto al pH puede llegar a subir más que en la fase mesófila. Este proceso puede durar desde unos días hasta incluso meses —según material de partida, condiciones climáticas y del lugar, entre otros factores—.
- **Fase de enfriamiento:** denominada también como fase Mesófila II. Es la etapa en donde se agotan las fuentes de carbono y nitrógeno, la temperatura desciende hasta los 40-45 °C. Por su parte, el pH baja levemente. Este proceso tiene una duración de varias semanas y puede confundirse con la siguiente fase, que es llamada fase de maduración.
- **Fase de maduración:** se desarrolla a temperatura ambiente y se producen reacciones secundarias para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Este proceso tiene una duración mínima de un mes.

d. Manejo del proceso de compostaje

- **Aireación:** el compostaje es un proceso aerobio (presencia de oxígeno) y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos que descomponen la materia orgánica. Este proceso evita que el material se compacte o encharque. Para una buena aireación es necesario oxigenar los materiales con volteos.
- **Humedad:** es un parámetro muy vinculado a los microorganismos, ya que usan agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos. La humedad óptima en el proceso es entre 45 % a 60 %.



Figura 2. Volteo de material orgánico para armado de pilas de compostaje

- **Temperatura:** Tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. Las altas temperaturas que alcanza el compostaje también representan una ventaja desde el punto de vista higiénico: a partir de los 55 °C se eliminan patógenos y semillas, así como propágulos de malezas (ARC, 2016).



Figura 3. Control de temperatura en las pilas de compostaje

- **Relación C/N:** Expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación C/N adecuada de material de inicio a compostar está entre 20/1 a 30/1 (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 1999). Se recomienda realizar un análisis de laboratorio para conocer la relación C/N de los materiales que vamos a compostar. A continuación, se hace referencia a algunas materias primas y su relación C/N.

Materia prima	% C	% N	Relación C/N
Aserrines	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 equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Tabla 1. Relación C/N de algunas materias primas orgánicas (OPS, 1999)

e. Materias primas

Son productos o subproductos de origen animal o vegetal factibles de ser fermentados o descompuestos. Se consideran para compostaje para uso agrícola los residuos provenientes de materiales orgánicos de las siguientes actividades (INACAL, 2020).

N°	Actividad
1	De la producción agrícola de frutas, hortalizas, legumbres, cereales, fibras, aceites comestibles, tabaco y otros similares.
2	De industrias de conservas, deshidratados, congelados, empacadoras, industrias de tabaco y levaduras.
3	De sistemas pecuarios.
4	De industrias de preparación y transformación de carnes y subproductos de sistemas pecuarios.
5	De la industria azucarera, lechera, de la madera, aceitera.
6	De otras que establezca la Autoridad Competente.

Tabla 2. Materias primas para compostaje para uso agrícola (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

No se deben incluir como materia prima en el proceso de compostaje los productos siguientes (INACAL, 2020).

N°	Actividad
1	Residuos de mercados, ferias, camales.
2	Áreas verdes.
3	Pesquera.
4	Residuos sólidos inorgánicos.
5	Residuos orgánicos domiciliarios.
6	Lodos tratados (o lodos estabilizados).
7	Residuos mineros.
8	Silos domésticos.
9	Residuos peligrosos (contaminantes).
10	Plantas de tratamiento de aguas residuales.
11	Residuos infecciosos.
12	De lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.
13	Residuos peligrosos, tales como aquellas provenientes de plantas impregnadoras de maderas, de baños antimanchas, y otros.
14	Animales muertos por zoonosis o por otras enfermedades de alto riesgo, determinadas por la Autoridad Competente.
15	Aspirado de polvo de calles.
16	Otros que establezca la Autoridad Competente

Tabla 3. Materias primas no aptas para compostaje para uso agrícola (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

f. Lixiviados

Son líquidos que generan los Residuos de Alta Degradabilidad (RAD) y los Residuos de Baja Degradabilidad (RBD), que se pretenda compostar, ya sea en la recepción, en el almacenamiento, en las operaciones de pre mezcla y mezcla, o durante las etapas de descomposición o de maduración. Los lixiviados deben recogerse y almacenarse para gestionarlos con alguna de las siguientes alternativas (ARC, 2016).

- Utilizarlos en el riego de la etapa de descomposición, pero siempre antes de una fase termófila de higienización.



Figura 4. Lixiviado resultante del riego en el proceso de compostaje

- Tratarlos en una depuradora de la propia instalación.
- Transportarlos a instalaciones externas que estén autorizadas para el tratamiento de estos residuos.

g. Requisitos del producto compostado

La composición y calidad del compost varía dependiendo del tipo de insumos orgánicos que se utilicen en el proceso de compostaje. No obstante, debe cumplir con los siguientes requisitos de la Norma Técnica Peruana 201.207.2020 (INACAL, 2020).



Figura 5. Compost maduro para uso agrícola

- **Requisitos microbiológicos**

El compost para la agricultura debe cumplir con los siguientes requisitos de tolerancia de patógenos:

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	<1000 NMP por 1 g de compost
2. <i>Salmonella spp</i>	3 NMP en 4 g de compost (base seca)
3. Huevos de helmintos viables	1 en 4 g de compost (base seca)

Tabla 4. Requisitos microbiológicos (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

Nota. NMP = Número Más Probable.

- **Requisitos físicos y químicos**

El compost debe tener los siguientes contenidos físico-químicos:

Nutriente	Porcentaje en compost
Nitrógeno	0.3 - 1.5 % (3 a 15 g por 1 Kg de compost)
Fósforo	0.1 - 1.0 % (1 a 10 g por 1 Kg de compost)
Potasio	0.3 - 1.0 % (3 a 10 g por 1 Kg de compost)

Tabla 5. Contenido de nutrientes (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

Nota. NMP = Número Más Probable.

Parámetro	Rango
Humedad (%)	15–35
Conductividad eléctrica (mS/cm)	≤5
pH	5.0–8.5
Materia orgánica (%)	≥20
Tamaño de partícula	≤16
Materias inertes	No se permiten impurezas
Densidad aparente (Kg/m ³)	≤700
Relación C/N	10/1 – 25/1

Tabla 6. Contenido de humedad, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, tamaño de partículas, materias inertes, densidad aparente y relación C/N (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca) ¹
Arsénico	20
Cadmio	1
Cromo	100
Mercurio	1
Níquel	60
Plomo	150

Tabla 7. Contenido de metales pesados (NTP 201.207.2020, INACAL, 2020)

Nota. ¹Concentraciones expresadas como contenidos totales.

- **Olores**

El compost debe presentar olores característicos de este producto sin olores desagradables como, por ejemplo, compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido, entre otros.

2.1.3 Método de preparación

a. Insumos

- Residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal.



Figura 6. Residuo orgánico de origen vegetal (rastajo de maíz)



Figura 7. Residuo orgánico de origen animal (estiércol de cuy)

b. Materiales



Figura 8. Trinche, pala, rastrillo

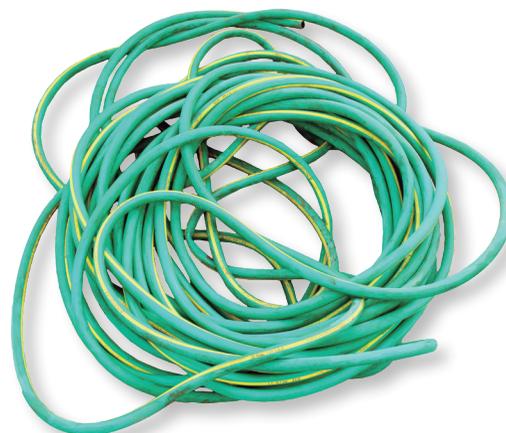


Figura 9. Manguera



Figura 10. Carretilla



Figura 11. Tamiz

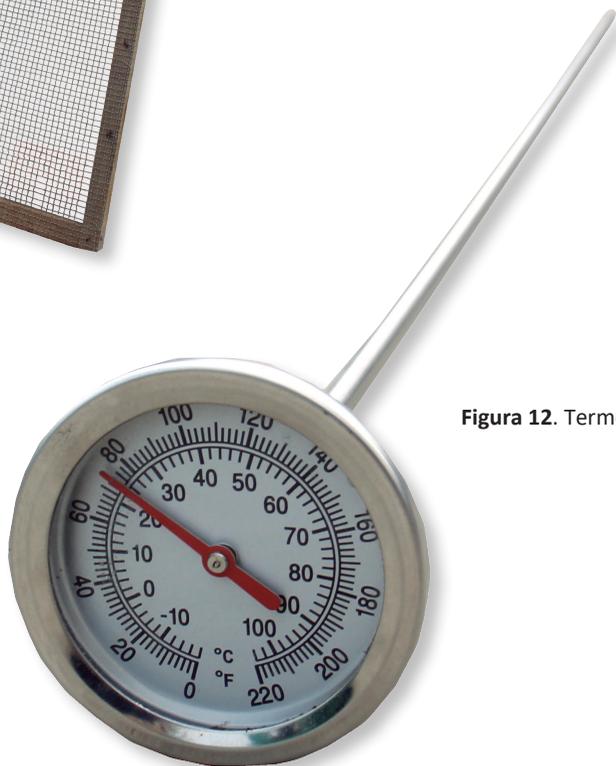


Figura 12. Termómetro

c. Proceso

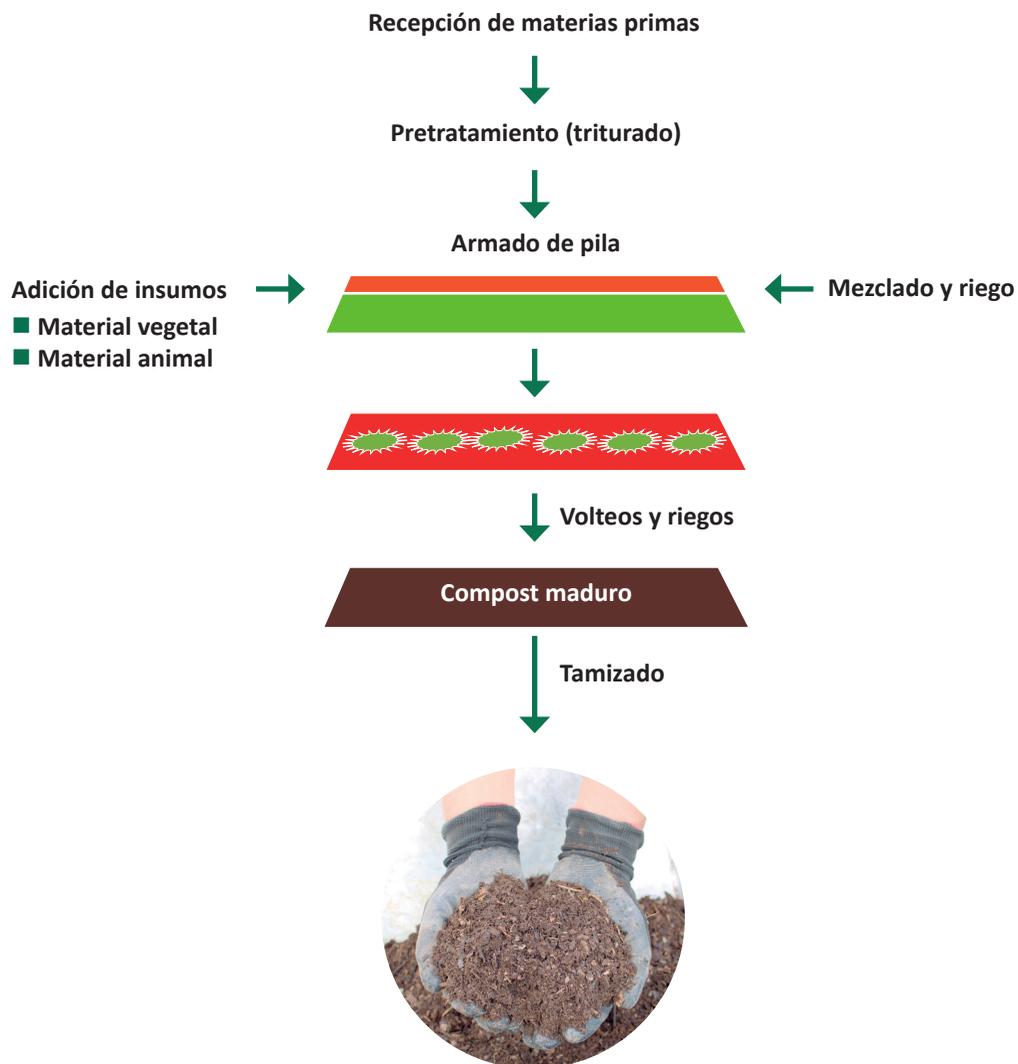


Figura 13. Flujo de proceso del sistema de compostaje

- Acondicionamiento del lugar



Figura 14. Limpieza y nivelado del terreno

- Abastecimiento de sustratos



Figura 15. Llenado de rastrojo vegetal



Figura 16. Llenado de estiércol

- Separación de elementos inertes



Figura 17. Separación de plásticos, vidrios, metales, etc.

- Pre-tratamiento



Figura 18. Triturado de material a compostar

- **Armado de pilas:** Hay que considerar la relación C/N de los materiales a compostar. La relación C/N inicial debe estar entre 20/1 a 30/1 (OPS, 1999).

Material	Relación C/N	Cantidad (Kg)	%	C/N Total
Estiércol cuy	16	80	40	$\frac{40 \times 16}{100} = 6.4$
Residuos chala	35	120	60	$\frac{60 \times 35}{100} = 21$
Total		200	100	27.4

Tabla 8. Cálculo de la relación C/N de la mezcla
Nota. Análisis realizados en LABSAF Sede Central - INIA, 2022.



Figura 19. Armado de pilas de compostaje

- **Volteos:** No existen frecuencias preestablecidas de aireación pero, referencialmente, se realizan uno o dos volteos cada dos semanas durante las cuatro o cinco primeras semanas; luego pasa a ser un volteo cada dos semanas (esto va a depender de las condiciones climáticas, humedad y aspecto del material a compostar). Esta operación se puede realizar tanto manual, como mecánicamente.



Figura 20. Volteo de la pila en el proceso de compostaje

- **Riegos:** Al igual que en el volteo, no existen frecuencias preestablecidas de riego pero, referencialmente, se realiza entre una a dos veces a la semana (dependiendo las condiciones climáticas, humedad y aspecto del material a compostar).



Figura 21. Riego de la pila en el proceso de compostaje

- **Control de la temperatura:** La medición se determina mediante un termómetro y debe ser tomada en el núcleo de la pila. Se recomienda tomar la temperatura en dos puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los dos puntos (OPS, 1999).



Figura 22. Toma de temperatura

- **Control de la humedad:** Se puede aplicar la prueba del puño de la siguiente manera:
 - Introducir la mano en la pila de compostaje y tomar una muestra del material.
 - Cerrar la mano y apretar fuertemente el material.
 - Si vemos que inmediatamente que sale un hilo de agua continuo, se entiende que tiene un alto contenido de humedad.
 - Por otro lado, si vemos que no produce un hilo continuo de agua y queda como una masa, se entiende que es la humedad correcta.
 - Finalmente, si vemos que el material queda suelto, se entiende que el material posee un déficit de humedad.



Figura 23. Prueba del puño

- **Tamizado:** Una vez que se ha comprobado el compost maduro —no hay aumento de temperatura, color oscuro, olor a suelo húmedo—, se realiza un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros contaminantes (metales, vidrios, piedras, etc.). El material orgánico grueso puede ser llevado a otro proceso para iniciar el compostaje, mientras que los materiales contaminantes, de haberlos, deben ser descartados como residuos generales.



Figura 24. Tamizado del compost maduro



Figura 25. Producto final para uso agrícola.

- **Almacenamiento:** se puede llevar a cabo el almacenamiento en el mismo lugar donde se realiza la maduración del producto, como una continuación natural de esta etapa. Esta área debe estar cubierta o no, en función de que el agua de lluvia pueda dañar la calidad del producto o complique la gestión en su destino final (ARC, 2016).

d. Toma de muestras

Se realiza con el Método *Coning and Quartering Procedure* (Binner, 2017).

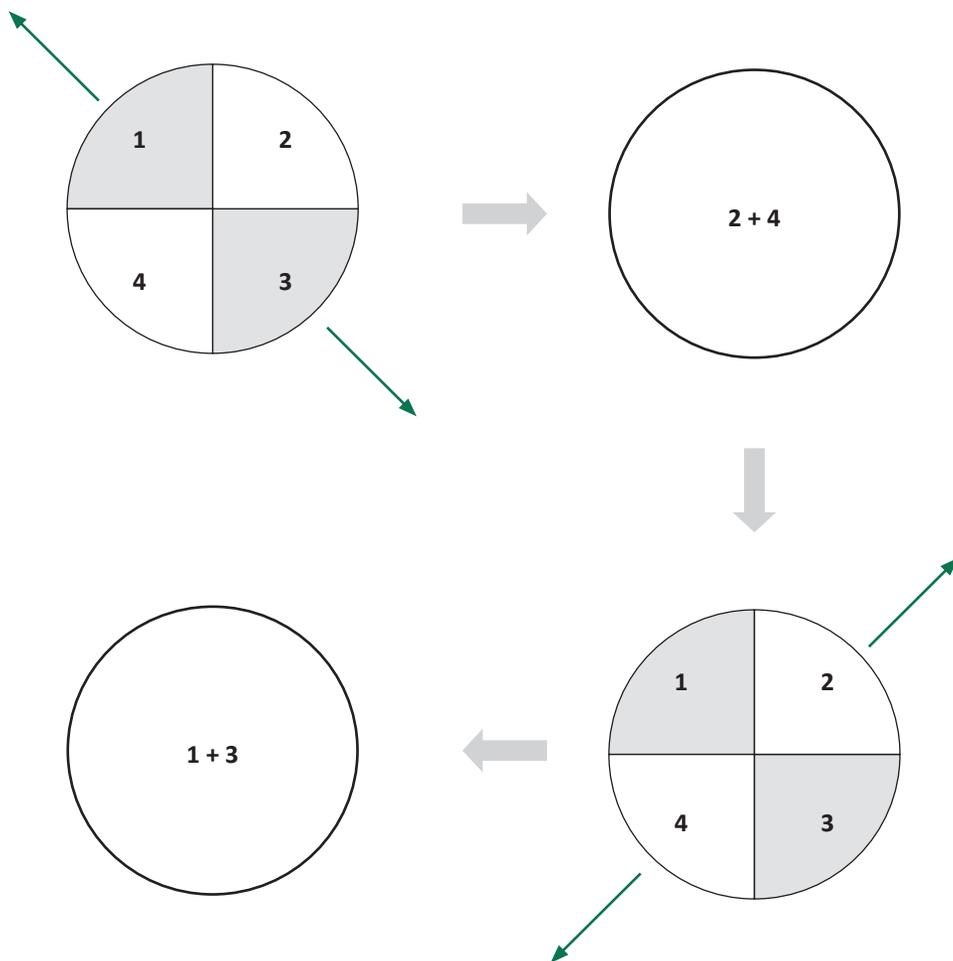


Figura 26. Procedimiento para toma de muestra

- Toma de submuestras en tres puntos distintos de las pilas
- Mezclado de todas las submuestras.
- Formación de un cono y la división del mismo en cuatro partes similares (1-2-3-4).
- Separación de dos de las partes (1-3).
- Mezclado de las otras dos partes (2-4), cuidadosamente.
- Formación de otro cono y división en cuatro partes similares (1-2-3-4).
- Separación de dos partes (2-4).
- Mezclado de las otras dos partes (1-3), cuidadosamente.
- Guardado de las muestras en frasco o bolsas correctamente identificados para su posterior análisis.



Figura 27. Muestra de compost para análisis

2.1.4 Método de aplicación

El compost producido se puede aplicar semimaduro (fase mesófila II) o ya maduro. El primero tiene una elevada actividad biológica, y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. No obstante, al tener un pH poco estable, puede afectar negativamente a la fase de germinación. La aplicación de compost semimaduro es normalmente de 4-5 kg/m² en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa, entre otros) y, en cultivos extensivos, la aplicación es de 7-10 t/ha de compost (Román et al., 2013).

Por otro lado, la dosificación del compost maduro —de manera referencial— es de 1 kg/m² (10 t/ha). A continuación, se presentan algunas recomendaciones para la dosificación en algunos cultivos, lo que puede ajustar la dosis según requerimientos del cultivo, las características químicas del suelo y la calidad y disponibilidad del abono orgánico:

Cultivos	Dosis
Leguminosas	3 t/ha
Zanahoria, cebolla, ajo, beterraga y frutales	6 t/ha
Maíz, trigo y hortalizas	10-20 t/ha
Cultivos extensivos	6-10 t /ha
Suelos degradados	Hasta 20 t/ha

Tabla 9. Dosificación referencial de compost

Con respecto a la aplicación, esta puede hacerse de las siguientes formas:

- **Al voleo:** para cultivos densos que se siembran al voleo como cereales (trigo, cebada, avena) y pastos se recomienda aplicarlo al voleo junto con la semilla.
- **En banda:** para cultivos como papa, maíz, haba, quinua, melloco, oca, entre otros. Se recomienda aplicar a chorro continuo, al fondo del surco, cubrir con una capa delgada de suelo y sembrar. La dosis se puede fraccionar en dos aplicaciones: una en la siembra, y la otra al medio aporque.

2.1.5 Precauciones

- Al tener una baja aireación (volteo) pueden haber problemas de anaerobiosis, provocando malos olores en el proceso. Por el contrario, si se tiene un exceso de aireación, desencadenará un descenso de temperatura y evaporación del agua, lo que ocasionaría que el proceso se detenga.
- Al tener una humedad insuficiente, el proceso de compostaje puede detenerse; mientras que, si se tiene un exceso de humedad, puede generar un sistema de anaerobiosis.
- El exceso de carbono en los materiales ocasiona que el proceso se enfríe y tienda a ralentizarse. Mientras que, de presentarse exceso de nitrógeno, el proceso se calienta fuertemente y se generan malos olores.
- Para evitar temperaturas demasiado elevadas se recomienda airear, remover o regar el material convenientemente.
- El picado de materiales debe ser lo más pequeño posible para facilitar su descomposición, pero sin ser demasiado finos porque crean poros que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y crean anaerobiosis.
- No hay frecuencias preestablecidas para airear y regar, por lo que se recomienda revisar frecuentemente la humedad y temperatura.
- No añadir material nuevo a una pila que ya ha sido armada.
- En zonas donde las precipitaciones son elevadas, hay que considerar instalar una cubierta para evitar contaminación del producto final.
- No aplicar el compost en épocas de lluvia ni en lugares de inundación recurrente o en riberas y orillas de cuerpos de agua como lagos, lagunas y humedales.
- Se debe evitar la sobredosificación del suelo al aplicar compost, para lo cual es importante equilibrar la demanda del cultivo con los nutrientes presentes en el suelo y los aportados por el compost.
- Durante su preparación deben utilizarse: mascarilla, guantes, lentes de protección y botas.

2.2 BOKASHI

2.2.1 Generalidades

El Bokashi, cuyo significado en japonés es materia orgánica fermentada o abono orgánico fermentado, fue acreditado por la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) para su uso en agricultura orgánica.

Como parte de la tradición japonesa, se utilizan insumos como sémola de arroz y torta de soya como materia orgánica y, como inóculo de microorganismos benéficos para acelerar el proceso, harina de pescado y suelo de bosque. Existen distintas formas de producción de Bokashi, las cuales varían tanto en el tiempo de fermentación, como en los inóculos incorporados. En este manual, Bokashi hace referencia al proceso de transformación y no a la fórmula original. Se agrupan en tres tipos principales:

- **Bokashi tradicional:** Se utiliza suelo de bosque o montaña para agregar microorganismos, y materia orgánica como torta de soya y sémola de arroz. En condiciones aeróbicas, dura seis semanas, aproximadamente.
- **Bokashi EM:** Usa microorganismos eficientes (EM). Es una solución que contiene grupos microbianos aeróbicos y anaeróbicos, entre ellos: actinomicetos, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas, levaduras y hongos. Además, suministra nutrientes y materia orgánica al suelo y la planta (Kyan et al., 1999; Shintani et al., 2000).
- **Baiyodo:** El tiempo de fermentación es mayor que en el Bokashi tradicional. Se caracteriza por utilizar grandes volúmenes de suelo de bosque o montaña, sémola de arroz, harina de hueso y gallinaza. El Baiyodo se produce de seis a doce semanas (con bajas temperaturas). Se elabora mediante volteos y temperaturas menores a los 50 °C, hasta que la actividad microbiana baja por la reducción de la humedad (Jaramillo y Zapata, 2008; Ramos et al., 2014).

Algunos de los sustratos más utilizados son presentados en la Tabla 10.

Entre las ventajas de esta enmienda fermentada, se listan las siguientes:

- Presenta alta porosidad y retención de agua.
- Se evita la formación de gases tóxicos y malos olores.
- Es de sencillo manejo y almacenamiento, puesto que se puede elaborar a diferentes escalas.

Origen	Sustrato
Animal	Mezclas de excretas (bovinaza, gallinaza, porquinaza) Estiércol de vacuno, cuy, cabra Harina de sangre, plumas, hueso, pescado
Vegetal	Carbón vegetal Ceniza vegetal Afrecho o salvado de cebada o trigo, cáscara de grano de quinua Cáscara de café, cacao Residuo de cosecha Raquis o eje de banano
Mineral	Harina de roca Mieles (caña de azúcar, melaza) Suelo de bosque o montaña

Tabla 10. Insumos utilizados en la elaboración de Bokashi

Nota. Modificado de Meza (2017)

- Adaptable a diversas condiciones climáticas.
- Los microorganismos benéficos compiten con los patógenos por el espacio y energía que hay en la zona de la raíz.
- Se produce en corto tiempo y a bajo costo.
- Se generan fitohormonas y fitorreguladores naturales, tales como auxinas, giberelinas, estrigolactonas, etc.
- Las formulaciones son adaptables a diversas condiciones climáticas y actividades agropecuarias.
- Los nutrientes se suministran en forma soluble y a un pH favorable (6.5 a 7) para la absorción radicular.
- La relación entre los nutrientes es equilibrada y puede ser modificada de acuerdo a los insumos empleados en su elaboración.

2.2.2 Principios

Se emplea una técnica de corta duración para la transformación de desechos o residuos orgánicos. Busca activar a los microorganismos agregados, a los contenidos en el suelo y al material orgánico utilizado.

Consta de dos etapas:

- **Primera etapa: Fermentación de los componentes**

Los primeros tres a cuatro días, la temperatura puede alcanzar los 55 °C por los microorganismos. Luego, baja por agotamiento de los insumos.

- **Segunda etapa: Estabilización**

Sólo se distinguen materiales con mayor dificultad de degradación inmediata. El tiempo total de elaboración se encuentra entre los 15 y 20 días (Gómez y Vásquez, 2011).

Por otro lado, se ha encontrado que este tipo de enmienda contiene una cantidad importante de nutrientes esenciales y microorganismos benéficos para los cultivos (Tablas 11 y 12).

pH	CE (dS.cm ⁻¹)	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		(%)									
8.13	13.75	33.23	1.44	2.49	2.46	10.85	1.21	1.15	0.05	0.02	0.04
6.18	19.46	26.95	0.50	1.22	1.20	17.20	3.00	-	-	-	-

Tabla 11. Valores promedio de características fisicoquímicas (Pérez et al., 2008; Silva et al. (2014) citado por Quiroz y Céspedes, 2019)

Material	Microorganismos (log UFC.g ⁻¹)		
	Aerobios Mesofílicos	Hongos y Levaduras	Actinomicetos
Bokashi	6.3	4.5	3.7
Composta	6.5	3.7	3.8
Lombricomposta	6.7	4.3	3.0

Tabla 12. Comparación del contenido de microorganismos presentes en Bokashi, composta y lombricomposta (Pérez et al., 2008)

Nota. UFC.g⁻¹: Unidad formadora de colonia por gramo de producto.

2.2.3 Modo de preparación

a. Factores a considerar en la elaboración

Los principales factores y componentes a considerar para un producto de buena calidad, se señalan a continuación (Calvo y Villalobos, 2010).

- **Temperatura**
Al prepararse la mezcla, se incrementa la actividad microbiológica y con ella, la temperatura. Después de 14 horas de preparación, la enmienda debe presentar temperaturas superiores a los 50 °C, lo cual da pie a continuar con el proceso.
- **Humedad**
La humedad ideal oscila entre 45 % y 55 % del peso total de la mezcla de materiales húmedos. Cuando la humedad es menor a 35 %, el proceso de descomposición es muy lento; por el contrario, cuando es mayor a 60 %, resulta en un proceso anaerobio putrefacto (reducción). La prueba del puño (Figura 28), consiste en sostener fuertemente la mezcla, verificar que no salga agua entre los dedos y se forme un terrón. Iniciado el proceso, en ninguna etapa debe agregarse agua; por lo que, ante un exceso de humedad, se puede aplicar más cascarilla de arroz.



Figura 28. Prueba del puño para controlar la humedad en la preparación

- **Aireación**

La presencia de oxígeno es indispensable para la fermentación aeróbica, por ello debe existir una concentración de 6 % a 10 % dentro de la mezcla. Ante un exceso de humedad se desplaza el aire de la mezcla, favoreciendo un medio anaeróbico; por ello, es necesario voltear la mezcla (Figura 29).



Figura 29. Volteo de la mezcla para airearla adecuadamente

- **Tamaño de partícula**

La reducción de las partículas aumenta la superficie para la descomposición por parte de los microorganismos (Figura 30). Sin embargo, partículas muy pequeñas pueden ocasionar compactación, propiciando un proceso anaeróbico; a fin de evitar esto, se opta por agregar carbón vegetal o paja.



Figura 30. Diferentes tamaños de partícula

- **pH**
Al inicio el pH es bajo, luego va aumentando con la fermentación y estabilización. El pH ideal para no perjudicar estos procesos y la actividad microbiana es de 6 a 7.5.
- **Relación carbono nitrógeno**
La relación ideal para una enmienda de rápida fermentación es de 1 a 25 o 35. Si es menor, acarrearía pérdidas de nitrógeno por volatilización y, si es mayor, representaría un proceso más largo (Figura 31).



Figura 31. Fuentes principales de aporte a la relación carbono y nitrógeno

Nota. Lado derecho: Material con alto contenido de carbono, lado izquierdo: Material con alto contenido de nitrógeno.

b. Insumos y aditivos

- **Carbón**
Es un mejorador de las características físicas, entre ellas la aireación, la cual permite una buena oxigenación y proceso aeróbico; así también, absorción de humedad y calor (energía), haciendo a las plantas más resistentes a las bajas temperaturas. Su porosidad beneficia la actividad microbiológica y mejora la capacidad de retención, filtración y liberación gradual de nutrientes del suelo, disminuyendo su pérdida y lavado.

- **Estiércol**

Es fuente de nitrógeno, y aporta otros macro y micronutrientes. Además, funciona como inóculo de microorganismos. Se debe preferir su uso en estado fresco y evitar terrones para disminución efectiva de la carga microbiana patógena (Figura 32).



Figura 32. Fuentes de estiércoles

Nota. Lado derecho: Estiércol vacuno, lado izquierdo: estiércol de cuy.

- **Cascarilla de arroz**

Mejora la aireación y humedad, y puede ocupar hasta un 33 % del volumen de la mezcla. Estimula a los macro y microorganismos, así como al desarrollo de la raíz. Es fuente de silicio, favoreciendo la resistencia contra plagas y enfermedades, y es corrector de la acidez del suelo. Se recomienda su uso para evitar excesos de humedad, pudiendo sustituirse por cascarillas de café, paja, pasto seco, hojarasca, etc. (Figura 33).



Figura 33. Paja seca picada como sustituto de la cascarilla de arroz

- **Melaza de caña**
Es fuente energética. Permite la actividad microbiológica y posee macro y micronutrientes. Como sustitutos puede utilizarse caña de azúcar madura, jugos de fruta o vinaza (agua de desecho de industrias de licores).
- **Levadura/Tierra de bosque/Bokashi**
Son fuentes de inoculante microbiano. Se recomienda la utilización de Bokashi de la preparación anterior, con adición de levadura para acelerar la fermentación al inicio; esta última puede ser en gránulos al ser de mejor conservación.
- **Suelo o tierra**
Ocupa cerca de 33 % del volumen total y contiene nutrientes y microorganismos benéficos. Con la finalidad de que posea el mayor número de microorganismos, debería ser de un suelo virgen o zona poco cultivada. Promueve la mejor distribución física y de humedad. Así también, retiene y libera nutrientes gradualmente (Figura 34).



Figura 34. Suelo de chacra para la preparación de la mezcla

- **Carbonato de calcio o cal agrícola**
Es regulador del pH y aporta minerales (Figura 35). También se puede usar ceniza que, del mismo modo, regula la acidez, humedad y contiene minerales; entre los que destaca el calcio.



Figura 35. Cal agrícola para la elaboración de la mezcla

- **Elementos complementarios**
Con fines de mejora en la calidad de la enmienda, se puede agregar roca fosfórica, harina de huesos, suero de leche, mucílagos, aguas, mieles, zeolita molida, etc. La roca fosfórica y la harina de huesos pueden ser utilizadas en cantidad de 50 kg por cada tonelada de enmienda. Por su parte, la zeolita, de 100 kg a 250 kg por cada tonelada de enmienda, mejora la aireación de la mezcla y su retención de nutrientes.

c. Lugar donde se prepara el abono

La enmienda debe prepararse en un lugar protegido de lluvia, luz solar y viento. Encontrarse alejado de animales y del almacén de sustancias químicas. Así también, el piso debe evitar la acumulación de líquidos o pérdida de humedad (Figura 36).



Figura 36. Construcción bajo techo de camas de maduración para enmiendas orgánicas sólidas

d. Herramientas

Las necesarias para la uniforme distribución de los insumos, tales como, palas, baldes, regaderas, mangueras o mochilas para aplicación de soluciones.

e. Tiempo de preparación

En general, el tiempo de preparación es de 12 a 20 días según la naturaleza de los insumos y la actividad de los microorganismos. En lugares fríos el proceso dura más tiempo por la actividad microbiológica más lenta.

f. Preparaciones

- **Bokashi Tradicional**

Se muestran los siguientes ejemplos para la elaboración de 1 t (Tablas 13, 14 y 15):

Insumos	Cantidad (Kg)
Tierra del lugar	400
Gallinaza	200
Torta de soya	150
Sémola de arroz	150
Roca fosfórica	50
Cascarilla de arroz carbonizada	100

Tabla 13. Ejemplo N° 1

Insumos	Cantidad (Kg)
Tierra de bosque	400
Sémola de arroz	150
Carbón molido	150
Cascarilla de arroz	150
Gallinaza	200

Tabla 14. Ejemplo N° 2

Insumos	Cantidad (Kg)
Residuo de cosecha	200
Rastrojo seco	300
Estiércol de cuy	200
Tierra del lugar	200
Ceniza, cal agrícola	5
Salvado de arroz, trigo o maíz	100
Levadura de pan	0.1
Melaza o azúcar	5

Tabla 15. Ejemplo N° 3

Opcionalmente, se pueden agregar levaduras comerciales, leche pasada, yogurt o los sedimentos de una fermentación alcohólica.

Se pueden incorporar cepas de microorganismos controladores como *Trichoderma*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, etc.

El proceso de preparación del Bokashi Tradicional se describe a continuación:

1. Colocar los materiales en capas. Por ejemplo, en la primera capa colocar tierra, la segunda salvado, la tercera estiércol, y así sucesivamente hasta formar un montículo (Figura 37).



Figura 37. Disposición de los insumos en capas

2. Agregar el agua con la melaza, levadura o lácteo diluido (Figura 38), hasta un 30 % a 40 % de humedad y mezclar los materiales (Figura 39).



Figura 38. Mezcla líquida de agua, melaza y levadura



Figura 39. Regulación de la humedad hasta un 30 % a 40 % de humedad

3. Determinar la humedad realizando la prueba del puño. Para esta verificación, comprimir una porción de la mezcla en la mano, la cual no debe desmoronarse ni gotear. Empero, al presionar ligeramente con el dedo debe desmoronarse.
4. Cubrir la mezcla con paja seca, sacos y/o bolsas para conservar la temperatura (Figura 40).



Figura 40. Cubierta de la mezcla con sacos

5. Controlar el proceso. En condiciones aeróbicas, la fermentación es rápida y la temperatura aumenta en horas, por tanto, para mantener la mezcla por debajo de los 50 °C, se debe voltear bien la pila para oxigenar y bajar la temperatura; así también, extenderla para reducir la altura (Figura 41).

El proceso dura de 7 a 30 días, según los insumos y la temperatura ambiente.



Figura 41. Control del proceso de elaboración

- **EM Bokashi**
Para esta variante de Bokashi, se muestran ejemplos para 1 t (Tabla 16, 17 y 18):

Insumos	Cantidad (Kg)
Sémola de arroz	300
Residuo de cosecha	250
Torta de Soya	250
Harina de pescado	150
Melaza o azúcar	25
EM	25

Tabla 16. Ejemplo N° 1 (tipo aeróbico y anaeróbico)

Material	Cantidad (Kg)
Sémola de arroz	400
Cascarilla de arroz	350
Gallinaza	100
Cascarilla de arroz carbonizada	100
Melaza o azúcar	25
EM	25

Tabla 17.
Ejemplo N° 2 (sólo tipo aeróbico)

Material	Cantidad (Kg)
Salvado de arroz	400
Salvado de trigo	400
Harina de pescado	150
Melaza o azúcar	25
EM	25

Tabla 18.
Ejemplo N° 3 (sólo tipo aeróbico)

La cantidad de agua a agregar será aquella que humedezca sin escurrir, por lo que dependerá del contenido de humedad de los insumos. Para aumentar o disminuir el agua, se debe ajustar la cantidad de EM y melaza, manteniendo una proporción de 1:1:100 de EM, melaza y agua, respectivamente.

- **EM artesanal**

Se puede producir EM colectando microorganismos que, al ser nativos, estarán adaptados a las condiciones locales. Siqueira y Siqueira (2013), describen la siguiente preparación:

1. Cocinar 700 g de arroz sin nada adicional.
2. Colocar el arroz cocido en una bandeja de plástico, madera o bambú.
3. Cubrir el arroz con una tela fina limpia de modo que permita el crecimiento de microorganismos.
4. Colocar la bandeja debajo de la fronda de un árbol, cerca al borde.
5. Retirar la materia orgánica debajo de la bandeja y colocarla sobre la tela que está sobre el arroz.

6. El arroz debe presentar moho de diferentes colores de 10 a 15 días después.
7. Se debe retirar el moho color rosa, azulado, amarillento, naranja, gris, marrón o negro.
8. En un recipiente, colocar el arroz coloreado con 10 L de agua reposada, sin cloro.
9. Añadir 1 L de melaza de caña, o 1 kg de chancaca.
10. Cerrar herméticamente con tapa o dividida en botellas de plástico.
11. Abrir la tapa para dejar salir el gas producido cada dos días.
12. El EM estará listo entre 10 y 15 días, cuando cese la producción de gas.

El EM puede durar hasta un año en un lugar fresco y oscuro. El olor debe ser dulce y agradable, por la fermentación láctica y acética, y presentar coloración naranja.

A continuación, se describe la elaboración de EM Bokashi aeróbico:

1. Cortar y mezclar los insumos secos (Figura 42).



Figura 42. Mezcla de los insumos secos

2. Disolver la melaza con agua (1:100), es más sencillo si se hace con agua caliente (40 °C).
3. Agregar los EM a la solución anterior (EM: solución de melaza = 1:100).
4. Echar gradualmente esta mezcla de EM y melaza sobre los materiales orgánicos, mezclar bien y monitorear la humedad (entre 30-40 %) (Figura 43). Realizar la prueba del puño (Kyan et al., 1999).



Figura 43. Mezcla y monitoreo de la humedad

5. Colocar la mezcla sobre un piso de cemento (facilita el volteo) o suelo, preferentemente bajo techo (Figura 44).



Figura 44. Mezcla sobre suelo cubierto

6. Cubrir con sacos, bolsas, residuos de cosecha o paja (Figura 45).



Figura 45. Cubrimiento de la preparación con paja

7. En condiciones aeróbicas, la fermentación es muy rápida. Si la temperatura permanece mayor a 50 °C, se debe revolver y extender la pila.
8. La fermentación es de 3 a 21 días dependiendo de los insumos y las condiciones climáticas del lugar.

Como característica organoléptica, el Bokashi puede ser usado cuando expelle un olor fermentado dulce y se observan hongos de color blanco sobre la pila.

Además, se recomienda sea utilizado en el menor tiempo posible después de ser elaborado. En caso requiera ser almacenado, se debe dispersar sobre un piso de cemento, secar bajo sombra y embolsar (Figura 46).



Figura 46. Ensacado de la enmienda finalizado el proceso
Nota. Arriba: Bokashi finalizado, abajo: Ensacado del producto terminado.

2.2.4 Método de aplicación

En relación a los métodos de aplicación se describen los siguientes:

- **Aplicación en la preparación del suelo**
En una proporción de 200 g.m^{-2} a 400 g.m^{-2} (2 t.ha^{-1} a 4 t.ha^{-1}), en suelos con materia orgánica (2.5 % a 3 %), con aplicación de composta o lombricomposta, y cultivos de maíz, frijol y hortalizas (Shintani et al., 2000; Siqueira y Siqueira, 2013).

Con menos de 1.5 % de materia orgánica, se pueden aplicar de 5 t.ha^{-1} hasta un máximo de 20 t.ha^{-1} (2 kg.m^{-2} por año), esto para suelos con baja fertilidad del suelo.

Lo recomendable es realizar dos aplicaciones; la primera, a la siembra y, la segunda, 30 días después. La enmienda debe quedar tapada con suelo, dado que la exposición al sol la inactiva biológicamente. Además, se debe cubrir con paja, hierba o rastrojo cortado, mezclándolo con el suelo, para evitar el lavado por la lluvia o la formación de costras que eviten la infiltración de agua (Figura 47).



Figura 47. Aplicación de bokashi en la preparación de suelo

Para un mejor aprovechamiento del Bokashi en la preparación del suelo, se recomienda que debe ser esparcido sobre materia orgánica local (por ejemplo, abono verde); incorporándose a poca profundidad (10 cm).

Con la finalidad de evitar quemaduras o daños a las plantas después de agregar el Bokashi y antes de sembrar, se debe esperar entre 10 y 20 días, para regiones tropicales y templadas, respectivamente, período en que continúa la fermentación.

- **Aplicación en cobertura**

Se puede usar en camas como fertilizante de cobertura. Es indicado para plantas de espacios cortos, por ejemplo, lechuga, achicoria, perejil, cebollino, rúcula, etc. Se recomienda aplicar 200 g.m⁻² entre las líneas de siembra, mezclando con las manos o con alguna herramienta. Se puede cubrir con cobertura muerta (pajas, hojas o hierbas picadas). Tener cuidado de no aplicar Bokashi demasiado cerca de las plántulas, manteniendo una distancia de al menos 5 cm.

En plantas de espaciado medio como pimientos, tomates, berenjenas, etc.; aplicar 200 g dividido por la cantidad de plantas que caben en un metro cuadrado. Por ejemplo, si en 1 m² caben 4 plántulas de col rizada o brócoli, en cada pie se usarán 50 g de Bokashi.

Su aplicación recomendada es mensual, a lo largo del ciclo del cultivo; sin embargo, evitar el exceso para que no sea propenso al ataque de plagas y enfermedades.

- **Aplicación en cultivos perennes**

Para cultivos perennes, en todo momento se puede agregar el Bokashi al suelo, siempre que se evite el contacto directo con el tallo (Shintani et al., 2000).

En el caso de frutales, la recomendación es de 1 kg a 3 kg por año, dividida en dos o tres aplicaciones, al inicio y al término de las lluvias y, adicionalmente, en la floración. Ésta debe ser bajo el borde de sombra de la copa, en surcos o sobre el suelo, protegiendo con una capa de paja cortada (Siqueira y Siqueira, 2013).

En nuevas plantaciones de cultivo de café se debe aplicar en dos partes: 1 kg en el fondo del hoyo y otro kilogramo mezclado con tierra, en semicírculo, a 15 cm de la base del tallo (Duran et al., 2014).

- **Aplicación en el trasplante de árboles pequeños**

Para el trasplante de plantas, se recomienda poner 80 g de Bokashi al fondo del hoyo; luego, tapar la enmienda con tierra antes de colocar la planta, con el fin de evitar quemaduras; y aplicar otros 80 g, por cada cuatro plantas, en una segunda aplicación (Figura 48).



Figura 48. Aplicación en trasplante de frutales

- **Aplicación en semilleros**

Se recomienda usar en cantidad del 33 % al 50 % de la mezcla total de sustrato (Durán et al., 2014).

2.2.5 Precauciones

Los factores que frecuentemente afectarían el obtener una enmienda fermentada de calidad son: el exceso de humedad, la poca aireación de la mezcla y el inadecuado control de la temperatura. Por otro lado, durante su preparación y aplicación deben utilizarse los equipos de protección personal (EPP's) adecuados, tales como: mascarilla, guantes de protección y botas de hule (Figura 49).



Figura 49. Uso de EPPs durante la preparación de bokashi

2.3 DIGESTADOS (BIOLES Y BIOSOLES)

2.3.1 Generalidades

Los digestados son el remanente de sólidos y líquidos que quedan acumulados en la cámara de digestión, posterior al proceso de la degradación anaeróbica de la materia orgánica en un digestor. Dependiendo del contenido de materia seca, los digestados pueden ser clasificados en líquidos o sólidos (Makádi et al., 2012). A menudo, los digestados líquidos son conocidos como bio-líquidos o bioles y, los sólidos, como bio-sólidos o biosoles.

La fracción líquida de los digestados es rica en nitrógeno, fósforo, y potasio soluble, ya que durante la digestión anaeróbica, no todos los nutrientes se lixivian o volatilizan, por tanto, esta fracción puede ser utilizada como un fertilizante. Por su parte, la fracción sólida es rica en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y puede ser aplicada directamente al suelo o ser compostada (Bonten et al., 2014).

Aplicar digestados en las parcelas puede mejorar la salud de los suelos. Los beneficios de esta práctica pueden incluir (Environmental Protection Agency [EPA], 2021):

- Incremento en el contenido de materia orgánica.
- Reducción en la necesidad de la aplicación de fertilizantes químicos y pesticidas.
- Mejora en el crecimiento de las plantas.
- Reducción de la erosión de los suelos.
- Reducción de la pérdida de nutrientes por escorrentía.
- Reducción de la compactación de suelos.
- Incremento de la capacidad de retención de agua del suelo.

Otros beneficios que se obtienen de la digestión anaeróbica para la producción de digestados son (EPA, 2021):

- Producción de energía en forma de metano.
- Estabilización y reducción de residuos orgánicos.
- Reducción de olores.

- Reducción de patógenos.
- Recuperación de nutrientes.
- Reducción de emisiones gaseosas con efecto invernadero (si se usa el biogás para generar energía).

2.3.2 Principios

La producción de digestados se da por un proceso en el que una mezcla compleja de microorganismos transforma la materia orgánica —bajo condiciones anaeróbicas— en biogás, nutrientes, biomasa microbiana, sales y materia orgánica refractaria. Es importante remarcar que, bajo este proceso, se puede estabilizar hasta el 90 % de la fracción orgánica biodegradable.

Náthia-Neves et al. (2018) menciona que los principales parámetros que afectan la digestión son:

- **Temperatura**
Afecta las comunidades microbianas, la estabilidad del proceso, el crecimiento microbiano, la tasa de utilización de sustratos y la producción de biogás. Normalmente, temperaturas en el rango de 20 °C a 45 °C son las más usadas.
- **pH**
Influye en el crecimiento microbiano. El rango de pH sugerido para la digestión varía entre 6.8 y 7.2.
- **Tiempo de retención**
Es el tiempo que se requiere para la completa digestión anaeróbica de la materia orgánica, o el tiempo que el digestado permanece dentro del reactor. Usualmente, el tiempo de retención en un proceso anaeróbico en condiciones mesofílicas (entre 20 °C a 45 °C).
- **Humedad**
El contenido de humedad en el proceso de digestión es de suma importancia dado que el agua actúa como un solvente y contribuye a la transferencia de masa y difusión de nutrientes hacia los microorganismos. Dependiendo del contenido de humedad, los procesos de digestión pueden ser clasificados como secos o húmedos. Los procesos secos operan con 30 % a 40 % de materia seca, mientras que los procesos húmedos operan con 10 % a 25 % de materia seca. Generalmente, mayores contenidos de humedad facilitan los procesos de digestión.

- **Carbono/nitrógeno**

Es la relación que existe entre el carbono y el nitrógeno contenido en la materia orgánica que se usa para alimentar el digestor. Para el proceso de digestión se sugiere que la relación C/N de la materia orgánica esté entre 20 y 25.

Una manera de hacer más eficiente la digestión es mediante un proceso de codigestión, en el cual dos o más materias primas son anaeróbicamente digeridas. La codigestión permite reducir la concentración de compuestos tóxicos, incrementar la materia orgánica biodegradable, mejora del balance nutricional respecto a la relación C/N, mayores rendimientos en la producción de biogás, y efectos sinérgicos entre los microorganismos que facilitan la degradación de sustratos mixtos.

2.3.3 Modo de preparación

a. Construcción del digestor anaeróbico

Para la construcción de un digestor anaeróbico se necesitarán los materiales recomendados en la Tabla 19, siguiendo los pasos descritos a continuación. Cabe mencionar que se puede modificar el diseño teniendo en cuenta los recursos disponibles.

Materiales	Cantidad (unidad)
Cilindro con tapa de 200 L	1
Seguro de metal a presión (zuncho)	1
Salida de estanque	1
Tubo de PVC	1
Terminal para plana en codo	1
Terminal de hilo exterior	1
Pegamento para tubos de PVC	1
Manguera	1
Botella de plástico	1
Teflón	1
Taladro	1
Marcador	1
Alambre	1

Tabla 19. Materiales necesarios para la construcción de un digestor anaerobio

b. Pasos para la construcción del digestor

- Con ayuda de un taladro, cautín o clavo caliente hacer un agujero en la tapa del cilindro, el cual debe tener el mismo diámetro del tubo de la salida del estanque, para que pueda pasar a través de él.



Figura 50. Perforación de la tapa del cilindro

- Acoplar el terminal plana en codo con el terminal de hilo exterior utilizando teflón. Para esto, se han de colocar varias vueltas de teflón alrededor del hilo exterior del terminal y enroscar el terminal plana hasta que quede bien ajustado.



Figura 51. Acoplamiento del terminal plana de hilo exterior y el codo terminal

- En el extremo del terminal plansa, acoplar la manguera y asegurar con una abrazadera. En el extremo del terminal de hilo exterior, acoplar el tubo de PVC usando pegamento para tubos. La longitud del tubo no debe exceder los 5 cm de longitud; en caso el tubo sea demasiado largo, se puede cortar.



Figura 52. Acoplamiento de la plansa a la manguera

- En el agujero de la tapa, acoplar la salida de estanque colocando un sello de jebes para evitar posibles fugas o ingresos de oxígeno.
- Acoplar el extremo libre del tubo a la salida del estanque usando pegamento para tubos.
- Antes de iniciar la digestión asegurarse de que el digestor construido no tenga fugas y que el extremo de la manguera esté sumergido dentro de una botella con agua.



Figura 53. Verificación de ausencia de fugas

c. Insumos

Los insumos que se requieren para la preparación de digestados pueden variar dependiendo de su disponibilidad. Sin embargo, los insumos básicos para su preparación comprenden: un sustrato rico en carbono y nitrógeno (estiércol, melaza, etc.), un inoculante microbiano (suero de leche, estiércol, levadura, etc.), una fuente de sales y minerales (ceniza, agua de coco, cáscaras de huevo, etc.) y un solvente (agua).

En la Tabla 20 se presentan cuatro ejemplos de posibles formulaciones para la preparación de digestados líquidos.

Materiales	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Agua	100 L	55 L	120 L	55 L
Estiércol fresco de vaca	20 kg	15 kg	30 kg	15 kg
Azúcar rubia	20 kg	-	4 kg	-
Sal común o de piedra	5 kg	-	-	-
Suero de leche y/o chicha de jora	2 L	1.5 L	-	1.5 L
Forraje verde picado (alfalfa, trébol, etc.)	10 kg	1.5 kg	10 kg	1.5 kg
Melaza	-	1.5 L	-	1.5 L
Levadura	-	1 sobre	-	1 sobre
Guano de gallina	-	1.5 kg	-	1.5 kg
Ceniza	-	0.75 kg	2 kg	0.75 kg
Estiércol fresco de animales menores	-	-	5 kg	-
Humus de lombriz	-	-	2 kg	-
Tierra de bosque	-	-	4 kg	-
Leche	-	-	3 L	1.5 L
Agua de coco	-	-	2 L	-
Harina de pescado	-	-	2 kg	-
Cáscara de huevo	-	-	0.5 kg	-
Suelo arcilloso en polvo	-	-	3 kg	-
Roca fosfórica	-	-	4 kg	-
Kit de ingredientes minerales	-	-	1.5 kg	-

Tabla 20. Ejemplos de formulación de digestados líquidos

Nota. Formulación 1: Mendoza Avalos (s/f), Formulación 2: FONCODES (s/f), Formulación 3: Piamonte y Flores (2000), Formulación 4: Colque et al. (2005).

d. Otros materiales

Para la preparación y almacenamiento de los digestados se necesitarán otros materiales que facilitarán el trabajo. En la Tabla 21 se muestran los materiales que nos ayudarán en ello.

Materiales	Cantidad (unidad)
Galoneras	1
Palos de madera	1
Baldes de plástico de 50 L	1
Malla metálica 2mm	1

Tabla 21. Materiales para la preparación de los digestados.

e. Preparación

Para la preparación del digestado se deben seguir los siguientes pasos:

1. Acomodar el digestor en un área cubierta del sol y la lluvia, en una zona cercana al campo donde se planea aplicar.
2. Colocar dentro del digestor todos los insumos, excepto el estiércol.
3. Adicionar agua dentro del digestor. Asegurarse que la mezcla no sobrepase la media de toda la capacidad del bidón.
4. Agitar la mezcla con ayuda del palo de madera hasta diluir.
5. Agregar poco a poco el estiércol dentro del digestor, mientras se agita constantemente.
6. Homogeneizar la mezcla del estiércol, los insumos y el agua restante. Asegurarse que la mezcla no sobrepase las tres cuartas partes de toda la capacidad del bidón.
7. Colocar la tapa del digestor y asegurarla con el zuncho.
8. Llenar las botellas con agua hasta las tres cuartas partes.
9. Sumergir la boca del extremo libre de la manguera que se encuentra conectada a la tapa del reactor, en las botellas con agua.

10. No abrir el digestor por un periodo de 30 a 60 días. Si al cabo de este periodo no se observa la formación de burbujas en las botellas, significa que el digestado está listo.
11. Retirar la manguera de la botella de agua y destapar cuidadosamente el digestor.
12. Si se ha obtenido un buen digestado este tendrá un olor agradable. En caso el olor sea a podrido es necesario eliminar el contenido del digestor y revisar el digestor para verificar la presencia de fugas.
13. En caso se presenten fugas, repararlas con moldimix o silicona y repetir el proceso.
14. Colectar el contenido del digestor (digestado) en baldes de 50 L y, con ayuda de una malla, separar la fase sólida (biosol) de la fase líquida (biol).
15. Reservar la fase líquida (biol) en galoneras herméticas y almacenarlas hasta por 6 meses en un lugar fresco, seco y alejado de la luz solar.
16. Reservar la fase sólida (biosoles) en contenedores de plástico y almacenar hasta su aplicación en campo o su uso como inóculo para el siguiente lote de digestados (no más de 1 semana).



Figura 54. Preparación de digestados en las instalaciones del INIA

f. Composición

La composición química de los digestados puede variar dependiendo del tipo de sustrato que se use. En la Tabla 22 se muestra la concentración de los macronutrientes presentes en digestados con tres tipos diferentes de estiércol.

Características fisicoquímicas	Digestado de estiércol de cerdo	Digestado de estiércol de gallinas	Digestado de estiércol de vacunos
pH	8.2-9.0	7.6-9.8	8.1-8.4
Materia orgánica (%)	1.59-3.42	3.13-3.65	1.14-5.04
Nitrógeno total (%)	0.16-0.51	0.51-0.62	0.26-0.34
P2O5 (%)	0.12-0.15	0.15-0.21	0.11-0.16
K2O (%)	0.13-0.58	0.23-0.24	0.13-0.33
Conductividad eléctrica (mS/m)	396-454	370-428	287-346

Tabla 22. Contenido de macronutrientes de algunos tipos de digestados (Doyeni et al., 2021)

2.3.4 Método de Aplicación

- Los digestados sólidos (biosoles) pueden ser aplicados directamente al pie de las plantas como un abono rico en nutrientes. Además, pueden ser incorporados a composteras para acelerar los procesos de compostaje o pueden reingresar al digestor como inóculo del siguiente lote de producción de digestados.
- Los digestados líquidos (bioles) deben ser diluidos en agua en concentraciones que pueden ser tan bajas como 0.5 % a 25 %. La concentración en la que son aplicados depende del cultivo y su etapa fenológica. Normalmente los bioles se aplican vía foliar con una mochila de fumigación. La Tabla 23 muestra algunas recomendaciones para la aplicación de bioles en algunos cultivos.

Cultivo	Cantidad de biol (L)	Cantidad de agua (L)	Observaciones	Referencia
Leguminosas (habas, arvejas, alfalfa, otros)	2 a 3	17 a 18	Aplicación foliar cada 15 días	Claros et al. (2010)
Hortalizas (zanahoria, cebolla, rábanos, otros)	1.5	13.5	Aplicación foliar cada 10 días	Claros et al. (2010)
Cereales (trigo, cebada, avena, otros)	3	12	Aplicación foliar cada 15 días	Claros et al. (2010)
Maíz	2	13	Aplicación foliar cada 10 días	Claros et al. (2010)
Papa, oca, mashua	0.5 a 2	18 a 19.5	Tres aplicaciones, incrementando la concentración de biol: Plantas jóvenes: 0.5 L Plantas en proceso de maduración: 1 L Plantas maduras: 2 L	INIA (2008)

Tabla 23. Recomendaciones para la aplicación de bioles en cultivos

2.3.5 Precauciones

Para la preparación y aplicación de los digestados se recomienda usar mascarilla, guantes y botas de hule. Una vez terminada la preparación y aplicación, es recomendable lavarse las manos o bañarse. En caso el digestado tenga un olor a podrido no debe ser usado y debe descartarse de manera adecuada para evitar la proliferación de moscas.

2.4 VERMICOMPOST

2.4.1 Generalidades

El vermicompost es lo que comúnmente se conoce como el humus de lombriz. Es un abono de alta calidad producido por las lombrices de tierra y los microorganismos mesófilos bajo condiciones aeróbicas (Garg & Gupta, 2009); es rico en nutrientes y hormonas, de manera que se puede utilizar como un mejorador de las condiciones del suelo, y como promotor del crecimiento de cultivos por su efecto bioestimulante (Adhikary, 2012). El vermicompost es un material altamente poroso y a la vez retentivo, por tal razón, cuando es incorporado al suelo, no sólo mejora el movimiento del agua y del aire en el perfil del mismo, sino que también incrementa su capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes. Estas características influyen positivamente en las propiedades bioquímicas (Wang et al., 2017) y físicas del suelo (Srivastava et al., 2011). Numerosos estudios han demostrado efectos positivos del vermicompost en una amplia gama de cultivos, e incluso en plantas ornamentales (Chan & Griffiths, 1988; Wang et al., 2017; Singh & Chauhan, 2009; Manh & Wang, 2014).

Lombricultura y vermicompostaje

La lombricultura se define como la crianza de lombrices en cautiverio. Busca incrementar su número, sin considerar importante obtener un mayor o menor grado de estabilización del residuo orgánico que le sirve de alimento (Nogales et al., 2014). Del mismo modo, no le presta demasiado interés a la capacidad de producción de vermicompost por lombriz (Moreno et al., 2014).

Por otro lado, el vermicompostaje se define como el proceso de bio-oxidación y estabilización del residuo orgánico que sirve de alimento a las lombrices, logrando obtener un material humificado y mineralizado, denominado vermicompost (Durán y Henríquez, 2007).

Entre los beneficios de la aplicación del vermicompost al suelo se tiene (Sinha et al., 2014):

- **Propiedades físicas:** Reorganiza las partículas del suelo facilitando el paso del aire y del agua a través de todo el perfil, lo cual mejora la estructura del suelo. Los cambios en la estructura del suelo, a su vez, provocan que las raíces se vuelvan más eficientes en la absorción de nutrientes, esto porque se mejora la oxigenación, se incrementa la cantidad de agua y nutrientes disponibles y, finalmente, porque el suelo se vuelve un ambiente menos hostil, ya que disminuye la compactación y los cambios de temperatura que se producen entre el día, la tarde y la noche ya no son tan diferenciados.
- **Propiedades químicas:** Aumenta el contenido de nutrientes disponibles debido al incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mantiene valores óptimos de pH, regula la salinidad y sodicidad, y bloquea compuestos tóxicos en el suelo.

- **Propiedades biológicas:** El vermicompost contiene materia orgánica estable, de lenta descomposición que, al incorporarse al suelo, ayuda a crear condiciones favorables para las raíces y los organismos vivos; esto se traduce en el incremento de la actividad microbiana y de la población de microorganismos benéficos (en particular de hongos, bacterias y actinomicetos).

2.4.2. Principios

a. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Categorizada como lombriz epígea, es la especie más utilizada en el vermicompostaje por poseer características de alto índice de consumo de alimento, mayor asimilación de residuos orgánicos, presenta amplia tolerancia a factores ambientales, posee un corto ciclo de vida y una alta capacidad para reproducirse. Su cuerpo mide entre 4-8 cm de largo y entre 3-5 mm de diámetro. Se alimenta mediante succión debido a que carece de dientes y, en cuanto a la respiración, es efectuada a través de su piel. Presenta un sistema de sensores en todo el cuerpo, lo que le permite captar los rayos de luz, haciéndola un ser fotofóbico. Por ello, es necesario que el vermicompostaje se lleve a cabo bajo condiciones de oscuridad (Figura 55).



Figura 55. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

b. Diferencia entre compostaje y vermicompostaje

En el compostaje, la degradación del material orgánico ocurre exclusivamente por acción de los microorganismos; mientras que en el vermicompostaje participan las lombrices y los microorganismos, lo que genera una mayor proporción de ácidos húmicos y fúlvicos. Además, puede llegar a ser más rápido que el compostaje, pudiéndose obtener el producto final hasta en uno o dos meses, debido a que las lombrices albergan en su interior millones de microorganismos degradadores y enzimas hidrolíticas.

c. Proceso de vermicompostaje

Formación del vermicompost

Las lombrices se encargan de moler los residuos orgánicos frescos, lo que a su vez permite a los microorganismos continuar con el proceso de degradación, hasta que la materia orgánica llega a un punto estable. Éstos no sólo actúan en el interior de la lombriz, sino también en el residuo excretado por ella, que constituye entre el 90-95 % de todo el material consumido (Edwards, 1998). En el interior de la lombriz, el material molido es expuesto a compuestos mucosos y enzimas (proteasa, amilasa, lipasa, celulasa y quitinas) secretadas por el estómago y el intestino, estimulando la proliferación de microorganismos que degradan biomoléculas complejas en compuestos simples.

No existe una normativa nacional respecto a los requisitos que debe cumplir el vermicompost, sin embargo, la legislación española (mediante el Real Decreto 506/2013) regula los rangos de parámetros que debe cumplir para ser utilizado en la agricultura (Tabla 24). Se puede aplicar como enmienda orgánica en campos agrícolas o como sustratos en invernaderos (Nogales et al., 2014).

Parámetro	Rango
Materia orgánica (MO)	> 30 %
Humedad (Hv)	< 40 %
Relación C/N	< 20
Granulometría	< 25 mm

Tabla 24. Características del vermicompost como enmienda agrícola

Parámetro	Humus 1	Humus 2			Humus 3
		Humus de cabra	Humus de conejo	Humus de gallina	
N total (%)	.....	1.31	1.50	1.33	2.35
P (%)		0.71	1.20	1.66	1.88
K (%)	.....	1.77	0.20	0.08	0.30
Ca (%)	.....	5.01	2.86	10.20	3.34
Mg (%)	.....	0.55	0.65	0.60	0.78
Cu (%)	0.05	.....	.....	.....	.....
Fe (ppm)	200	2.55	2.61	1.31	5149
Zn (ppm)	.....	129	124	644	813
Mn (ppm)	60	236	776	901	633
Ácidos húmicos (%)	2.8 - 5.8	.....	.....	.....	.....
Ácidos fúlvicos (%)	14 - 30	.....	.....	.....	.....
C/N	10 - 11	.....	.....	.....	.....

Tabla 25. Composición química de distintos tipos de vermicompost

d. Sistemas de vermicompostaje

- **Sistemas a gran escala**

En camas

Este proceso se lleva a cabo en camas de residuos orgánicos (alimento de lombrices), donde las lombrices inoculadas las transforman en vermicompost. Las camas están delimitadas por materiales (troncos, bloques, tablas, muros de cemento, etc.) que sirven de contención al sustrato (residuo orgánico) y que aseguran mantener a las lombrices en el interior de la cama. La infraestructura de la cama no debe superar el metro de altura (Figura 56).

Aunque no es necesario voltear el sustrato orgánico, las camas deben ser regadas o cubiertas. Es preferible conservar la humedad (aproximadamente 85%) tapando las pilas con un elemento poroso. En condiciones de invierno, es recomendable agregar capas de paja u otro material aislante, en combinación con una materia prima con alto contenido de nitrógeno, siempre y cuando las lombrices tengan un área a la que puedan retirarse, ya que este material creará condiciones termófilas que ayudarán a mantener calientes a las lombrices durante el invierno. Las lombrices se trasladarán a las áreas ricas en nitrógeno a medida que las temperaturas disminuyan gradualmente. Es necesario tener suficiente nitrógeno en la mezcla para garantizar que las lombrices tengan la nutrición suficiente para hacer el trabajo.

Cuando el vermicompost esté listo, es necesario separarlo de las lombrices. Para ello, es necesario instalar una cama con material orgánico nuevo al costado de la anterior, de esta manera las lombrices serán atraídas al nuevo material, dejando el antiguo para ser cosechado (Fernández, 2011).



Figura 56. Camas de vermicompost con sistema de riego nebulizado

Vermirreactor vertical mecanizado

Este sistema consiste en agregar periódicamente el residuo orgánico fresco sobre un contenedor elevado en el que se desarrolla el vermicompostaje. El contenedor presenta una base perforada para facilitar la descarga del material transformado en vermicompost. De esta manera, mientras se da la descarga de las capas inferiores del vermicompost, las lombrices ascienden a la superficie atraídas por el residuo orgánico fresco, para iniciar nuevamente el proceso de vermicompostaje (Fernández, 2011) (Figura57).



Figura 57. Vermirreactor de alimentación semicontinua y descarga vertical

- **Sistemas a pequeña escala**

Contenedores simples

Consiste en usar receptáculos, cuya base está provista de una malla. El residuo orgánico fresco es colocado en el contenedor y encima, las lombrices. Al finalizar la transformación del residuo en vermicompost, las lombrices se movilizan a otro receptáculo relleno con residuo fresco a través de la malla que se encuentra en la base del contenedor, de manera que la malla sirve como conector entre ambos receptáculos (Figura 58).



Figura 58. Contenedor de vermicompost

Contenedores modulares

Consiste en la superposición (unos sobre otros) de módulos desarmables, ya sean cilíndricos o rectangulares, cuya conexión entre ellos para el paso de las lombrices se da a través de perforaciones en la parte inferior. La superposición vertical permite procesar mayores cantidades de residuos en poco espacio. Conforme se termina de procesar el residuo orgánico en un módulo, se van añadiendo otros

que contienen residuos frescos. Por tanto, a medida que los residuos orgánicos se degraden, también se dará el desplazamiento de las lombrices (Figura 59).



Figura 59. Vermicomposteras modulares.

2.4.3. Modo de preparación

a. Consideraciones técnicas y ambientales

- **Contenedor o cama:** Es el espacio delimitado por diferentes materiales (listones de bambú, tablas, ladrillos, material de cemento, etc.) destinado a la producción de vermicompost. Debe estar ubicado bajo sombra, protegido de las precipitaciones pluviales, de la incidencia de rayos solares y de temperaturas extremas (Fig. 60). La superficie sobre la cual se ubicará debe ser casi plana, con una pendiente no mayor a 20 % y sin riesgo de inundación, provisto de zanjas de drenaje y con disponibilidad de agua.



Figura 60. Cama de lombriz elaborado con materiales de tabla y en pendiente ligera que permite la lixiviación del líquido, ubicado bajo sombra

- Sustrato:** Es el material poroso, con un equilibrado flujo de agua y de aire, que facilite la respiración y lubricación de la piel de las lombrices; con bajo contenido de proteínas y/o nitrógeno (alta relación C/N), de lo contrario, la descomposición podría resultar en una rápida degradación y el calentamiento asociado generaría condiciones inhóspitas, a menudo fatales para las lombrices. El calentamiento puede ocurrir de manera segura en las capas de alimentos del sistema de vermicompostaje, pero no en el sustrato donde viven las lombrices. La relación C/N óptima es de 25 (Bueno, 2015). El lecho debe contener materia orgánica, con alta concentración de celulosa (Figura 61).

Frecuentemente, consiste en la mezcla de residuo orgánico fresco (estiércol, residuos vegetales, etc.) con suelo, en una proporción de 1:3; o material fresco con material compostado en una proporción 1:2. A continuación, se listan los materiales orgánicos frescos posibles de utilizar:

Sustrato	Absorbencia	C/N	Sustrato	Absorbencia	C/N
Estiércol de caballo	Medio-Bueno	22-56	Residuos de aserraderos	Deficiente	170
Turba musgo	Bueno	58	Lodos de fibra de papel	Medio-Bueno	54
Ensilaje de maíz	Medio-Bueno	38 - 43	Aserrín	Pobre-Medio	142 – 750
Paja - general	Deficiente	48 - 150	Hojas (secas, sueltas)	Pobre-Medio	40 – 80
Periódico, cartón	Bueno	170 - 563	Tallos, mazorcas de maíz	Pobre – medio	56– 73

Tabla 26. Características de sustratos comúnmente utilizados



Figura 61. Sustrato a base de residuos vegetales, cartón y estiércol de vacuno

- Fuente de alimento:** En condiciones ideales, las lombrices pueden consumir más de su peso corporal, aunque la regla general, es la mitad del mismo por día. Si bien consumen materiales orgánicos en general, prefieren unos alimentos más que otros. Hay alimentos que deben ser previamente compostados para ser incorporados a la vermicompostera, debido a que las altas temperaturas producidas durante la fermentación (75 °C), podrían matarlas (Buxade, 2001). Los estiércoles, al ser previamente compostados, dan valor alimenticio a las lombrices (Reines et al., 1998).

Alimento	Desventajas	Notas
Estiércol de ovino/cabra	Presencia de semillas de malezas.	Compostar los estiércoles previamente y adicionar materiales de mayor C:N.
Estiércol de gallina	Altos niveles de proteína son peligrosos para las lombrices.	Usar pequeñas cantidades (10 % en volumen o menos) o someter a un pretratamiento.
Estiércol de cerdo	Alto porcentaje de humedad.	Debe ser previamente deshidratado o aplicarlo en camas muy absorbentes.
Estiércol de conejo	Alto contenido de orina.	Lixiviar antes de su uso. Produce buena calidad de vermicompost.
Restos de alimentos frescos	La carne y los desechos de grasa causan anaerobiosis y olores fétidos.	Los desechos con grasa deben ser sometidos a un pretratamiento. El café molido es excelente, ya que tiene un alto contenido de N, no es grasoso ni presenta olores fétidos y es atractivo para las lombrices.
Biosólidos (desechos humanos)	Riesgo de contaminación por metales pesados y/o químicos, además de olores desagradables.	El vermicompostaje elimina patógenos humanos, al igual que en el compostaje termofílico.
Heno de leguminosas	Los niveles de humedad no son tan altos.	Se recomienda mezclarlos con otros abonos.
Granos (mezcla de piensos para animales)	Las semillas grandes son difíciles de digerir y lentas para descomponerse.	Las lombrices no pueden digerir granos grandes y duros; se acumulan en la cama, generando sobrecalentamiento.
Desechos de sangre de pescado	Presenta alto contenido de proteína.	Es difícil y produce olores fuertes. Deben ser sometidos a un proceso de pretratamiento.

Tabla 27. Alimentos más comunes en el vermicompostaje

- **Aspectos ambientales considerados durante el proceso de vermicompostaje**

Humedad

La humedad promedio para facilitar la digestión del alimento y el deslizamiento de la lombriz a través del residuo orgánico es 70 %. La forma práctica de alcanzar la humedad óptima del material en proceso de vermicompostaje es que, al tomar un puñado de material totalmente húmedo y presionarlo, no caigan gotas.

Aireación

Es necesario evitar altos niveles de grasa o humedad excesiva en el sustrato que está en proceso de descomposición, debido al peligro de anaerobiosis en partes o en la totalidad del sistema. Las lombrices no sólo serán privadas de oxígeno, sino también serán eliminadas por sustancias tóxicas (por ejemplo, amoníaco) creadas en estas condiciones. Esta es una de las principales razones para no incluir carne u otros desechos grasos en la materia prima para lombrices, a menos que hayan sido previamente compostados para descomponer los aceites y grasas.

Temperatura

La temperatura óptima promedio para el crecimiento y desarrollo de las lombrices se encuentra entre 12 °C y 25 °C (Tenecela, 2012). Pueden sobrevivir a temperaturas tan bajas como 0 °C, pero no se reproducen a temperaturas de un solo dígito, y no consumen tanta comida.

pH

El rango de pH en el que las lombrices pueden crecer y desarrollarse va de 5 a 9 (Edwards, 1998), aunque otras investigaciones sugieren como rango óptimo valores entre 7.5 a 8.0 (Georg, 2004). Fuera de estas escalas, la lombriz entra en una etapa de latencia.

Luz solar

La lombriz roja presenta fotosensibilidad, por tanto, se recomienda mantenerlas en ambientes oscuros.

Contenido en sal

El nivel de sal en el sustrato debe encontrarse por debajo del 0.5 %, debido a que las lombrices son muy sensibles (Gunadi et al., 2002). Aunque la mayoría de los estiércoles presentan altos niveles de sales solubles, siempre que se coloquen encima del sustrato, no representará problema alguno, ya que las lombrices podrán evitarlas hasta que las sales sean lixiviadas a través del riego. En caso de utilizarlo como sustrato o cama, primero deben ser lavados. Adicionalmente, si los abonos se compostan previamente al aire libre, las sales no serán un problema.

b. Diseño e instalación de una vermicompostera

Materiales y herramientas: Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sustrato descompuesto, agua, área de sombra, palas, carretilla de mano, manguera o regadera y machete.

Proceso de vermicompostaje

- **Fase de pretratamiento:** Consiste en la descomposición aeróbica inicial del residuo que se someterá al proceso de vermicompostaje. Se recomienda procesar los residuos en camas de 3 m de largo, 1 m de ancho, y con un espesor máximo de 60 cm. Para que el material orgánico adquiera características deseadas, es necesario voltearlo semanalmente y aplicar riegos que produzcan lixiviados. Se debe realizar la prueba de caja antes de proceder a la alimentación de las camas (Figura 62).



Figura 62. Estiércol de vacuno y residuos de cosecha en fase de pretratamiento para ser vermicompostado

- **Fase de vivero:** Esta fase tiene como fin incrementar la cantidad de lombrices para ser trasladadas a las camas de vermicompostaje. Los viveros pueden ser de cajas de plástico o de materiales afines, con agujeros en el fondo para drenar el exceso de humedad. La cantidad de éstas depende del plan de explotación. Sin embargo, para considerar una población óptima de lombrices, se debe obtener un aproximado de 60 % de lombrices juveniles, 40 % de lombrices adultas y más de 500 capullos; todo ello en un área de 1 m². En promedio, 1 kg contiene de 1000 a 1200 lombrices. Previo a colocar las lombrices en la caja, esta debe ser llenada con sustrato maduro y con suficiente agua (Figura 63).



Figura 63. Contenedor de madera para la multiplicación de lombrices

- **Fase de vermicompostaje:** En esta fase, las lombrices multiplicadas en el vivero son colocadas en camas provistas de sustrato, con dimensiones de 1 m de ancho, 10-100 m de largo y 0.40 m de espesor. Los alimentos deben ser colocados en una capa uniforme sobre el sustrato. Es importante mantener la humedad del material, sin llegar a inundar. Un buen indicador para lograr la correcta humedad se observa cuando, al apretar el material con la mano, broten pequeñas gotas. El espacio elegido debe ser ventilado, pero con ausencia de vientos fuertes, protegido de las precipitaciones pluviales y de los rayos solares, y tener una fuente de agua cerca. Se puede colocar una malla semisombra y mulch en la superficie para ayudar a mantener la temperatura baja en verano (Figura 64). Aproximadamente, para obtener una población igual o superior a 20000 lombrices/m², en un período de alrededor de tres meses, es necesario sembrar 5000 unidades de lombrices/m², a lo cual se le conoce como pie de cría.



Figura 64. Cama de lombriz con material de cemento conteniendo lombricompost

- Cosecha de humus:** El proceso para obtener el material vermicompostado puede tomar, en promedio, entre tres a cuatro meses; dependiendo de factores como el tipo de residuo, la cantidad de lombrices, el grado de aireación, y la humedad y temperatura de las camas. El material listo para ser cosechado, debe mantenerse con humedad mínima y sin alimento; de tal manera que, ante la carencia de agua y alimento, las lombrices tenderán a migrar hacia las trampas para ser retiradas (Figura 65).



Figura 65.
Malla sobre vermicompost en fase final conteniendo lombrices para ser retiradas

- Retiro de lombrices:** Una vez que el vermicompost esté listo —con ausencia de alimento y escasa humedad—, se debe cubrir el material de la vermicompostera con una arpillera mojada (o malla semisombra a modo de trampa), provista de materia orgánica nueva y fresca sobre ella. Esto permitirá que las lombrices se dirijan hacia ella, abandonando el material que está listo para ser cosechado. Después de retirar las lombrices, el vermicompost es expuesto al sol para reducir la humedad hasta un 40 %. Finalmente, el material estará listo para ser tamizado y empacado (Figura 66).



Figura 66.
Vermicompost maduro, seco, tamizado y listo para su uso

2.4.4 Método de aplicación

Uso del vermicompost

Del total de alimento que ingiere la lombriz, el 60 % es destinado a su reproducción y mantenimiento, mientras que el 40 % es transformado en vermicompost. De manera que, con 500 Kg de comida al año, las lombrices producirían —aproximadamente— 200 Kg de vermicompost, con una cantidad de 40 000 lombrices/m².

La aplicación de vermicompost se da a los diferentes tipos de cultivos agrícolas, forestales y plantas ornamentales. A nivel de almácigo, el vermicompost es mezclado con arena y tierra. En campos de cultivo, es colocado sobre camellones, en los surcos, o de manera localizada en la base de los cultivos. También puede ser aplicado a través de mezclas con compost, bokashi, entre otros. Las dosis de vermicompost promedio recomendadas se muestran en la Tabla 28.

Cultivos	Dosis
Terrenos de pradera	800 g/m ²
Árboles frutales	2 kg/árbol
Cultivos hortalizas	1 kg/m ²
Áreas de césped	0.5 a 1 kg/m ²
Plantas ornamentales	150 g/planta
Almácigos	20 %
Abono de fondo	160 a 200 L/m ²
Trasplante de árbol	0.5 a 2 kg/árbol
Recuperación de suelo agrícola	2500 a 3000 L/ha
Setos	100 a 200 g/planta

Tabla 28. Recomendaciones para la aplicación de vermicompost (Barbado, 2004)

2.4.5. Precauciones

Una humedad superior al 85 % genera grados de compactación y pérdida de aireación en las camas, así también, se da la pérdida del valor nutricional de los alimentos (Tenecela, 2012). Una relación C/N superior a 40, disminuye la actividad biológica, ralentizando el vermicompostaje (Zhu, 2006). Temperaturas por encima de 35 oC, provocan que las lombrices abandonen las camas, o en el peor de los casos, estas mueran. Es probable que valores de CE mayores a 8 dS/m provoquen la muerte de lombrices (Edwards, 1988).

Es necesario mantener alejadas de las lombrices las sustancias tóxicas presentes en algunos árboles; por ejemplo, el cedro y el abeto, ya que contienen niveles dañinos de taninos para ellas. La fase de pretratamiento de los residuos orgánicos frescos es ideal para disminuir y/o eliminar varios riesgos que amenazan el óptimo crecimiento y desarrollo de las lombrices. Es importante no agregar carne, huesos, ni ningún tipo de producto lácteo a las vermicomposteras, asimismo, evitar el pan y las cantidades excesivas de cítricos, medicamentos antiparasitarios en los estiércoles, detergentes limpiadores, químicos industriales y pesticidas presentes en aguas residuales o lodos sépticos, o de fábricas de papel.

2.5 BIOESTIMULANTES

2.5.1 Generalidades

Son todas aquellas sustancias diferentes a los fertilizantes que traen beneficios a los cultivos al ser usadas en pequeñas cantidades, cuyos efectos incluyen: incrementos en la absorción de nutrientes, en el rendimiento, en la acumulación de biomasa, mejoras en el sistema radicular, en la floración, en el cuajado, en la calidad del fruto, la reducción de la dormancia de las semillas, o mejor respuesta frente al estrés biótico o abiótico.

De manera general, los efectos que los bioestimulantes puedan tener sobre los cultivos no se explican por un solo mecanismo, y pueden no estar del todo esclarecidos en algunos casos. Dos de los bioestimulantes más populares son los extractos de algas marinas y los bioestimulantes en base a aminoácidos o proteínas hidrolizadas; también se pueden encontrar productos que combinan los extractos de algas con aminoácidos u otras fuentes de macronutrientes.

2.5.2 Principios

En los extractos de algas marinas se han identificado sustancias como carbohidratos, hormonas (auxinas, citoquininas, ácido abscísico, giberelinas, esteroides, poliaminas), micro y macro nutrientes, carotenoides, betainas, vitaminas, lípidos, y proteínas. Por su composición tan variada, lo que incluye también a compuestos aún no identificados, a veces no se puede asignar a un sólo tipo de compuesto todos los efectos que se observan sobre los cultivos; de hecho, algunas pruebas han demostrado que el efecto de un sólo componente no es capaz de igualar al efecto que se obtiene al usar todo el extracto de algas (probable efecto sinérgico). Son compuestos heterogéneos, pero algunos productos son comercializados considerando a las hormonas como uno de los principales ingredientes activos. Al respecto, hay evidencia que los extractos de algas regulan la producción de hormonas endógenas en la planta, en vez de producir un efecto directo debido al contenido de hormonas del producto. Muchos de los efectos benéficos de los extractos de algas han sido similares a los efectos logrados con hormonas o promotores del crecimiento.

Con respecto a los aminoácidos, su aplicación ayuda a la planta a ahorrar la energía que gastaría si tuviera que crearlos por su propia cuenta, lo que promueve el crecimiento o aumenta la capacidad de respuesta al estrés. La metionina, el glutamato, la prolina, la arginina, la cisteína; son aminoácidos esenciales muy conocidos por sus efectos positivos frente a algunos tipos de estrés abiótico, como puede ser el déficit hídrico, la salinidad, y el estrés por calor. Otros efectos son el incremento del contenido de clorofila, la apertura de estomas, el incremento en la germinación del polen y el alargamiento del tubo polínico.

Algunos productos ofrecen la combinación de un conjunto de aminoácidos más un extracto de algas marinas. Los aminoácidos, pueden tener efectos directos como la activación de genes que expresan las respuestas frente al estrés, la protección frente a los radicales libres o la activación de enzimas. Pueden tener efectos indirectos como el aumento de la respiración del suelo, y la actividad microbiana si es que son aplicados al suelo.

La respuesta más conocida de las plantas frente a los factores de estrés abiótico del medio ambiente es la acumulación de aminoácidos en sus tejidos, los que luego les servirán para su recuperación. La prolina fue uno de los primeros aminoácidos en los que se encontró una relación con la tolerancia al estrés hídrico y salino. Este aminoácido puede actuar como un osmolito no-tóxico que se acumula en citoplasma, y que luego ayuda a mantener el balance de agua en las plantas (rol osmorregulador); además, durante la deshidratación, protege la estructura de la célula y de la membrana (rol osmoprotector). Otros aminoácidos también conocidos por ser útiles frente al estrés hídrico y salino son la glicina-betaina y el glutamato.

2.5.3 Método de preparación

- **Extractos de algas marinas**

Se obtienen a partir de algas como *Ascophyllum nodosum*, *Duvillea potatorum*, *Sargassum muticum*, *Jania rubens*, *Codium tomentosum* y *Ecklonia maxima*. El método de extracción puede ser físico o químico, y debe garantizar la integridad de las moléculas biológicamente activas, que son las que dan el valor al bioestimulante. El método de extracción en álcali con alta presión es el más utilizado (Ali et al., 2021).

- **Aminoácidos o proteínas hidrolizadas**

Los aminoácidos son las moléculas que componen los péptidos y proteínas, y se producen por las plantas de manera natural. Los bioestimulantes basados en aminoácidos se obtienen por hidrólisis enzimática o química, provenientes de fuentes vegetales o animales, y se comercializan en forma pura o como una mezcla de estos, la cual es la forma más común en el mercado.

La hidrólisis enzimática es el método más recomendado para la extracción de aminoácidos por ser rápido y amigable con el medio ambiente (García, 2017). En los últimos años se viene utilizando con más frecuencia el pescado como fuente de extracción, ya sea entero, las vísceras u otras partes. A nivel mundial se ha proyectado un incremento en el ingreso de los mercados de proteínas hidrolizadas de esta fuente (Espinoza y Castillo, 2022).

2.5.4 Método de aplicación

La efectividad de los bioestimulantes comerciales de extractos de algas y de aminoácidos puede variar según la fuente utilizada para la elaboración del producto, el método de extracción y formulación, la dosis empleada, el cultivo, y la severidad del estrés o las condiciones ambientales. La elección del bioestimulante que responda mejor a las expectativas es tarea del productor o del asesor del campo. Los bioestimulantes pueden aplicarse foliarmente, en drench, vía edáfica y hasta con el fertirriego.

En base a los resultados de los ensayos que presentaremos en esta sección, recomendamos el uso de los extractos de algas (EA) en plantas que se encuentren bien fertilizadas, o en suelos con una buena dotación de nutrientes, resultados similares han sido encontrados por Crouch et al. (1990). Al parecer, cuando existe una disponibilidad adecuada de nutrientes en el medio, los EA sí ayudan a las plantas a absorber una mayor cantidad de elementos nutritivos en comparación a los cultivos en donde no se utiliza estos productos, esto repercute positivamente en el rendimiento y la calidad de las cosechas. Cuando los nutrientes son escasos, el uso de EA puede incluso tener efectos negativos; sin embargo, el uso de productos que tengan en su composición la combinación de extractos de algas más aminoácidos (EA+AA), pueden utilizarse en cultivos a quienes no se les ha dado una fertilización óptima; esto fue comprobado al trasplantar plántulas de tomate en un medio nutricional pobre (arena fina y concentración de la solución fertirriego con 47 ppm de nitrógeno [N], 12 ppm de fósforo [P], 50 ppm de potasio [K], 38 ppm de calcio [Ca], 12 ppm de magnesio [Mg], 18 ppm de azufre [S], 0.25 ppm de hierro [Fe], 0.12 ppm de manganeso [Mn], 0.12 ppm de boro [B], 0.04 ppm de zinc [Zn], 0.025 ppm de cobre [Cu], 0.0125 ppm de molibdeno [Mo]). Los tomates, a los cuales se les aplicó EA al 1.5 mg.L⁻¹ junto con la solución de fertirriego pobre, no superaron al testigo en algunas características; como en el tamaño de la planta, tamaño de las hojas a los 21 días después del trasplante (DDT), e incluso se observaron menos vigorosas. Por el contrario, EA+AA al 1.5 mg.L⁻¹ superó largamente al testigo y a EA en todas las características medidas (Tabla 29), además de presentar un vigor superior. Las imágenes de los resultados se muestran a continuación:



Figura 67. Efecto de la primera aplicación, seis días después del trasplante (DDT), de izquierda a derecha se observa al testigo, EA, y EA + AA



Figura 68. A los 9 DDT, de atrás hacia adelante, se observa al testigo, EA, y EA + AA



Figura 69. A los 12 DDT, de izquierda a derecha, se observa al testigo, EA, y EA+AA



Figura 70. A los 21 DDT, de izquierda a derecha, se observa al testigo, EA, y EA+AA

A continuación, se muestra el efecto de EA, y EA+AA sobre el peso seco (g) de las hojas y tallos de las plántulas de tomate instaladas en un medio nutricional pobre:

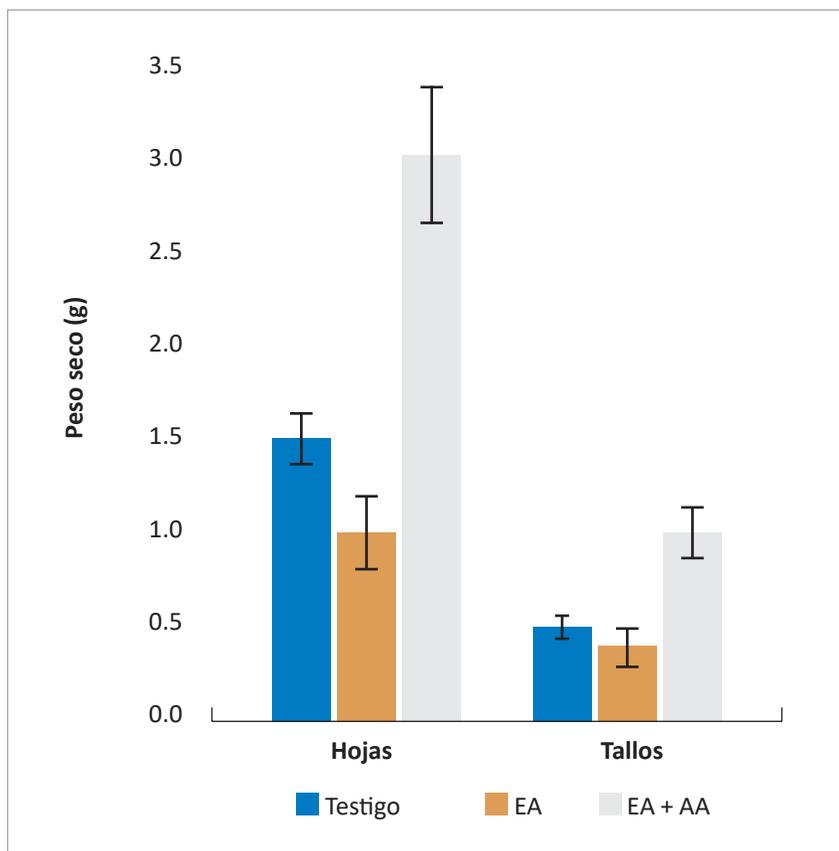


Figura 71: Promedio y desviación estándar del efecto de EA y EA+AA sobre el peso seco (g) de las hojas y tallos en plantas de tomate a los 21 DDT

En la Tabla 29 se muestra el efecto de EA, y EA + AA sobre el diámetro del tallo (mm), altura de planta (cm), tamaño de las hojas (cm), y número de botones florales de las plántulas de tomate instaladas en un medio nutricional pobre.

Tratamiento	Diámetro del tallo (mm)	Altura de planta (cm)	Tamaño de las hojas (cm)	Número de botones florales
Testigo	5.58 ± 0.2	26.8 ± 2.93	18 ± 1.32	2.8 ± 0.75
EA	5.73 ± 0.2	24.13 ± 1.14	16.69 ± 0.48	2 ± 0.7
EA+AA	7.24 ± 0.8	37 ± 3.34	23.95 ± 2.19	5.2 ± 1.6

Tabla 29. Promedio y desviación estándar del efecto de EA y EA+AA sobre el diámetro del tallo, altura de la planta, tamaño de las hojas, y número de botones florales en plantas de tomate a los 21 DDT

En otra prueba con plantas de maíz, cultivadas en arena y con una solución fertirriego de concentración media (94 mg.L⁻¹ de nitrógeno [N], 24 mg.L⁻¹ de fósforo [P], 100 mg.L⁻¹ de potasio [K], 76 mg.L⁻¹ de calcio [Ca], 24 mg.L⁻¹ de magnesio [Mg], 36 mg.L⁻¹ de azufre [S], 0.5 ppm de hierro [Fe], 0.24 ppm de manganeso [Mn], 0.24 ppm de boro [B], 0.08 ppm de zinc [Zn], 0.05 ppm de cobre [Cu], 0.025 ppm de molibdeno [Mo]), nuevamente se comprobó que la efectividad de los extractos de algas (en este caso se probaron dos tipos: EA y EA2) puede disminuir cuando no existe para las plantas una dotación adecuada de elementos nutritivos, y que un producto del tipo EA+AA puede resultar más conveniente en esta situación (Tabla 30). En esta prueba los bioestimulantes fueron aplicados vía foliar y edáfica a los 2, 9, 18, y 43 días después de la emergencia (DDE) a 0.5 mg.L⁻¹ y 1 mg.L⁻¹. Las imágenes de los resultados se muestran a continuación:



Figura 72.

De izquierda a derecha: testigo, EA2 1 %, EA 1 %, EA 0.5 %, EA+AA 1 %, EA+AA 0.5 %



Figura 73. De

izquierda a derecha: EA+AA 0.5 %, EA+AA 1 %, EA 0.5 %, EA 1 %, EA2 1 %, y testigo



Figura 74. De izquierda a derecha: EA+AA 0.5 %, EA+AA 1 %, EA 0.5 %, EA 1 %, EA2 1 %, y testigo

En la tabla 30, se presentan los efectos observados de EA+AA, EA, y EA2 sobre el peso seco, altura de planta, y volumen radicular en plantas de maíz a los 51 DDE en comparación con un testigo:

Tratamiento	Altura (cm)	Peso seco aéreo (g)	Peso seco raíz (g)	Volumen radicular (cm ³)
EA+AA 0.5 %	41.72a	30.46a	5.72a	37.8a
EA+AA 1 %	39.26a	23.08b	5.16a	30.6b
EA 0.5 %	34.56bc	14.34d	3.08bc	16.9c
EA 1 %	28.21c	13.42d	2.16c	13.9cd
EA2 1 %	34.74b	17.65c	3.4b	29.9b
Testigo	37.22ab	13.34d	2.32c	12.14d

Tabla 30. Efecto de EA+AA, EA, y EA2 sobre la altura, peso seco de la parte aérea y radicular, y volumen radicular en plantas de maíz dotadas con una solución fertirriego con concentración media de nutrientes

Nota: Letras diferentes en una misma columna representan diferencias estadísticas significativas.

En cuanto al uso de aminoácidos (AA) como herramientas que permitan a los cultivos tolerar mejor el estrés hídrico, la efectividad del producto puede variar según la severidad del mismo. Por ejemplo, en los casos de extrema sequía, es posible que las aplicaciones de AA para buscar recuperar a la planta de una sequía que ya pasó, sean más efectivas que las aplicaciones que se hagan en búsqueda de una respuesta positiva en el cultivo cuando la sequía está aún presente.

Esto se comprobó en un experimento con frijol camanejo, en donde se sometió a dos grupos de plantas a un déficit hídrico severo (fertirriegos con concentración adecuada de nutrientes cada 3-4 días en un sustrato tipo arena fina, con una evapotranspiración promedio de 4 mm), pero otorgando a sólo uno de los grupos, la aplicación de aminoácidos vía foliar y edáfica. El efecto de las aplicaciones de AA en el vigor de las plantas se hizo evidente sólo a partir del momento en que se decidió suspender el estrés hídrico (día 27 DDE); es entonces que, con el transcurrir de los días, las plantas con AA empezaron a mostrar una tonalidad más verde, sobre todo en las hojas más jóvenes, siendo los efectos visualmente más notorios a los 43 DDE. Además, para dicho momento, las plantas con AA también mostraron un mayor desarrollo radicular. Las imágenes de los resultados se muestran a continuación:



Figura 75. Frijol sin AA y con estrés hídrico severo a los 27 DDE



Figura 76. Frijol con AA y con estrés hídrico severo, a los 27 DDE



Figura 77. De izquierda a derecha se ven plantas con AA y sin AA, a los 43 DDE



Figura 78.
De izquierda a derecha se observan las raíces de las plantas con AA y sin AA a los 43 DDE

El cronograma de los riegos y aplicaciones de AA se muestra en la Tabla 31.

DDE	Con aminoácidos		Sin aminoácidos
	AA (ml.L ⁻¹)	Riego por planta (ml)	Riego por planta (ml)
0	0	250	250
5	2.5	400	400
9	2.5	550	550
14	5	500	500
17	0	250	250
21	5	450	450
25	0	450	450
27	10 ¹	400	400
27	Comienzan los riegos interdiarios de entre 400-500 ml por planta. Se libera a ambos grupos de plantas del estrés hídrico		
33	15 ¹	250	250
43	Fin del ensayo		

Tabla 31. Cronograma de riego y aplicación de AA en el experimento de estrés hídrico en plantas de frijol camanejo

Nota. ¹La aplicación del bioestimulante se hizo solo por vía edáfica.

En la siguiente tabla, se presenta el efecto de AA a los 43 DDE sobre el peso seco de la parte aérea y radical, así como la relación peso seco de la raíz entre peso seco de la parte aérea. Este cociente puede interpretarse como la masa de raíz producida por unidad de masa de la parte aérea.

Con AA	Peso raíz	Peso aéreo	Raíz/aérea	Sin AA	Peso raíz	Peso aérea	Raíz/aérea
1	1.25	1.93	0.648	1	0.6	1.69	0.355
2	1.72	3.44	0.500	2	0.84	1.93	0.435
3	1.28	2.33	0.549	3	1.24	2.82	0.440
4	0.89	2.07	0.430	4	0.79	3.07	0.257
5	0.8	1.61	0.497	5	0.3	0.86	0.349
Promedio			0.525	Promedio			0.367

Tabla 32. Efecto de AA a los 43 DDE sobre el peso seco de la parte aérea y radical

Con respecto al estrés hídrico, siempre será importante conocer el aminograma (composición de aminoácidos) de nuestro producto, para poder saber si en nuestras aplicaciones estamos utilizando aminoácidos que han sido señalados como herramientas útiles frente a este tipo de estrés, como por ejemplo la prolina, el glutamato, y la glicina-betaina.

Los aminoácidos pueden ser aplicados directamente al suelo, ya que tienen un efecto residual bastante fuerte, lo que se nota por el olor característico del producto que persiste en el suelo, incluso varios días después de la aplicación, esto permite al cultivo aprovechar los aminoácidos de forma directa (a través de la absorción por la raíz) o indirecta (por ejemplo, al mineralizarse y liberar nutrientes, o al interactuar con los microorganismos de la rizósfera).

2.5.5 Precauciones

Los bioestimulantes son productos seguros, no tóxicos; incluso si son ingeridos, o entran en contacto con los ojos, o son inhalados. Además, tienen un mínimo impacto en el medio ambiente. Dosis muy altas vía foliar o aplicaciones muy seguidas pueden causar fitotoxicidad, la cual se presenta a manera de quemaduras en las partes donde cayó el producto. Se sugiere el uso de extractos de algas en plantas nutricionalmente bien balanceadas, y se hace recordar a los productores que la severidad del estrés hídrico puede influir en la eficacia de los aminoácidos como herramientas para ayudar a superar este tipo de estrés.



3. GLOSARIO

Aeróbico: Proceso que ocurre en presencia de oxígeno.

Aminoácido: Molécula orgánica que consiste en un grupo amino básico (NH₂), un grupo carboxilo ácido (COOH) y un grupo R orgánico que es único para cada aminoácido. Los aminoácidos son las unidades básicas que forman las proteínas.

Baiyodo: Es un proceso en el que se mezcla materia vegetal seca con tierra y se fermenta. El baiyodo es rico en elementos menores.

Bioestimulante: Es una sustancia o microorganismo que, aplicado a una planta, mejora la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y/o los rasgos de calidad del cultivo; independientemente de su contenido de nutrientes.

Biofertilizante: Es una sustancia formulada a base de microorganismos solos o en combinación (bacterias, hongos, actinomicetos y algas), que tienen como función la fijación, solubilización y/o movilización de nutrientes del suelo hacia las plantas mediante la colonización de las raíces.

Biol: Es un subproducto líquido estabilizado que se origina a partir del digestado producido durante el proceso de digestión anaeróbica de residuos animales y vegetales.

Biosol o Biosólido: Es el subproducto sólido estabilizado que se origina a partir del digestado producido durante el proceso de digestión anaeróbica de residuos animales o vegetales.

Biosólido de Clase A: Son aquellos aplicables al suelo sin restricciones sanitarias.

Biosólido de Clase B: Son aquellos aplicables al suelo con restricciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo.

Bovinaza: Es un abono orgánico que se fabrica a partir de la fermentación de estiércol de bovinos.

Bokashi: Término japonés que significa abono orgánico fermentado, el cual incorpora al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro; que mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo. Estos abonos tienen como objetivo estimular la microbiota del suelo y la nutrición de las plantas.

- Calidad:** Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.
- Condiciones aeróbicas:** Es el estado de un sistema en el que hay suficiente oxígeno disuelto que permite la respiración de los microorganismos.
- Control de Calidad:** Son el conjunto de mecanismos, acciones y herramientas realizadas para detectar la presencia de errores. La función principal del control de calidad es asegurar que los productos o servicios cumplan con los requisitos mínimos de calidad.
- Ciclo de vida:** Es el ciclo cronológico de las fases que atraviesa un producto (fertilizante, acondicionador de suelo y productos afines de uso agrícola), desde su fabricación hasta su disposición final.
- Compost:** Producto inocuo y libre de efectos fitotóxicos que resulta del proceso de compostaje constituido por una materia orgánica estabilizada donde no se reconoce origen, puesto que se habrá degradado generando partículas más finales y oscuras.
- Declaración:** Manifestación escrita de una información requerida para el registro de un fertilizante.
- Degradación o digestión anaeróbica:** Descomposición de la materia orgánica realizada por microorganismos en ausencia de oxígeno. Normalmente se hace en biodigestores que son contenedores herméticos e impermeables, los productos principales son el biogás que sirve como combustible y algunos productos sólidos conocidos como biosólidos o digestados.
- Descomposición:** Degradación de la materia orgánica.
- Digestado:** Residuos de materia orgánica descompuesta resultado de una digestión anaeróbica.
- Digestor:** Contenedor cerrado e impermeable donde se lleva a cabo la digestión anaeróbica.
- Estabilización:** Fase de la etapa de maduración en la cual la actividad biológica disminuye en los materiales que se degradan, hasta un nivel tal que no hay incremento significativo de temperatura.
- Evapotranspiración:** Toda el agua que pasa a la atmósfera a través del suelo y de la planta, se expresa en milímetros (mm). Cabe destacar que 1 mm de agua equivale a 10 m³ por hectárea.
- Extracto húmico:** Fracción de la materia orgánica de los suelos, u otros compuestos orgánicos extraídos con soluciones alcalinas como el hidróxido de sodio o potasio. Está compuesto por los ácidos húmicos, los ácidos fúlvicos, y las huminas.
- Fertilidad del suelo:** Constituido por la fertilidad química, física, y biológica del suelo. La primera es la capacidad del suelo de proporcionar nutrientes y un medio que permita a estos estar en forma disponible, como

un pH adecuado. La segunda está determinada por el balance entre la capacidad del suelo de oxigenar a las raíces y su capacidad de servir como un almacén de agua lo que depende de la textura, estructura, entre otros. La tercera depende de los organismos vivos que habitan el suelo, cumplen una función bioestimulante de manera natural y son importantes para las funciones ecológicas del suelo.

Fertilizante: Todo producto orgánico o inorgánico que se emplea para proporcionar nutrientes a las plantas. Generalmente se aplica directamente al suelo, vía foliar, o a través del riego.

Fertilizante orgánico: Fertilizante rico en carbono obtenido de materiales orgánicos; se producen de la descomposición de restos de materiales vegetales y/o animales que incluye estiércol de ganado tratado, no tratado, vermicompost, lodos de depuradora y otros materiales orgánicos o mixtos, que se van liberando según van siendo degradados y son utilizados para suministrar nutrientes al suelo.

Fertilizante orgánico-mineral: Producto en el cual los nutrientes declarados son de origen orgánico e inorgánico, obtenido por mezcla y/o combinación química o bioquímica de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

Gallinaza: Estiércol de gallinas criadas para la producción de huevos utilizado en la agricultura como fertilizante. Normalmente posee un contenido de nitrógeno de alrededor del 3 %. No debe ser confundido con la llamada pollinaza, que proviene del estiércol que generan los pollos para el consumo de su carne.

IFOAM: Es la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica, que participa activamente en las negociaciones internacionales agrícolas y ambientales con la Organización de las Naciones Unidas y las instituciones multilaterales para promover los intereses del movimiento de la agricultura orgánica en todo el mundo.

Inoculante: Microorganismos que al aplicarse favorecen el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizósfera. Por ejemplo, puede utilizarse inoculantes para favorecer el proceso de fijación biológica de nitrógeno o la micorrización.

Inóculo: Término colectivo para referirse a los microorganismos o sus partes (esporas, fragmentos miceliales, etc.) capaces de provocar infección o simbiosis cuando se transfieren a un huésped. El término también se usa para referirse a los organismos simbióticos o patógenos transferidos por cultivo.

Lavado o lixiviación: Cuando el agua entra en contacto con la materia orgánica, pudiendo infiltrarse en el suelo, descendiendo hasta las aguas subterráneas.

Lodos: Son residuos sólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales que cuentan con alta concentración de materia orgánica.

Materia inerte: Sustancia que no cambia su estructura física ni sufre transformaciones químicas como consecuencias del proceso enzimático. Incluye: vidrios, piedras, arena, plásticos, entre otros.

Materia prima: Cualquier ingrediente utilizado en la producción o formulación comercial de un producto fertilizante, acondicionador de suelo y sustancias afines.

Materia orgánica refractaria: Fracción de la materia orgánica de difícil descomposición por los procesos biológicos convencionales; por ejemplo, fenoles, pesticidas.

Microorganismos: Entidad de tamaño microscópico de una sola célula o varias. En este manual se incluye a los hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, mohos, algas y protozoos.

Microorganismos eficientes o EM: Productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies de microorganismos, algunas especies son aeróbicas, anaeróbicas e incluso especies fotosintéticas. Se aplican con la finalidad de que puedan coexistir con las comunidades nativas de microorganismos del suelo. Su uso en el compostaje como descomponedores de la materia orgánica es muy difundido.

Nutriente: Elemento químico esencial para que las plantas completen su ciclo de vida. Además del carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H), procedentes especialmente del aire y del agua, los nutrientes se clasifican en: principales, secundarios y micronutrientes.

Nutriente primario: El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

Nutriente secundario: Calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Micronutriente: Boro (B), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), esenciales para el crecimiento de las plantas, aunque en pequeñas cantidades si se compara con los nutrientes primarios o secundarios.

Parámetro: Es un valor indicativo por el cual se establecen los rangos en los que se evaluará la composición o característica de algo determinado.

Pila o ruma: Depósito o espacio en el que se encuentran las materias en descomposición.

Planta de compostaje: Instalación autorizada en la que se efectúa el proceso de compostaje para la producción de compost.

Porquinaza: Mezcla del estiércol, orina, y material utilizado como cama en la cría de cerdos para ser usado como fertilizante.

Relación C/N: Relación que existe entre el carbono y el nitrógeno en alguna sustancia.

Registro: Asiento legal mediante el cual todo fertilizante es autorizado por el Ente Rector para su venta y su uso, de acuerdo con lo establecido en el reglamento oficial.

Residuos orgánicos o biológicos: Residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, celular y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

Riesgo: La probabilidad y gravedad de un efecto adverso para la salud o el medio ambiente (agua y aire), que se produce en función de un peligro generado por el mal manejo de fertilizantes, por ejemplo.

Segregación: Separación y clasificación de los sub productos en el sitio donde son generados, con el propósito de facilitar su manejo posterior y reutilización.

Subproducto: Materia o elemento que posee un uso o aplicación, que se obtienen un proceso de producción establecido, además del producto principal.

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

Torta de soya: Residuo que queda luego de que se le extrae el aceite al frijol de soya integral. Contiene proteínas y aminoácidos en concentraciones importantes.

Trazabilidad: Conjunto de información acerca de un producto que permite determinar su historial desde su origen hasta su destino final. Es un flujo de información que se guarda en un sistema.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*, 3, 905–917. <https://doi.org/10.4236/as.2012.37110>
- Agencia de Residuos de Cataluña [ARC]. (2016). *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje*. Agencia de Residuos de Cataluña.
- Ali, O., Ramsubhag, A. & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Barbado, J. 2004. *Cría de lombrices*. Editorial Albatros SACI.
- Binner, E. (2017). *Fundamentos, Operación y Diseño de Planta de Compostaje* [Presentación]. 13° Curso Internacional de Compostaje. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bonten, L. T. C., Zwart, K. B., Rietra, R. P. J. J., Postma, R., de Haas, M. J. G., & Nysingh, S. L. (2014). *Bio-slurry as fertilizer: is bio-slurry from household digesters a better fertilizer than manure?: a literature review*. Wageningen: Alterra, 2519. <https://edepot.wur.nl/307735>
- Bueno, M. (2015). *Elabora tu propio lombricompost. El mejor humus para tu huerta, macetas y jardín*. Ediciones La Fertilidad de la Tierra.
- Buxade, C. (2001). *Manual de lombricultura*. Ediciones Mundi Prens.
- Calvo, O., & Villalobos, T. (2010). *Producción de diferentes tipos de abonos, repelentes y fungicidas orgánicos: Experiencias de productores en la zona sur de Costa Rica*. Plataforma de Tecnología de Información y Comunicación Agropecuaria y Rural. http://www.platicar.go.cr/images/Comunidades_de_Practica/pdf/Abonos-organicos.pdf
- Chan, P. L., & Griffiths, D. (1988). The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes*, 24(1), 57–69. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(88\)90027-4](https://doi.org/10.1016/0269-7483(88)90027-4)
- Claros, J., Chungara, A., & Zeballos, G. (2010). *Manual de elaboración de productos naturales para la fertilidad de suelos y control de plagas y enfermedades: experiencias en la zona biocultural subcentral Waca Playa, Tapacari*. AGRUCO.

- Colque, T., Rodríguez, D., Mujica, A., Canahua, A., Apaza, V., & Jacobsen S. (2005). *Producción de biol: Abono líquido natural y ecológico*. Instituto Nacional de Innovación Agraria.
- Crouch, I.J., Beckett, R.P., & van Staden, J. (1990). Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. *Journal of Applied Phycology*, 2(3), 269-272. <https://doi.org/10.1007/BF02179784>
- Doyeni, M. O., Stulpinaite, U., Baksinskaite, A., Suproniene, S., & Tilvikiene, V. (2021). The effectiveness of digestate use for fertilization in an agricultural cropping system. *Plants*, 10(8), 1734. <https://doi.org/10.3390/plants10081734>
- Durán, A., Vásquez, A., Zetina, R., & Meneses, I. (2014). *Producción de abonos orgánicos, biofertilizantes y su uso en cultivos de hortalizas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostas producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 41-51.
- Edwards, C.A. (1998). The Use of Earthworms in the Breakdown and Management of Organic Wastes. En: C.A. Edwards (Ed.), *Earthworm Ecology* (pp. 327-354). St. Lucie Press.
- Environmental Protection Agency [EPA]. (20 de Julio de 2021). Environmental Benefits of Anaerobic Digestion. <https://www.epa.gov/anaerobic-digestion/environmental-benefits-anaerobic-digestion-ad>
- Espinoza, D. y Castillo, A. (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 135-148. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.012>
- Fernández, M. J. (2011). *Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y destríos de cultivos de invernadero* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio Institucional de la Universidad de Granada. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/21010>
- García, S. D. (2017). *Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales Categorías y Regulación a Nivel Mundial*. INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulantes-agricolas-definicion-y-principales-categorias>
- Garg, V.K., & Gupta, R. (2009). Vermicomposting of agro-industrial processing waste. En P. Nigam & A. Pandey. (Eds.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 431-456). Springer.
- Georg, (2004). *Feasibility of Developing the Organic and Transitional Farm Market for Processing Municipal and Farm Organic Wastes Using Large-Scale Vermicomposting*. Good Earth Organic Resources Group.

- Gómez, D., & Vásquez, M. (2011). *Abonos orgánicos. Serie: Producción orgánica de hortalizas de clima templado*. Cooperación Suiza en América Central.
- Gunadi, B., Blount, C., & Clive, A. (2002). The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle solids precomposted for different periods. *Pedobiología*, 46(1), 15-23. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00109>
- Hettiarachchi, H., Ryu, S., Caucci, S., & Silva, R. (2018). Municipal solid waste management in Latin America and the Caribbean: Issues and potential solutions from the governance perspective. *Recycling*, 3(2), 19. <https://doi.org/10.3390/recycling3020019>
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2020). Norma Técnica Peruana 201.207:2020 FERTILIZANTES. Compost para Uso Agrícola. Requisitos (1ª ed.). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2537217/RJ_221_2021.pdf
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2008). *Producción y uso de biol*. INIA.
- Jaramillo, G., & Zapata, LM. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* [Tesis de especialización, Universidad de Antioquía de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquía de Colombia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/45>
- Kyan, T., Shintani, M., Kanda, S., Sakurai, M., Ohashi, H., Fuijasawa, A., & Pongdit, S. (1999). *Kyusei Nature Farming and The Technology of Effective Microorganisms: Guidelines for practical use*. Atami (Japan), Asian Pacific Natural Agricultural Network.
- Makádi, M., Tomócsik, A. & Orosz, V. (2012). Digestate: A New Nutrient Source - Review. En Kumar S. (Ed.), *Biogas* (pp. 295-310). INTECHOPEN.
- Manh, V., & Wang, C. (2014). Vermicompost as an important component in substrate: effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *APCBEE*, 8, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.076>
- Mendoza Avalos, (s/f). *Preparación uso y manejo de abonos orgánicos*. INIA.
- Meza, V. (2017). *IV Curso Práctico: Elaboración de abono mediante fermentación bacteriana a partir de residuos orgánicos* [Presentación]. Centro de Gestión y Tecnología Ambiental de la UNALM.
- Moreno, R. A.; García, G. L.; Cano, R. P.; Martínez, C. V.; Márquez, H. C., & Rodríguez, D. N. (2014). Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 163-173.

- Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(9), 2033-2046. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1682-2>.
- Nogales, R., Romero, E., & Fernández, M. J. (2014). El proceso y los sistemas de vermicompostaje. En J. Moreno, R. Moral, J. García-Morales, J. Pascual, M. Bernal (Eds.), *5 Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones* (pp. 13-50) - *Bloque III: Recursos orgánicos: aspectos agronómicos y medioambientales, Colección De Residuo a Recurso, el Camino hacia la Sostenibilidad*. Mundi-Prensa.
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (1999). *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. OPS. <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(3), 10-29.
- Piamonte, R., & Flores, P. (2000). *Biofertilizante líquido enriquecido*. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA).
- Quiroz, M., & Céspedes, C. (2019). Bokashi as an Amendment and Source of Nitrogen in Sustainable Agricultural Systems: A Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 237-248. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0009-9>
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., & Cabrera, JA. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97.
- Real Decreto Nº 506/2013. Sobre productos fertilizantes. (10 de julio de 2013). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506>
- Reines, A.M.; Rodríguez, A.C.; Sierra, P.A., & Vázquez, G.M.M. (1998). *Lombrices de tierra con valor comercial: Biología y técnicas de cultivo*. Universidad de Quintana Roo.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencia en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Shintani, M., Leblac, H., & Tabora, P. (2000). *Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos*. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Humedad [EARTH].
- Singh, N., & Chauhan, J. (2009). Response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to organic manures and inorganic fertilizer on growth and yield parameters under irrigated condition. *Nature and Science*, 7(5), 52-54. <https://doi.org/10.15740/HAS/TAJH/9.2/386-389>

- Sinha, R.K., Hahn, G., Soni, B.K., & Agarwal, S. (2014). Sustainable agriculture by vermiculture: Earthworms and vermicompost can ameliorate soils damaged by agrochemicals, restore soil fertility, boost farm productivity and sequester soil organic carbon to mitigate global warming. *International Journal of Agricultural Research and Review*, 2(8), 99–114.
- Siqueira, A., & Siqueira, M. (2013). *Bokashi: adubo orgânico fermentado*. Programa Rio Rural. <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/adubacao/livros/BOKASHI%20-%20ADUBO%20ORGANICO%20FERMENTADO.pdf>
- Srivastava, P.K., P.C. Singh, M. Gupta, A. Sinha, A. Vaish, A. Shukla, N. Singh, & Tewari. S.K. (2011). Influence of earthworm culture on fertilization potential and biological activities of vermicomposts prepared from different plant wastes. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 174(3), 420-429. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000174>
- Tenecela, X. (2012). *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos* [Tesis de Bachiller, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3252>
- Wang, X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y., & Yang, L. (2017). Vermicompost Improves Tomato Yield and Quality and the Biochemical Properties of Soils with Different Tomato Planting History in a Greenhouse Study. *Frontiers in Plant Science*, 8,1978. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01978>
- Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97(15), 1870-1875. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.011>



Instituto Nacional de Innovación Agraria



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.gob.pe/inia



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

ISBN: 978-9972-44-110-3



9 789972 441103