



Recomendaciones de manejo de residuos orgánicos

Equipo modular de lombricompostaje

Mauricio Camelo Rusinque | Iván Edilberto Chacón Garzón
Andrea Paola Clavijo Gutiérrez | Nadia Yurany Luque Sanabria
Mauricio Soto Suárez | Edwin Andrés Villagrán Munar
Andrea del Pilar Villarreal Navarrete | Andrea Paola Zuluaga Cruz

AGROSAVIA
EDITORIAL

Recomendaciones de manejo de residuos orgánicos

Equipo modular de lombricompostaje

Mauricio Camelo Rusinque | Iván Edilberto Chacón Garzón
Andrea Paola Clavijo Gutiérrez | Nadia Yurany Luque Sanabria
Mauricio Soto Suárez | Edwin Andrés Villagrán Munar
Andrea del Pilar Villarreal Navarrete | Andrea Paola Zuluaga Cruz

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Recomendaciones de manejo de residuos orgánicos: equipo modular de lombricompostaje./
Mauricio Camelo Rusinque [y otros siete] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2023.

84 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)

Incluye referencias, gráficos y tablas.

ISBN e-Book: 978-958-740-614-6

1. Tomate 2. Lombriz de tierra 3. Residuos orgánicos 4. Compost 5. Fertilidad del suelo
6. Aplicación de abonos 7. Control de enfermedades de plantas.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación Tibaitatá, km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación se deriva del macroproyecto “Desarrollo de un modelo de manejo integrado del sistema productivo de tomate bajo condiciones protegidas que contribuya a mejorar la inocuidad y sostenibilidad del cultivo”, y contó con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) para la compilación de información y revisión.

Colección Prácticas Agropecuarias

Tipología: Manual

Primera edición digital: Mayo 2023

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2022

Fecha de evaluación: 11 de marzo de 2022

Fecha de aceptación: 15 de julio de 2022

editorial@agrosavia.co

Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Jorge Enrique Beltrán

Corrección de estilo: Amalia Tapiero

Diseño y diagramación: Mónica Cabiati Daza

Ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado

Citación sugerida: Camelo Rusinque, M., Chacón Garzón, I. E., Clavijo Gutiérrez, A. P., Luque Sanabria, N. Y., Soto Suárez, M., Villagrán Munar, E. A., Villarreal Navarrete, A. P., & Zuluaga Cruz, A. P. (2023). *Recomendaciones de manejo de residuos orgánicos. Equipo modular de lombricompostaje*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406146>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Contenido

5 Agradecimientos

6 Introducción

10 Capítulo 1. Fertilización y uso de enmiendas agrícolas

ANDREA DEL PILAR VILLARREAL NAVARRETE, MAURICIO CAMELO RUSINQUE

11 Toma de muestras y análisis de suelos

15 Enmiendas agrícolas

19 Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate
(*Solanum lycopersicum*)

23 Actualidad de la fertilización de cultivos de tomate bajo
condiciones protegidas en Colombia

24 Adopción de los análisis de suelo en sistemas de tomate
bajo condiciones protegidas en Colombia

25 Uso de enmiendas en el cultivo de tomate bajo
condiciones protegidas en los departamentos de
Cundinamarca, Antioquia y Boyacá

28 Capítulo 2. Compostaje y lombricompostaje

NADIA LUQUE SANABRIA, MAURICIO CAMELO RUSINQUE,
ANDREA DEL PILAR VILLARREAL NAVARRETE

28 El compostaje y sus beneficios en la agricultura

30 Fases del proceso de producción del compostaje

30 Parámetros para tener en cuenta durante
el proceso de compostaje

32 Métodos de compostaje

35 Lombricompostaje

43	Capítulo 3. Módulos de lombricompostaje con residuos de cosecha de tomate NADIA LUQUE SANABRIA, ANDREA PAOLA CLAVIJO, IVÁN EDILBERTO CHACÓN, EDWIN ANDRÉS VILLAGRÁN
44	Sección de precompostaje
47	Sección de lombricompostaje
48	Funcionamiento del módulo
52	Recomendaciones de mantenimiento del módulo de lombricompostaje
54	Capítulo 4. Uso de abonos orgánicos para la fertilización y el control de enfermedades con base en la experiencia de AGROSAVIA ANDREA PAOLA CLAVIJO, ANDREA PAOLA ZULUAGA, MAURICIO SOTO SUÁREZ
54	Efecto de la aplicación de materia orgánica de origen animal compostada (gallinaza) sobre la producción de tomate bajo condiciones protegidas
60	Uso de abonos orgánicos para el control de enfermedades del suelo
60	Interacciones entre microorganismos y plantas
61	Mecanismos de supresión de enfermedades de los microorganismos del compost y el lombricompost
64	Evaluación inicial en laboratorio del lombricompostaje y sus componentes para reducir el crecimiento del patógeno <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Fol 59) causante de la marchitez del tomate
72	Glosario
73	Referencias
82	Anexos
83	Autores

Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por financiar el macroproyecto “Desarrollo de un modelo de manejo integrado del sistema productivo de tomate bajo condiciones protegidas que contribuya a mejorar la inocuidad y sostenibilidad del cultivo”. Expresamos nuestro agradecimiento a cada uno de los profesionales que participaron en su ejecución desde diferentes áreas temáticas y entregaron la oferta tecnológica a los productores de tomate bajo condiciones protegidas. Asimismo, agradecemos a los productores de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca que confiaron en este proyecto y elaboraron compost en sus fincas mediante los módulos y la aplicación de las recomendaciones de manejo y toma de datos.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Nacional de Colombia y al profesor Jairo Leonardo Cuervo, quien nos asesoró en las técnicas de compostaje y orientó el diseño del módulo de lombricompostaje. También agradecemos a la zootecnista Ángela Sandoval por su asesoría en el proceso y la ejecución de los talleres de compostaje.



Introducción

El presente manual reúne los conocimientos sobre el manejo de residuos orgánicos y su potencial aplicación en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, así como las recomendaciones de uso del equipo modular de lombricompostaje obtenidas en la ejecución del macroproyecto “Desarrollo de un modelo de manejo integrado del sistema productivo de tomate bajo condiciones protegidas que contribuya a mejorar la inocuidad y sostenibilidad del cultivo”. El objetivo principal del macroproyecto fue desarrollar y validar un modelo de manejo integrado del sistema para incrementar la inocuidad y la sostenibilidad socioeconómica y ambiental del cultivo de tomate.

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los sistemas productivos priorizados por la red de innovación de hortalizas y plantas aromáticas de AGROSAVIA, pues es uno de los alimentos más consumidos y producidos. En el mundo, se cultivan más de 241 millones de toneladas (t) y en Colombia, para el año 2021, se registraron 18.996,2 hectáreas (ha) productivas de tomate, con una producción de 851.177,18 t, lo que significó rendimientos de 37,22 t/ha en promedio (Agronet, 2022). Aunado a esto, la tendencia nacional del mercado de tomate es creciente, lo que ha representado un aumento en la producción de casi 30.000.000 t en los últimos 10 años (Food and Agriculture Organization [FAO], 2023).

Dentro del macroproyecto citado, se desarrollaron dos proyectos en los que se diseñó y validó el módulo de lombricompostaje y la aplicación potencial de lombricompostado en cultivos de tomate bajo condiciones protegidas. Así, el proyecto de manejo integrado de fertilización incluyó estrategias ecológicamente responsables para reducir el uso fertilizantes de síntesis química y el proyecto de manejo integrado de plagas y enfermedades contempló el uso de biocontroladores, bioplaguicidas, biomoléculas activadoras de resistencia, compuestos orgánicos, extractos vegetales, compostaje y prácticas culturales para reducir el uso de plaguicidas convencionales. El reconocimiento de limitantes en el sistema productivo de tomate bajo condiciones protegidas partió del levantamiento de una línea base de información primaria en los tres principales departamentos productores de Colombia (Antioquia, Boyacá y Cundinamarca). Allí se visitaron en total 14 municipios en los cuales se encuestó a 222 productores sobre algunos aspectos socioeconómicos, de manejo del cultivo y de buenas prácticas agrícolas (BPA).

Se encontró que los cultivos no se fertilizan adecuadamente debido a que algunos agricultores, aun teniendo acceso a los análisis de suelo y sus resultados, no contemplan las recomendaciones realizadas por el laboratorio, no cuentan con la asesoría de un asistente técnico o desconocen el proceso para realizar los respectivos análisis de suelo. En cuanto al manejo de plagas y enfermedades, la práctica de control más frecuente es la aplicación de agroquímicos de toxicidad moderada. En suma, aún falta conocimiento sobre la implementación de buenas prácticas agrícolas.

En Colombia, la producción de tomate suele realizarse en sistemas que no aseguran la inocuidad del producto y que, además, afectan negativamente la rentabilidad del cultivo. Esta situación se presenta principalmente por desconocimiento, pues los fertilizantes y plaguicidas sintéticos se aplican inadecuadamente y en exceso, lo cual repercute en la contaminación y degradación de los suelos, y, por lo tanto, afectan al medio ambiente, la salud humana y los productos (Damian et al., 2018).

Cabe destacar que el manejo agronómico del cultivo de tomate requiere aplicaciones frecuentes de productos químicos para fertilizar y controlar plagas y enfermedades. Según datos de la FAO (2023), las aplicaciones de plaguicidas en Colombia para el 2020 fueron de 4,27 kg/ha, mientras que el promedio mundial fue de 1,81 kg/ha. Para este mismo periodo, los reportes de aplicación de fertilizantes en Colombia mostraron que, en general, las aplicaciones en este país son mayores a las del resto del mundo. Dicho brevemente, en Colombia se aplican cerca de 78,19 kg/ha de fertilizantes fosfatados: valor superior a los 74,98 kg/ha que se aplican en promedio en el mundo (FAO, 2023). Esta misma tendencia se mantiene en las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y potásicos. Según estos datos, Colombia se encuentra dentro de los 50 países que más usan productos químicos para fertilizar los cultivos (FAO, 2023).

Dentro de las estrategias de manejo de AGROSAVIA, destaca el uso de enmiendas orgánicas compostadas. Estas aportan nutrientes a las plantas dentro de los planes de fertilización y activan sus sistemas de defensa frente a diversas enfermedades y plagas gracias a los microorganismos benéficos, los cuales combaten los agentes causales de dichas enfermedades. Así, las enmiendas orgánicas —mediante las cuales se aprovechan los residuos de las actividades agropecuarias— son una tecnología sostenible que puede aumentar la rentabilidad del cultivo, mejorar su fertilidad y contribuir a la conservación del medio ambiente (Damian et al., 2018).



Este manual es producto de la investigación del equipo de trabajo de AGROSAVIA en colaboración con algunos productores de tomate bajo condiciones protegidas de los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca. El presente documento ofrece criterios básicos sobre la aplicación de compost y lombricompost en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas y consideraciones para su elaboración.

El manual está dividido en 4 capítulos. El primer capítulo lo componen recomendaciones básicas para la fertilización y el uso de enmiendas orgánicas con énfasis en su utilización durante los planes de manejo de fertilidad en cultivos de tomate. En el capítulo 2 se describen conceptos relacionados con el compostaje y el lombricompostaje. En el capítulo 3 se presenta la oferta tecnológica del equipo de lombricompostaje para el aprovechamiento de residuos vegetales de pequeños y medianos productores, su diseño y algunas consideraciones para su construcción y uso. Finalmente, en el capítulo 4 se incluyen resultados preliminares de las experiencias de investigación de AGROSAVIA relacionadas con la disminución de la fertilización química en cultivos de tomate bajo condiciones protegidas gracias a la incorporación de compostajes dentro del sistema de manejo integrado de fertilización. A su vez, se muestra el potencial del lombricompostaje para controlar las enfermedades del cultivo de tomate.

Los resultados de esta investigación contribuyen a la formulación de estrategias de manejo rentables y sostenibles para generar paquetes tecnológicos que resuelvan diferentes problemáticas del sistema productivo. El objetivo es que pequeños y medianos productores apliquen estas ofertas tecnológicas para mejorar la calidad de sus productos. La oferta tecnológica (OT) presentada en este manual es el equipo de lombricompostaje para el aprovechamiento de residuos vegetales de pequeños y medianos productores diseñado por AGROSAVIA. El objetivo de esta OT es aprovechar los residuos de la finca para promover una fertilización sostenible y disminuir la presión de plagas y enfermedades, cuyo origen, en la mayoría de los casos, es el mal manejo de los residuos. De esta forma, los agricultores producirán un bioinsumo en la finca para incrementar rendimientos, disminuir costos y asegurar un adecuado manejo fitosanitario del cultivo.

El documento es un material de consulta dirigido principalmente a productores, asistentes técnicos y estudiantes involucrados en la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas o a libre exposición con la intención de incluir en sus sistemas productivos la elaboración y aplicación de compost y lombricompost como

estrategia de manejo integrado de los cultivos para mitigar el impacto ambiental y económico. Asimismo, el presente documento se considera un medio de divulgación de la oferta tecnológica del equipo de lombricompostaje para el aprovechamiento de residuos vegetales de pequeños y medianos productores. Con esta oferta tecnológica y las consideraciones plasmadas en este manual, se espera contribuir al fortalecimiento de los sistemas productivos hortícolas y la calidad de vida de la población rural.



Capítulo 1

Fertilización y uso de enmiendas agrícolas

ANDREA DEL PILAR VILLARREAL NAVARRETE, MAURICIO CAMELO RUSINQUE

Para el manejo integrado de la fertilidad de un sistema productivo deben tenerse en cuenta los conceptos de fertilidad y nutrición y las diferencias entre un fertilizante y una enmienda agrícola. La fertilidad en los sistemas agrícolas es la capacidad que tiene el suelo de aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual mejora el rendimiento de los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018). Por su parte, la nutrición es el proceso mediante el cual las plantas asimilan los nutrientes necesarios para el crecimiento y el mantenimiento de sus funciones vitales (Arévalo & Castellano, 2009).

Es necesario aclarar que un fertilizante es el resultado de una mezcla química, natural o sintética, con elementos que nutren los cultivos y enriquecen el suelo con nutrientes. En cambio, las enmiendas agrícolas mantienen o mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, contribuyen a la asociación de las plantas con el recurso suelo y, de esta manera, aumentan el rendimiento en los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009). Asimismo, cabe destacar que las enmiendas pueden producirse a partir de productos químicos u orgánicos, de lo cual depende su clasificación, como se especifica más adelante. Aclarados estos conceptos, el propósito de los planes de fertilización es mantener la fertilidad del suelo a un nivel adecuado para que las plantas absorban los nutrientes necesarios y devolver al sistema los elementos extraídos durante el ciclo de cultivo (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018).

Como su nombre lo indica, la fertilización consiste en la utilización de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que potencian la producción de los cultivos. Esta práctica

incluye el uso de enmiendas, la rotación de cultivos y la implementación de prácticas de labranza de acuerdo con las condiciones del terreno, entre otras estrategias. La fertilización debe garantizar que el cultivo extraiga la mínima cantidad de nutrientes de las reservas del suelo para conservar sus propiedades físicas y químicas (Arévalo & Castellano, 2009; Damian et al., 2018) y mantener un balance entre los elementos del suelo y las plantas. La mala implementación de estas técnicas puede degradar el suelo por cambios en su estructura, por pérdida de nutrientes y por salinización o acidificación (Damian et al., 2018), factores que ponen en riesgo la sostenibilidad ambiental para el desarrollo del sistema productivo.

Así pues, el análisis de suelos es parte esencial de un programa de manejo agronómico, ya que permite conocer la fertilidad del suelo donde se realiza el cultivo, monitorear la disponibilidad de nutrientes a través del tiempo y diseñar un plan adecuado de fertilización. De esta manera se podrá optimizar el uso de fertilizantes, definir el tipo de enmiendas a utilizar y predecir potenciales problemas nutricionales (Román et al., 2013). Con esta actividad el productor asegura la inversión en el cultivo y alcanza el rendimiento deseado.

Toma de muestras y análisis de suelos

La eficacia del uso de los resultados de un análisis de suelos depende en gran medida de la toma adecuada de la muestra de suelo del cultivo. Esta debe ser representativa del lote, por lo que se recomienda que se tome una muestra por cada hectárea de terreno, compuesta por entre 15 y 20 submuestras de suelo (Arévalo & Castellano, 2009).

Para tomar la muestra de suelo se necesitará una pala o barreno, un azadón, un balde y bolsas plásticas. Cabe destacar que los utensilios utilizados para la toma de la muestra deben estar bien lavados. Teniendo los elementos listos, el muestreo de suelos para el análisis inicia definiendo el patrón de muestreo en el lote. Este patrón es una línea imaginaria en zigzag, en cuadrícula o lineal, que cubre todo el terreno. En cada punto de muestreo debe retirarse totalmente la vegetación y hojarasca que cubre la capa superficial del suelo con ayuda de un azadón. En caso de utilizar una pala para coleccionar la porción de suelo, se debe cavar un hoyo en forma de V del ancho de la herramienta a una profundidad de 10 a 40 cm dependiendo del desarrollo radical del cultivo a establecer. Posteriormente, se debe cortar una porción de suelo de 2 a 5 cm de grueso en la pared del hueco y eliminar la tierra de

los dos lados del corte. Las muestras se depositan en un balde o costal limpio para mezclar las submuestras (Arévalo & Castellano, 2009; Múnera, 2012) (figura 1.1). Si se utiliza un barreno, la herramienta limpia se debe enterrar a la profundidad deseada y la muestra colectarse directamente del instrumento.

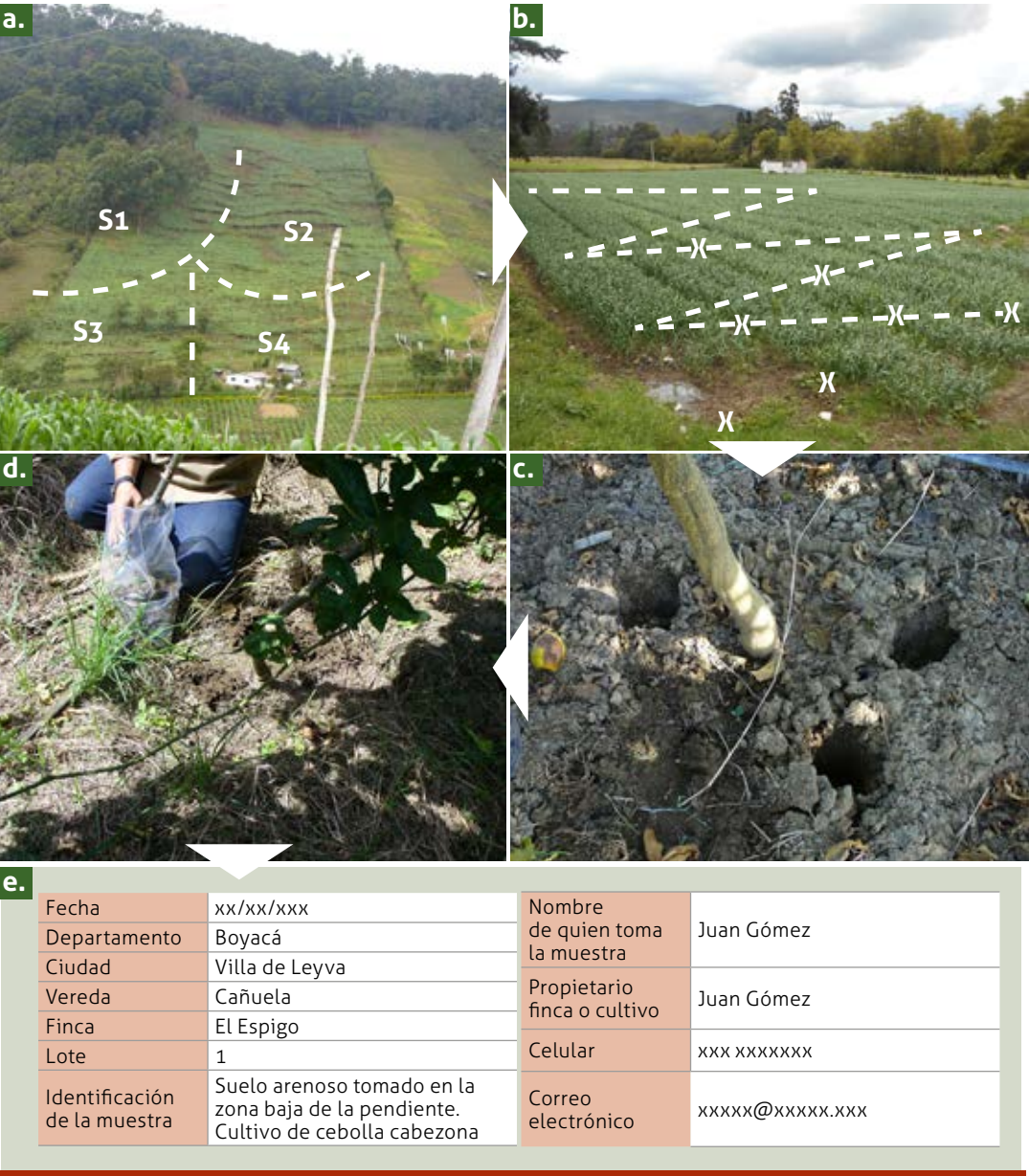


Figura 1.1. Proceso para la toma de muestras de suelo. a. División del lote por diferencias topográficas, de vegetación o características especiales del terreno; b. Recorrido imaginario y puntos de muestreo (señalados con X en la fotografía). c. Toma de submuestras de suelo. d. Mezcla de submuestras. e. Propuesta de etiquetado.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Andrea del Pilar Villarreal Navarrete

Después de mezclar las submuestras, se toma una cantidad aproximada de 2 kg de suelo en una bolsa plástica limpia marcada con la información del propietario del lote o cultivo, el nombre de la finca o la dirección, la identificación del lote al que corresponde la muestra, la vereda, el municipio y el departamento (Múnera, 2012). Al momento de recepción de la muestra, el laboratorio de análisis solicitará otros datos complementarios y específicos del cultivo para realizar la correspondiente recomendación de fertilización. Asimismo, se debe enviar una muestra por cada porción de lote que muestre variaciones importantes, por ejemplo, cambios en la topografía, la humedad o el tipo de vegetación. Las muestras de suelo pueden conservarse a temperatura ambiente, protegidas de la humedad. Igualmente, se recomienda tomar la muestra de suelo dos meses antes de sembrar para asegurar la disponibilidad de los resultados y la ejecución del plan de fertilización antes del establecimiento del cultivo.

Interpretación de los análisis de suelo

A continuación, se pone a disposición de los lectores una guía para interpretar los análisis químicos de suelos.

Tabla 1.1. Guía de interpretación general de un análisis químico de suelos

Reacción del suelo pH			
< 3,5	Ultra ácido	6,6 - 7,3	Neutro
3,5 – 4,5	Extremadamente ácido	7,4 - 7,8	Ligeramente alcalino
4,5 – 5	Muy fuertemente ácido	7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino
5,1 -5,5	Fuertemente ácido	8,5 -9,0	Fuertemente alcalino
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido	> 9,0	Extremadamente alcalino
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido		

Carbono orgánico (Walkey Black)

Clima	Unidad	Bajo	Medio	Ideal	Alto
Frío	%	< 2,9	3,0 - 5,7	5,8 - 7,0	> 7,0
Medio	%	< 1,7	1,8 - 2,9	3,0 - 4,0	> 4,0
Cálido	%	< 1,1	1.2 - 2.3	2.4 - 2.5	> 2.5

Materia orgánica = carbono orgánico x 1,72

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
P (Bray II)	ppm (mg/Kg)	< 15	15 - 25	25 - 40	> 40

S (SO ₄)	ppm (mg/Kg)	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
CICE		< 5	5 - 10	15 - 20	> 20

Cationes intercambiables (acetato de amonio 1N, absorción atómica)

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
K	cmol/kg	< 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	> 0.4
Ca	cmol/kg	< 3,0	3 - 5	5 – 10	> 10
Mg	cmol/kg	< 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,0	> 3
Na	cmol/kg			< 1,0	> 1
Al (KCl 0,1 N)	cmol/kg			< 1,0	> 1

Saturación de cationes

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
Al	%			< 20	> 20
K	%	< 3.0	3 - 4	4 - 5	> 5
Ca	%	< 50	50 - 60	60 - 70	> 70
Mg	%	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Na	%		5 - 7	>5	> 15

Elementos menores (Olsen/AA)

Parámetro	Unidad	Deficiente	Medio	Ideal	Exceso
Fe	ppm (mg/kg)	< 20	20 - 50	50 - 100	> 100
Mn	ppm (mg/kg)	< 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Cu	ppm (mg/kg)	< 1	1 - 2	2 - 3	> 3
B	ppm (mg/kg)	< 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.6	> 0,6
Zn	ppm (mg/kg)	< 2	2 - 3	3 - 4	> 4

Salinidad y sodicidad

Parámetro	Unidad	Normal	Salino	Sódico	Salino sódico
CE	DS/M	< 2	> 4	< 4	> 4
Na	%	< 5	< 7	> 7	> 7

Fuente: Elaboración propia con base en Gómez (2006)

La interpretación de los resultados del análisis de suelos permite determinar las necesidades de fertilización de los cultivos. Por lo general, cada laboratorio envía los resultados con el rango de interpretación del contenido de nutrientes del suelo. Sin embargo, existen criterios generales para interpretar un análisis de suelo, los cuales se resumen en la tabla 1.1. Cabe destacar que la interpretación de los resultados del análisis y el diseño del plan de fertilización debe realizarse con el asistente técnico.

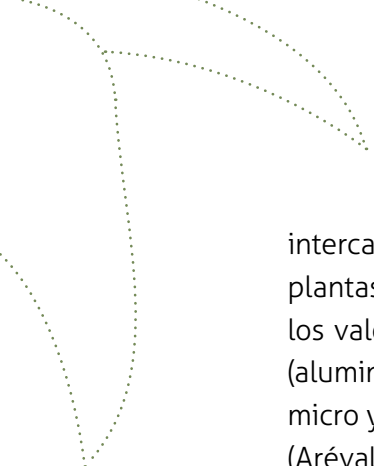
A continuación, se presentan algunos términos para tener en cuenta durante la interpretación de los resultados de los análisis de suelos.

- **pH:** indica la acidez o alcalinidad del suelo (Múnera, 2012). El nivel de pH promedio en el cual todos los nutrientes están disponibles para ser absorbidos por las plantas oscila entre 5,7 y 6,5 (Arévalo & Castellano, 2009).
- **Materia orgánica:** la materia orgánica es el resultado de la descomposición de los residuos orgánicos. Se calcula con base en la cantidad de carbono orgánico de la muestra de suelo (Arévalo & Castellano, 2009).
- **Disponibilidad de nutrientes:** los nutrientes minerales para las plantas no están disponibles en su totalidad en el suelo, por lo cual es necesario conocer en qué proporción se encuentran los elementos en su forma disponible teniendo en cuenta que los contenidos totales de nutrientes muestran las formas solubles e insolubles (Múnera, 2012). Los resultados de los análisis de suelos muestran las cantidades de nutrientes disponibles en la muestra.
- **Conductividad Eléctrica (ce):** este es un valor que indica la salinidad del suelo, con lo cual se puede definir el manejo que debe dársele al agua de riego, las fuentes de fertilizantes y el tipo de material vegetal a sembrar.
- **Textura:** determina la cantidad de las partículas minerales del suelo, las cuales le confieren sus diferentes propiedades fisicoquímicas. Permite elegir cuál es la mejor estrategia de riego e indica cuál es la capacidad de retención de nutrientes del suelo. Estas características permiten definir qué elementos deben ser aportados, en qué dosis y qué forma química de aplicación es la más recomendable (Múnera, 2012).

Enmiendas agrícolas

El uso de enmiendas en la agricultura es una práctica que se está popularizando para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos naturales y mitigar el impacto ambiental generado en la producción primaria, exigencia de consumidores y gobiernos. La aplicación de enmiendas mejora las propiedades del suelo, además de ser un complemento al aporte de las fuentes inorgánicas incluidas en los planes de fertilización (Carrasco et al., 2012).

El uso de enmiendas tiene como objetivo mejorar las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos, dentro de las que destacan: el aumento de la capacidad de retención de agua, el mejoramiento de la estructura y de la capacidad de



intercambio catiónico (CIC), el incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, el mejoramiento de la aireación para el desarrollo de las raíces, el ajuste de los valores de pH, la neutralización de algunos elementos que pueden ser tóxicos (aluminio, hierro, manganeso o metales pesados), el aumento de la diversidad de micro y macroorganismos y la supresión de algunos microorganismos fitopatógenos (Arévalo & Castellano, 2009; Cuervo et al., 2016; Damian et al., 2018; Delgado, 2017; García, 2008; Jaramillo et al., 2013; Peña et al., 2002; Pérez et al., 2008).

Sin embargo, el mal uso de las enmiendas orgánicas por tratamientos inadecuados en su preparación y las dosis altas o inapropiadas pueden convertir este complemento de la fertilización en una fuente de contaminación de los recursos aire, suelo y agua superficial y subterránea (Carrasco et al., 2012). Esto se debe, principalmente, al aporte de metales pesados, microorganismos patógenos y exceso o deficiencia de nutrientes y salinidad (García, 2008), lo cual hace necesario mejorar la selección y el tratamiento de los residuos o enmiendas y el plan de fertilización.

En la literatura hay varias clasificaciones de enmiendas agrícolas de acuerdo con su composición o su origen, aunque la principal diferenciación que debe hacerse es entre enmiendas orgánicas y químicas. Las enmiendas orgánicas son producto de diversas actividades agropecuarias: pueden ser compostadas o no compostadas y pueden ser de origen animal, vegetal o mixto. Las enmiendas químicas tienen su origen en productos minerales como rocas calizas y fosfóricas, entre otras (Damian et al., 2018).

La composición química de las enmiendas orgánicas y su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo varían de acuerdo con las materias primas usadas, el proceso de elaboración, la duración del proceso, la actividad biológica y el tipo de materiales que se utilicen (Pérez et al., 2008).

De acuerdo con su composición, las enmiendas químicas pueden clasificarse en: fuentes simples (cal agrícola, cal dolomita, roca fosfórica, silicato de magnesio (Mg) y yeso agrícola); enmiendas a las que a través de un proceso industrial se les confiere un adecuado balance de bases y una mayor efectividad (cal viva, cal apagada, dolomita calcinada, sulfato de Mg, yeso químico y mezclas orgánico minerales) y enmiendas que proporcionan un doble beneficio, pues nutren a las plantas y corrigen el suelo (termofosfatos, óxidos de Mg y enmiendas específicas con mezclas de productos minerales y químicos).

Dentro de las enmiendas orgánicas se incluye un grupo muy variado de mezclas como compost, lombricompost y preparados como el bocashi —un abono orgánico producto de un proceso de fermentación que acelera la degradación de la materia orgánica animal y vegetal en menor tiempo que el compostaje tradicional, entre 12 y 21 días— (Arévalo & Castellano, 2009; Pérez et al., 2008).

Las enmiendas orgánicas como el compost se obtienen por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos (vegetales y animales), proceso realizado naturalmente por microorganismos termófilos, es decir, que crecen a altas temperaturas (entre 40 y 70 °C). En general, los residuos orgánicos deben ser tratados para evitar la pudrición por exceso de agua, la cual impide la aireación u oxigenación y genera malos olores (Arévalo & Castellano, 2009). El manejo adecuado de los materiales para el compost y la técnica de compostaje se presentan en el segundo capítulo de este manual.

Las enmiendas compostadas se dividen en dos categorías: las que requieren calor, como el compostaje tradicional, y las que no, como el lombricompostaje. El lombricompostaje nunca supera la temperatura ambiental y consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de la lombriz (*Eisenia foetida*) y los microorganismos mesófilos, los cuales crecen entre 20 y 40 °C (Jack & Thies, 2006). Tras alimentarse de la materia orgánica, las lombrices la transforman en humus, una fuente de nutrientes para las plantas y la micro- y macrofauna presentes en el suelo (Arévalo & Castellano, 2009).

El bocashi es un abono orgánico fermentado elaborado a base de desechos vegetales y animales (generalmente secos). Al igual que el compostaje, la técnica se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos a temperaturas controladas realizados por microorganismos. Sin embargo, el proceso de descomposición no es completo y se obtienen productos estabilizados que pueden ser usados como enmiendas en la preparación del suelo para el cultivo. El bocashi es usado para activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo y proporcionar nutrientes a los cultivos (Arévalo & Castellano, 2009; Pérez et al., 2008).

Dentro de las sustancias no compostadas que suelen usarse como enmiendas, destacan los extractos húmicos y de alga, el biocarbón, los desechos orgánicos o las partes de plantas sin compostar. También se usan sustancias de origen animal como emulsiones de pescado, desechos cárnicos, sangre y huesos (Stewart-Wade, 2019).



Aporte nutricional de las enmiendas a los cultivos

Como se mencionó anteriormente, el principal aporte de las enmiendas orgánicas es su capacidad para ajustar el pH, la aireación y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. Estos factores mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas. El contenido nutricional de una enmienda se divide en una fracción orgánica y una soluble o disponible para ser absorbida por las plantas. La forma orgánica es transformada a formas solubles a través de la mineralización realizada por los microorganismos presentes en el suelo (Hirzel & Salazar, 2011).

La composición nutricional de las enmiendas depende de varios factores como el origen de los residuos animales usados en la producción de la enmienda (especie, raza, dieta suministrada), el manejo y las condiciones de almacenamiento de estos residuos y su tratamiento, entre otros. Por esta razón, se recomienda caracterizar la enmienda antes de utilizarla para estimar el aporte real de nutrientes al suelo y, de esta manera, definir el plan de fertilización a implementar complementándolo con fertilizantes inorgánicos (Hirzel & Salazar, 2011).

Recomendaciones para la aplicación de enmiendas orgánicas

El manejo de enmiendas incluye un análisis previo de suelos para establecer la cantidad de macro y micronutrientes del suelo y otras características fisicoquímicas y así seleccionar el tipo de enmienda a utilizar, la dosis y la forma de aplicación. Este proceso es similar a la definición del plan de fertilización química, el cual depende de los requerimientos nutricionales de cada cultivo.

Teniendo en cuenta que las enmiendas agrícolas son usadas principalmente como acondicionadores de suelo y que la importancia del aporte nutricional es clave en los balances generados sobre el pH, para hacer más eficiente el uso de las enmiendas y reducir el riesgo de contaminación ambiental, se sugiere aplicar las enmiendas de manera previa a la siembra del cultivo (7 a 15 días antes) e incorporar el producto en el suelo. De esta forma, se reducen los daños en las semillas y plántulas por acumulación de sales y los posibles cambios en la temperatura de la enmienda, pues estos materiales continúan sus procesos de transformación biológica en el suelo. Esta aplicación anticipada permite balancear el pH, mejorar la actividad microbiana de los suelos y, por ende, mejorar la disponibilidad de nutrientes en el cultivo.

Dosis de aplicación de enmiendas

El manejo de la fertilidad en los cultivos implica calcular las dosis de aplicación de fertilizantes inorgánicos y de enmiendas orgánicas, los rendimientos esperados de los cultivos, la capacidad de aporte del suelo, la rotación de cultivos previa y las aplicaciones de residuos orgánicos y fertilizantes en años anteriores.

Para establecer las dosis de las enmiendas orgánicas a aplicar, se debe considerar la composición nutricional de cada enmienda. Debido a los riesgos de contaminación ambiental que acarrearán los desbalances de nitrógeno (N) y fósforo (P) y a la sensibilidad de las plantas ante estos dos nutrientes, la dosis de la enmienda se debe determinar en función de estos elementos, de acuerdo con las necesidades nutricionales de cada cultivo. De esta forma, se puede trabajar con un sistema de fertilización combinada que permita la utilización de ambas fuentes nutricionales (enmiendas orgánicas y fertilizantes convencionales).

Requerimientos nutricionales del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de varios factores ambientales, incluyendo la luz, el agua, el CO₂ y los nutrientes minerales, cuyos requerimientos son diferentes para cada especie vegetal. La disponibilidad de elementos nutritivos esenciales en tomate garantiza el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo. Los elementos considerados esenciales para las plantas se dividen en macronutrientes (carbono, C; oxígeno, O; hidrógeno, H; nitrógeno, N; fósforo, P; potasio, K; calcio, Ca) y micronutrientes (azufre, S; magnesio, Mg; hierro, Fe; boro, B; manganeso, Mn; cobre, Cu; zinc, Zn; molibdeno, Mo y cloro Cl) (Arévalo & Castellano, 2009; Azcón & Talón, 2008).

Las plantas de tomate requieren muchos nutrientes y la extracción y acumulación de estos aumenta a medida que avanza el desarrollo de la planta, por lo cual la floración y la fructificación son las etapas más críticas para la absorción de nutrientes. La absorción de P y S por parte de la planta se establece durante el ciclo de vida. Por su parte, la absorción de N, K, Ca y Mg incrementa intensamente a partir de la floración y hasta el inicio de la maduración de los frutos (el K es el elemento más demandado) (73 %) (Jaramillo et al., 2007).

Los balances nutricionales, principalmente de N y K, deben mantenerse durante el ciclo de vida de la planta. Desde el establecimiento del cultivo hasta la floración, la relación de N y K debe ser 1:1. Cuando comienza el llenado del fruto, se requiere una cantidad mayor de K para la maduración y el llenado, así que la relación debe mantenerse en 1:2 o 1:3. El exceso de N puede llevar a un desarrollo vegetativo abundante con bajo porcentaje de formación de frutos (Jaramillo et al., 2013).

El K debe ser suministrado con especial cuidado en el cultivo ya que es antagonista del Ca: un exceso de K afecta negativamente los contenidos de Ca e induce problemas principalmente durante la poscosecha. En el caso del P, el cultivo de tomate no es muy exigente en su absorción. Sin embargo, es importante para aumentar el desarrollo radicular. Es común encontrar altas concentraciones de este mineral en los suelos de las zonas productoras de tomate en Colombia, pero dada su baja movilidad en el suelo y la fijación en arcillas coloidales abundantes en estas zonas del país, ocasionalmente aparecen plantas de tomate con deficiencias de P.

Ahora bien, el cálculo de la dosis de fertilizantes y la etapa del cultivo en la que deben aplicarse depende de las recomendaciones del asistente técnico, quien revisa los análisis de suelo y los requerimientos del cultivo.

En la tabla 1.2 se resumen las principales funciones de los nutrientes en las plantas y los síntomas de deficiencia asociados a estos con énfasis en las plantas de tomate.

Tabla 1.2. Principales funciones de los nutrientes en las plantas y los síntomas de deficiencia

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Nitrógeno (N)	Componente esencial de aminoácidos, proteínas, enzimas, clorofila, ADN y ARN. Estimula el crecimiento de la planta. Contribuye a la formación de frutos y granos.	Alargamiento de tallos y hojas delgadas y erguidas. Primeros síntomas en hojas maduras. Debilidad en tejidos y cambios de color en las hojas (clorosis). Crecimiento de la raíz disminuye. Con deficiencia severa toda la planta se vuelve amarilla o verde pálido y puede presentarse aborto floral y frutos pequeños.

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Fósforo (P)	Participa en procesos como fotosíntesis, respiración y transferencia de energía. Constituye coenzimas, ADN y ARN. Hace parte del ATP. Promueve el crecimiento y el desarrollo radical. Ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades.	Hojas y tallos maduros de color verde oscuro o morado y muy delgados. Las hojas pueden enrollarse. Desarrollo lento y retrasos en la floración. Pobre sistema radical. Susceptibilidad a plagas y enfermedades.
Potasio (K)	Importante en fotosíntesis, transporte de carbohidratos y síntesis de proteínas. Participa en osmorregulación y potencial de membrana. Importante en el llenado, firmeza, maduración y calidad del fruto.	Clorosis marginal e intervenal que se manifiesta en la coloración bronce de las hojas, que luego se necrosan. Enrollamiento en hojas maduras. Entrenudos cortos. Sistema radical pobre. Baja tolerancia a estrés biótico y abiótico. Limita apertura estomática e intercambio de gases. Maduración irregular de frutos y reducción en su calidad.
Calcio (Ca)	Hace parte de las paredes celulares. Confiere estructura y permeabilidad. Activa las enzimas amilasa y ATPasa. Favorece el crecimiento de raíces y estimula la actividad microbiana de la rizosfera.	La baja o alta humedad relativa y la temperatura elevada del suelo o el aire inducen las deficiencias en la toma de Ca por parte de la planta. Los síntomas de deficiencia inician en hojas jóvenes con amarillamientos en los bordes y coloración oscura en el envés. Meristemas apicales y yemas deformados o pequeños. Aborto de brotes y flores. Pérdida de turgencia. En los frutos se presenta una pudrición en el extremo apical (culillo).
Magnesio (Mg)	Es el elemento principal de la molécula de clorofila. Actúa como activador de enzimas. Participa en la formación de azúcares, aceites y grasas.	Clorosis intervenal y necrosis que inicia en hojas maduras, las cuales se tornan quebradizas y enrolladas.
Azufre (S)	Parte integral de los aminoácidos cisteína y metionina. Presente en la estructura de las proteínas	Clorosis en las hojas jóvenes. Los tallos y las venas se tornan morados. Menor diámetro y mayor longitud de raíces y tallos. Sistema radical débil y tallos rígidos y quebradizos. Deficiencia similar a la del N, pero se manifiesta en las hojas más jóvenes.
Boro (B)	Importante en translocación de azúcares. Relacionado con desarrollo de pared celular, frutas y semillas. Actúa en diferenciación de tejidos y síntesis de fenoles y auxinas; interviene en la germinación y crecimiento del tubo polínico.	Adelgazamiento de tallos y peciolo. Las hojas jóvenes se vuelven delgadas y con malformaciones. Retraso en la producción de flores y fácil pudrición de frutos.

Elemento	Función en la planta	Síntomas de deficiencia en la planta
Cloro (Cl)	Implicado en la turgencia de la planta y en el crecimiento celular en condiciones de estrés. Ayuda en el metabolismo del N.	Clorosis en hojas maduras. Marchitamiento, reducción del crecimiento y menor transpiración.
Cobre (Cu)	Implicado en la síntesis de clorofila. Constituyente de plastocianina y proteínas de reacciones redox. Participa en síntesis de ADN y ARN. Induce formación de polen viable.	Entrenudos cortos, hojas jóvenes débiles con malformaciones, puntos necróticos y coloraciones oscuras. Reducción en desarrollo radical y en floración y fructificación.
Manganeso (Mn)	Activación de enzimas que participan en respiración, síntesis de proteína y otros procesos como oxidación, reducción e hidrólisis. Está relacionado con la producción de oxígeno durante la fotosíntesis.	Clorosis intervenal las hojas apicales, medias y viejas. La vena central y algunos bordes se mantienen verdes, mientras que el resto de la hoja es amarillo. En casos severos se producen puntos necróticos y caída de hojas. Formación de flores se reduce o se detiene.
Hierro (Fe)	Implicado en la respiración y fotosíntesis a través de la transferencia de electrones y transporte de oxígeno.	Clorosis marginal en hojas terminales que se extiende por la hoja y mantiene las venas verdes. Manchas angulares intervenales y daños con apariencia de quemadura en el margen de las hojas. Disminución del crecimiento y aborto floral.
Molibdeno (Mo)	Implicado en fijación de N, en metabolismo de carbohidratos y en síntesis de ácido abscísico (ABA). Protege las plantas contra factores de estrés; Favorece la formación de polen viable.	Clorosis intervenal que suele confundirse con deficiencia de N. Manchas y enrollamientos en los bordes de las hojas.
Zinc (Zn)	Activación de enzimas involucradas en la síntesis de ADN, ARN, proteínas y algunas hormonas. Interviene en la absorción y uso del agua y algunos nutrientes. Favorece la resistencia a bajas temperaturas.	Crecimiento atrofiado y acortamiento de entrenudos que produce arrosamientos. Hojas pequeñas amarillas o café y con manchas irregulares. Raíces y tallos con malformaciones. Aborto floral.

Fuente: Elaboración propia con base en Azcón & Talón (2008) y Jaramillo et al. (2013)

Los requerimientos del cultivo son calculados con base en un rendimiento promedio de fruta y las curvas de absorción se presentan de acuerdo con esta cifra considerando lo extraído por toda la planta (hojas, tallos y frutas). Para rendimientos promedio de 40 kg/m o 400 t/ha, se presentan los promedios de absorción de nutrientes en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Promedio de absorción de nutrientes de un cultivo de tomate bajo condiciones protegidas

	kg nutriente/ton fruta
N	2,2
P	0,5
K	3,9
Ca	1,6
Mg	0,4
S	0,6

Fuente: Jaramillo et al. (2013)

Para mayor claridad, en la tabla 1.4 se presenta un resumen de los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas de acuerdo con las etapas fenológicas.

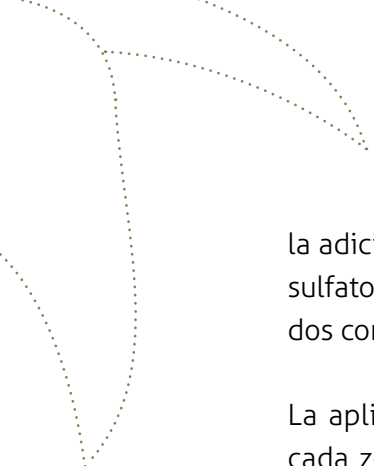
Tabla 1.4. Requerimientos nutricionales por etapa fenológica del cultivo de tomate

Etapas fenológicas	Días después de trasplante	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	CaO (kg/ha)	MgO (kg/ha)	S (kg/ha)
Trasplante – establecimiento	0 – 28	47	34	60	30	25	19
Inicio de floración a formación de fruta	29 – 63	110	33	185	60	40	30
Formación de fruta – plena cosecha	64 – 112	94	33	180	53	35	26
Plena cosecha a término de cosecha	113 – 140	25	0	75	8	0	0
	Total	276	100	500	150	100	75

Fuente: Tjalling (2006)

Actualidad de la fertilización de cultivos de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia

En su mayoría, los cultivos de tomate bajo invernadero en Colombia cuentan con sistemas de fertirriego que se complementan con aplicaciones edáficas o foliares (Jaramillo et al., 2013). En programas de fertirriego es aconsejable usar fertilizantes de alta solubilidad en agua que permitan una rápida absorción de elementos nutritivos. Existen mezclas de elementos que contienen elementos mayores y menores y cuyas formulaciones se han diseñado para suplir las necesidades del cultivo de acuerdo con sus etapas de crecimiento. Estos requerimientos pueden ser suplementados con



la adición de fertilizantes simples como el nitrato de calcio, el nitrato de potasio, el sulfato de potasio, el fosfato monoamónico y el sulfato de magnesio complementados con una solución de micronutrientes que contenga Cu, B, Mo, Mn, Zn y Fe.

La aplicación de enmiendas químicas como la cal depende del pH del suelo de cada zona de cultivo. En Colombia, destaca la aplicación de enmiendas como la cal dolomítica en los departamentos de Cundinamarca y Antioquia, con lo cual se suplen los niveles de Ca y Mg requeridos por el cultivo. Los productores incorporan los demás elementos nutritivos durante la presiembra conforme preparan el terreno con fertilizantes edáficos de lenta liberación o con soluciones nutritivas durante el desarrollo del cultivo por medio del fertirriego.

Los resultados de la línea base levantada en el macroproyecto citado en la introducción de este manual, demostraron que cerca del 93,72 % de los productores de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia no aplican un plan de fertilización y basan sus aplicaciones en conocimientos adquiridos por su experiencia con el cultivo o en sugerencias de agricultores de la región y asistentes técnicos.

Adopción de los análisis de suelo en sistemas de tomate bajo condiciones protegidas en Colombia

El cultivo de tomate en Colombia es un sistema productivo llamativo para las casas comerciales de agroinsumos, las cuales tienen un vínculo estrecho con las oficinas de agricultura municipales. Estas últimas incentivan a los agricultores a realizar análisis de suelos como parte de su plan de manejo de la fertilidad y en algunas ocasiones acompañan el proceso hasta el diseño del plan de fertilización del cultivo. En otros casos, los agricultores tienen en cuenta la recomendación anexa a los resultados del análisis o siguen su propio criterio.

La línea base del cultivo de tomate bajo condiciones protegidas realizada en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Boyacá dio cuenta de los bajos niveles de adopción de la práctica de análisis de suelos por parte de los agricultores. Solo el 35 % de los encuestados hizo análisis de suelo, de los cuales el 66 % realizó un análisis fisicoquímico completo y un 26 % solo realizó un análisis químico. Del 35 % de productores que realizaron análisis de suelo, la mayor parte acogió las recomendaciones suministradas por las entidades para elaborar el plan de fertilización (figura 1.2).

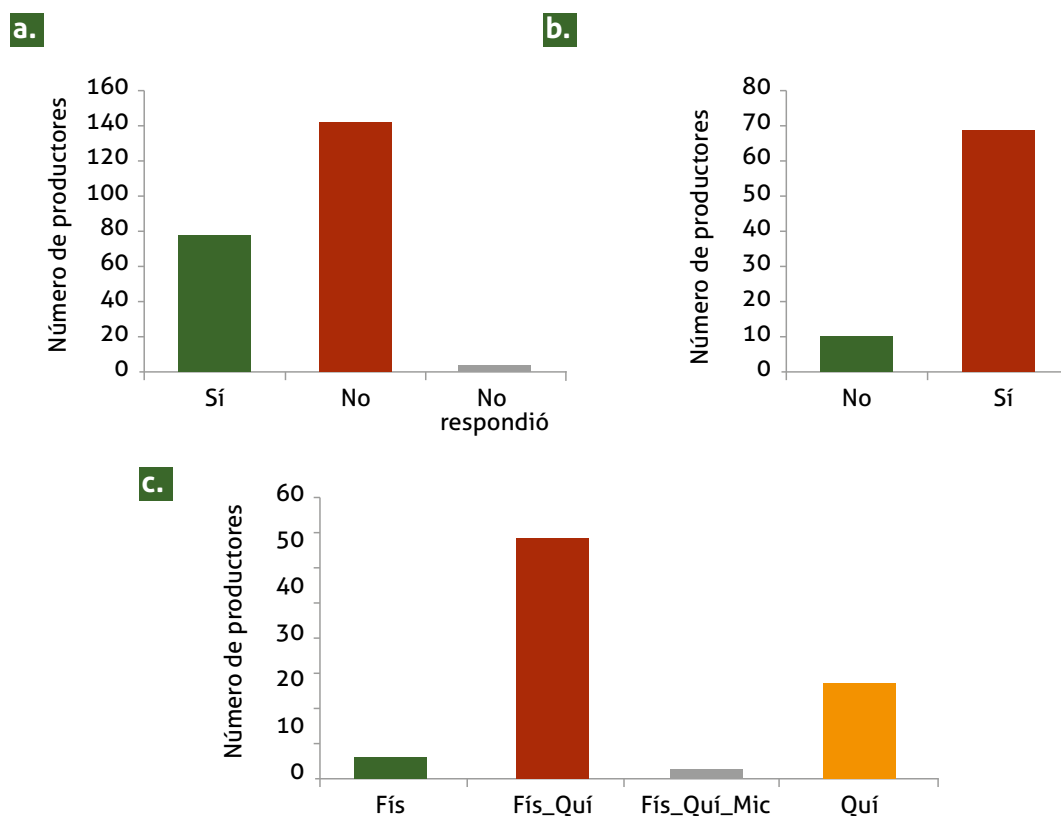


Figura 1.2. Tendencia de realización y aplicación de resultados de análisis de suelos en cultivos de tomate bajo invernadero en Cundinamarca, Antioquia y Boyacá. a. ¿Realiza análisis de suelo?; b. ¿Aplica los resultados de este análisis para el diseño de su plan de fertilización?; c. ¿Qué tipo de análisis realiza?

Nota: Fís = Físico; Quí = Químico; Mic = Microbiológico.

Fuente: AGROSAVIA (2017)

Uso de enmiendas en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá

Como recomendación general, se sugiere aplicar una enmienda agrícola antes de aplicar el fertilizante para corregir las condiciones del suelo y mejorar la efectividad de los nutrientes sobre el cultivo. También deben esperarse entre 20 y 30 días después de la aplicación de la enmienda agrícola para asegurar su efecto en el acondicionamiento del suelo antes de la fertilización.

El diagnóstico del sistema de producción de tomate bajo condiciones protegidas realizado en la línea base del proyecto ejecutado por AGROSAVIA permitió establecer las preferencias de los productores de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá en relación con el uso de enmiendas edáficas. El 95,4 % de los productores de tomate aplica enmiendas orgánicas para mejorar los contenidos de materia orgánica del suelo y enmiendas químicas para mejorar las condiciones químicas del suelo, particularmente la acidez (AGROSAVIA, 2017).

Es común encontrar aplicaciones de cal dolomítica para elevar el pH del suelo, cuya dosis es calculada para que simultáneamente suministre los niveles de Ca y Mg requeridos por el cultivo. Los suelos de los departamentos de Antioquia y Cundinamarca tienen valores de pH cercanos a 5,5, por lo cual la aplicación de cal antes de la siembra es una práctica habitual. Por el contrario, los suelos de Boyacá tienen valores de pH cercanos a 8,5 debido a la aplicación constante de agroquímicos y a las condiciones geológicas propias de la región productora de tomate. Por lo tanto, el uso de enmiendas químicas no es una práctica usada en esta región (AGROSAVIA, 2017).

En cuanto a las enmiendas orgánicas, es importante notar que en los departamentos de Antioquia y Boyacá el uso de materia orgánica compostada es una práctica común realizada por productores de tomate. En cambio, en Cundinamarca destaca el uso de materias orgánicas sin compostar como la gallinaza (figura 1.3).

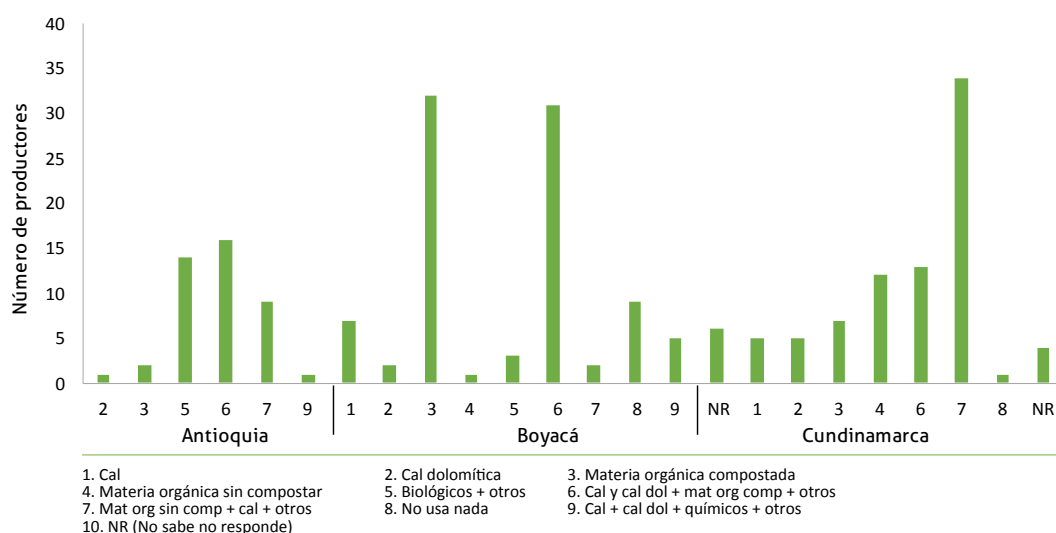


Figura 1.3. Uso de enmiendas en cultivos de tomate bajo condiciones protegidas en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá (Colombia)

Fuente: AGROSAVIA (2017)

El uso de la gallinaza sin compostar aumenta los riesgos fitosanitarios, disminuye la inocuidad del producto cosechado y genera problemas relacionados con la integridad del suelo y su conservación. Este comportamiento puede atribuirse a que las zonas de producción de tomate bajo invernadero en Cundinamarca coinciden con las zonas de mayor producción avícola del departamento. Esta situación facilita el acceso a la gallinaza para los productores, quienes prefieren aplicarla de forma directa al cultivo, sin pasar por el proceso de compostaje.



Capítulo 2

Compostaje y lombricompostaje

NADIA LUQUE SANABRIA, MAURICIO CAMELO RUSINQUE, ANDREA DEL PILAR VILLARREAL NAVARRETE

En el presente capítulo se mencionan los beneficios del compostaje y el lombricompostaje, con énfasis en su proceso de producción.

El compostaje y sus beneficios en la agricultura

El compost es un abono orgánico que se obtiene a partir de la descomposición de materiales de origen vegetal (hojarasca, residuos de poda, residuos de cocina y plazas de mercado) y animal (estiércoles tipo gallinaza, porquinaza, equinaza, entre otros). El proceso de compostaje consiste en apilar los residuos orgánicos para mezclar todos los materiales en las proporciones adecuadas, reducir su humedad, peso y volumen y obtener un producto estable que se puede almacenar y aplicar directamente en los cultivos (Moreno & Moral, 2008).

Los residuos sólidos generados a diario en los hogares contienen un 40 % de materia orgánica que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de compost para las plantas. De cada 100 kg de residuos orgánicos se obtienen aproximadamente 30 kg de compost, lo cual podría contribuir a la reducción de los residuos que se llevan a los vertederos y, al mismo tiempo, el consumo de abonos químicos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, algunos de los problemas asociados a la aplicación directa de residuos orgánicos sin compostar son la contaminación con agentes patogénicos (microorganismos que originan enfermedades) y metales pesados, la atracción de insectos no deseables y otras plagas como los roedores. En

contraste, el compostaje de los residuos orgánicos trae beneficios directos como la supresión de olores desagradables, la eliminación de semillas de malezas, la eliminación de patógenos y el aumento de microorganismos benéficos (Mirabelli, 2008).

El compost mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, las cuales influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Dentro de los efectos sobre las características físicas de los suelos destaca el mejoramiento de su estructura. Una mejor estructura favorece la retención de agua y disminuye la escorrentía, que reduce el lavado de nutrientes y la erosión. Adicionalmente, la aplicación de compost reduce la densidad aparente del suelo, que se traduce en una mayor porosidad y mejor aireación, favorable para la estabilidad y diversidad de comunidades microbianas benéficas y el desarrollo de las raíces de las plantas (García, 2008).

En cuanto a las propiedades químicas, el compost no solamente aumenta la cantidad de macro y micronutrientes en el suelo, también mejora la capacidad de intercambio catiónico y, con esto, la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La importancia del compost como fertilizante depende del tipo de cultivo que se esté manejando y de las características propias del suelo en el que se aplique la enmienda (García, 2008).

El efecto de los residuos orgánicos compostados sobre las propiedades microbiológicas y bioquímicas del suelo se refleja directamente en la diversidad y actividad de las poblaciones microbianas gracias a que son una fuente de carbono fácilmente biodegradable por los microorganismos. Al mejorar la actividad de las poblaciones microbianas benéficas, incrementa la disponibilidad de enzimas y metabolitos en el suelo responsables de las reacciones de mineralización e inmovilización de nutrientes, las cuales, a su vez, favorecen el intercambio de elementos con las plantas, necesarios para el crecimiento vegetal (García, 2008).

Por otro lado, el aumento de las poblaciones microbianas lograda con enmiendas orgánicas (como el compost) en un suelo agrícola incrementa la probabilidad de tener microorganismos con efecto controlador (biocontroladores) sobre patógenos del suelo o microorganismos que inducen procesos de resistencia en toda la planta (resistencia sistémica) (García, 2008). Este es un tema de interés que será tratado a profundidad más adelante en este manual.



Fases del proceso de producción del compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición dinámico en el que intervienen microorganismos aeróbicos (viven en presencia de oxígeno) bajo condiciones específicas de humedad, temperatura y aireación. El proceso de descomposición se divide en 4 fases de acuerdo con las variaciones de la temperatura (figura 2.1). Durante la primera fase, la mesófila, la temperatura sube a 45 °C, valor favorable para que los microorganismos empiecen a consumir el carbono y el nitrógeno contenido en los residuos orgánicos e inicien la descomposición de los materiales. En la segunda fase, la termófila, se pueden alcanzar temperaturas mayores a 60 °C gracias a las cuales es posible eliminar microorganismos patógenos no deseados en los cultivos, semillas de malezas, huevos y larvas de insectos, así como malos olores provenientes de la materia prima. Durante la fase de enfriamiento, la temperatura desciende a 40 °C y se terminan de degradar los materiales con altos contenidos de lignina y celulosa (componentes que le dan rigidez e integridad estructural a las plantas). En esta fase, el producto adquiere un olor dulce a tierra mojada muy agradable. Finalmente, en la cuarta fase, la de maduración, se forman ácidos fúlvicos y húmicos (Cuervo et al., 2016; Mirabelli, 2008; Román et al., 2013) que les permiten a las plantas asimilar mejor los nutrientes (figura 2.1).

Parámetros para tener en cuenta durante el proceso de compostaje

Es importante monitorear los parámetros de temperatura, humedad y aireación durante el proceso de compostaje, cuyos rangos óptimos se presentan en la tabla 2.1. En el caso de la temperatura, se recomienda llevar un registro que permita saber en qué fase se encuentra el compostaje y si el proceso se desarrolla de manera adecuada. Es aconsejable evitar temperaturas de la pila por encima de los 80 °C, ya que se pueden perder los nutrientes por procesos rápidos de mineralización y afectar la microbiota esencial del proceso de compostaje (Cuervo et al., 2016).

En cuanto a la humedad, lo ideal es mantenerla alrededor del 50 %, ya que el agua es vital para los procesos y movimientos que realizan los microorganismos. El porcentaje ideal de humedad se obtiene agregando agua a la pila o hilera hasta que sea posible tomar una muestra del material en compostaje con la mano, apretarla fuertemente y observar que los materiales se mantienen agregados sin exceso de agua. Al iniciar el proceso de compostaje, los materiales suelen tener un

alto contenido de humedad. Asimismo, la demanda de agua será mayor cuando las temperaturas de la pila sean altas (figura 2.1). En consecuencia, el monitoreo de humedad y temperatura debe ser simultáneo.

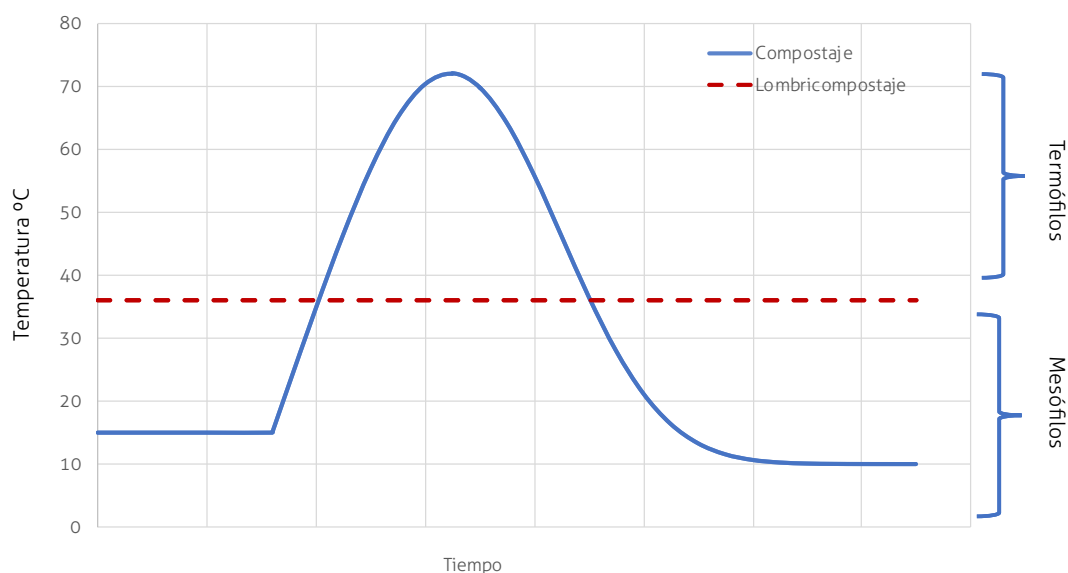


Figura 2.1. Comparación de curvas teóricas para las diferentes fases del compostaje y el lombricompostaje.

Fuente: Elaboración propia con base en Jack & Thies (2006)

Las líneas representan la temperatura de cada uno de los procesos de compostaje (línea azul) y lombricompostaje (línea roja) durante las distintas fases a través del tiempo. Los microorganismos que intervienen en estas fases se pueden dividir de acuerdo con su tolerancia a la temperatura. Por encima de los 40 °C, los microorganismos se denominan termófilos y entre 10 y 40 °C son conocidos como mesófilos. De esta forma, en el lombricompostaje, los microorganismos que están involucrados en este proceso son mesófilos, pues toleran temperaturas de hasta 40 °C. Cabe destacar que los materiales se forman por la interacción entre los microorganismos y las lombrices, lo cual da lugar a una estabilización no termófila y a materiales orgánicos (Rorat et al., 2013; Raza et al., 2022).

Para garantizar que los microorganismos aerobios degraden los residuos orgánicos adecuadamente, la concentración de aire debe ser suficiente. Si el aire es escaso, se pueden generar malos olores e inducir el crecimiento de otro tipo de microorganismos no aerobios, que no son los deseados en un compostaje de buena calidad

—razón por la cual no se recomienda tapar la pila con plástico—. Los volteos de la pila de compostaje deben realizarse semanalmente, pues permiten la incorporación del aire y ayudan a regular la temperatura y la humedad (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Parámetros para tener en cuenta durante el proceso de compostaje

Parámetros	Rango inicial	Rango durante el proceso	Rango final
Humedad	60 -75 %	50 %	20-30 %
Temperatura	Ambiente	Máx. 60-65 °C	Ambiente
pH	4 – 5.5	6,5	7-8
Tamaño de las partículas	1 -5 cm	1-2 cm Max	0.5 cm
Relación C/N	Variable*	25/1	20/1

*Depende de la composición de las materias primas a utilizar.

Fuente: Cuervo et al. (2016)

Métodos de compostaje

El método para realizar el compostaje depende de la cantidad de residuos, el tiempo disponible para compostar y el espacio que se tenga para el proceso de descomposición. Existen métodos de compostaje abiertos y cerrados, en recipientes o estructuras más elaboradas.

Sistemas abiertos o en pilas (o hileras)

La forma más sencilla de realizar un proceso de compostaje de manera abierta consiste en la elaboración de pilas (apilamiento de los materiales en forma de hilera) de mínimo 1,50 metros de altura que deben ser volteadas periódicamente (figura 2.2). Estas pilas de compostaje suelen ser piramidales, con una longitud que depende del espacio donde se realicen. Entre más alta sea la pila, mayor será la temperatura en su interior, lo cual permitirá degradar los materiales más rápido y disminuir la población de microorganismos no deseados, que generalmente se inactivan a temperaturas mayores a 60 °C.

Es importante resaltar que entre mayor sea la altura de la pila, los volteos deben ser más frecuentes (mínimo dos veces por semana) para mejorar la aireación y así evitar los malos olores y la mala calidad del producto final, así como la reducción

de la eficiencia de degradación de los materiales y del crecimiento de los microorganismos aeróbicos benéficos.



Figura 2.2. Pila de compostaje en descomposición con buena aireación y protegida del agua lluvia.

Foto: Mauricio Camelo Rusinque

Sistemas cerrados

En los sistemas cerrados se utilizan recipientes de distinta capacidad en los que se incorporan los residuos. Este método se puede hacer en pequeña escala para uso doméstico o en recipientes de mayor capacidad (canecas o cajones) para procesar una mayor cantidad de residuos. Estos sistemas cerrados tienen la ventaja de facilitar el volteo y manejar de manera adecuada los lixiviados o líquidos que se producen en el compostaje. Además, evitan el ingreso de plagas (roedores y aves) (Román et al., 2013). Las principales desventajas de este método están relacionadas con el control de temperatura, ya que la probabilidad de exceder las temperaturas óptimas de compostaje y afectar los parámetros de calidad de este es mayor (Román et al., 2013).

Sistema de compostaje cerrado en posición vertical

Este sistema está subdividido en un sistema de compostaje continuo o discontinuo. En el sistema de compostaje continuo, el material a compostar se añade por la parte

superior del recipiente y el producto (compost) se retira por la parte inferior. En aquellos recipientes en los que es necesario voltear el material para extraer el producto compostado, el proceso es discontinuo, es decir, la adición del material fresco y la extracción del producto compostado se hacen por la parte superior del recipiente (figura 2.3a). Dentro de las ventajas de este método destacan la facilidad en la manipulación del material y el área de ocupación del sistema. Sin embargo, existe un alto riesgo de generar zonas dentro del material donde, por errores en el volteo, se generen malos olores, baja aireación, excesos o déficit de humedad, fermentación del material y proliferación de microorganismos patogénicos (Román et al., 2013).

Sistema de compostaje cerrado en posición horizontal

En el sistema de compostaje cerrado en posición horizontal, el recipiente se ubica acostado para que ruede sobre sí mismo (figura 2.3b). Es un sistema de alimentación discontinua debido a que debe esperarse a que el proceso de compostaje finalice para extraer el material compostado antes de introducir nuevo material fresco. En comparación con el sistema de compostaje cerrado vertical, en el sistema horizontal se distribuye mejor la humedad y se disminuye el riesgo de compactación por la facilidad de volteo. Como desventaja, se destaca una mayor inversión en relación con el sistema vertical y las fugas de lixiviados durante el volteo debido a los orificios de aireación (Román et al., 2013).



Figura 2.3. Sistemas de compostaje cerrados. a. Compostaje cerrado vertical continuo; b. Compostaje cerrado horizontal discontinuo.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Lombricompostaje

El lombricompostaje es un proceso de descomposición y estabilización de materia orgánica llevado a cabo por la lombriz roja californiana (*E. foetida*). Aunque existen otras especies de lombriz que descomponen materia orgánica y en los predios de los productores algunas especies nativas pueden ayudar en el proceso, *E. foetida* ha sido domesticada y ampliamente utilizada gracias a su alta tasa de reproducción, su capacidad para vivir en comunidad y su hábito de permanecer en los espacios donde ha sido incorporada. Las lombrices de tierra producen lombricompostaje mediante la ingestión de compuestos orgánicos: convierten un material a su forma simple (Alshehrei & Ameen, 2021). Además, a diferencia del compostaje, el lombricompostaje nunca supera temperaturas por encima de la temperatura ambiental.

El lombricompostaje tiene una fase mesófila que consta de dos etapas: la fase activa y la fase de maduración. La fase activa consiste en la degradación del sustrato orgánico mediante la acción combinada de las lombrices de tierra y los microorganismos benéficos a través de actividades metabólicas. En la fase de maduración, la lombriz de tierra se moviliza hacia material más fresco (donde iniciará nuevamente una fase activa) y la descomposición final de la mezcla sin lombrices es realizada por acción de microorganismos. Las lombrices de tierra cumplen las tareas de aireación, acondicionamiento, fragmentación y alteración de las actividades biológicas de un sustrato, mientras que los microorganismos (encontrados en los mismos residuos) aportan la degradación bioquímica de la materia orgánica (Che & Mohamad, 2019), es decir, la bioconversión de compuestos orgánicos complejos en formas más simples.

Debido a la diferencia entre compostaje y lombricompostaje, los microorganismos presentes también difieren. Por un lado, en el compostaje hay una selección de bacterias termófilas —muchas de las cuales no son cultivables (Dees & Ghiorse, 2001)— o de microorganismos termófilos facultativos, los cuales son capaces de sobrevivir a las altas temperaturas formando estructuras de resistencia, como las esporas, y de recolonizar la mezcla cuando baja la temperatura. Por otro lado, el lombricompostaje mantiene una amplia diversidad de microorganismos durante todo el proceso, como bacterias, hongos saprófitos, protozoos, nematodos y microartrópodos, además de la microflora del tracto digestivo de *E. foetida*. Asimismo, la materia fecal de la lombriz está recubierta de un mucus de su intestino, el cual es una fuente de carbono que ayuda a atraer microorganismos del suelo (Brown et al., 2000).



La manera en que se comportan funcionalmente los microorganismos de los desechos de *E. foetida* durante el proceso de lombricompostaje sugiere que la comunidad microbiana se ve afectada por los materiales que se utilizan para alimentar las lombrices, el pH (ácido o básico) y el sustrato de cría (Ameen & Al-Homaidan, 2021; Budroni et al., 2020). Las condiciones inadecuadas de los desechos utilizados pueden disminuir el desempeño de las lombrices y las actividades microbianas asociadas al proceso. Por lo tanto, es crucial acondicionar las materias primas iniciales para garantizar la salud de la lombriz, la eficiencia del proceso y, de esta manera, asegurar la calidad del lombricompostaje (Yune et. Al., 2021).

Preparación de la mezcla para el lombricompostaje

El lombricompostaje se puede considerar una tecnología para gestionar de manera sostenible los desechos orgánicos, la recirculación de nutrientes en campo y el aprovechamiento de los desechos agrícolas. Esta tecnología es un método para el manejo de desechos que pueden llegar a ser contaminantes o fuentes de enfermedades, así como una fuente de producción de biofertilizantes (Rorat & Vandenbulcke, 2019). Al igual que el compostaje, los materiales o desechos utilizados para la transformación a través de las lombrices son de origen animal y vegetal. Dentro de los materiales de origen vegetal se incluyen todos los desechos crudos de la cocina, la cosecha y las podas de plantas. En el caso de los desechos de origen animal, se encuentran todo tipo de estiércoles en descomposición. Tanto los residuos de origen vegetal como animal deben cumplir con ciertas condiciones de humedad y pH (5-8), para que, al incorporar las lombrices, estas mantengan un buen estado de salud y no mueran. Por esta razón, se recomienda realizar una predescomposición o precompostaje de los materiales para regular el pH y reducir la acidez (figura 2.4). Se debe tratar de superar la fase termofílica de la descomposición y reducir un poco el tamaño de las partículas antes de proporcionar la mezcla a las lombrices para facilitar sus tareas (Cuervo et al., 2016). Un proceso de precompostaje adecuado resulta en una mezcla de olor agradable a bosque y dulce, pues la presencia de moscas y malos olores en la mezcla indica condiciones inadecuadas del proceso como exceso de humedad y falta de aireación.



Figura 2.4. Proceso de compostaje de material fresco en el módulo de precompostaje.
a. Material fresco listo para el proceso de precompostado en recipiente cerrado. b. Mezcla de desechos vegetales y animales que conserva la relación carbono nitrógeno y la humedad adecuada, lista para ser degradada por lombrices.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

Un aspecto importante al realizar la mezcla es la relación de carbono nitrógeno (C : N), que influye directamente en el tiempo de descomposición. El carbono es fuente de energía de los microorganismos durante la descomposición y el nitrógeno está directamente relacionado con la multiplicación de los microorganismos, pues es un insumo vital de las proteínas y ADN. Los materiales con mayor contenido de carbono son de apariencia seca o color marrón (como las hojas secas o la paja, el aserrín, la cascarilla de arroz, el papel, entre otros) y el nitrógeno se obtiene de los materiales verdes (como residuos de cocina o de podas de cosecha y los estiércoles). Sin embargo, demasiado nitrógeno puede afectar a las lombrices, por lo que la relación recomendada es 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno (relación 30:1). Cuando la relación C : N es menor a 30 (más carbono por cada nitrógeno), disminuye la actividad microbiana y se debe aumentar la humedad y la cantidad de materiales verdes como residuos de cocina, estiércoles y residuos de cosecha. Si la relación es mayor a 30 (menos de 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno) la descomposición es inadecuada y se producen malos olores, por lo que se debe agregar material seco y disminuir la humedad.

Incorporación de la lombriz y mantenimiento

Al inicio del proceso de lombricompostaje, una vez la mezcla cumpla con las proporciones adecuadas de C : N y un pH óptimo para las lombrices, se incorpora el pie de cría. Las primeras lombrices que se adquieren deben estar en una proporción de 70 % lombrices por 30 % de sustrato. Además, deben observarse robustas, rojas y, preferiblemente, con huevos dentro del sustrato (que indica que las lombrices se encuentran en buen estado y se están reproduciendo) (figura 2.5). Para evaluar las condiciones óptimas del material precompostado para las lombrices, se puede realizar una prueba de alimentación. Para esta prueba, se ponen 100 gramos de la mezcla precompostada en un recipiente que tenga orificios para que ingrese aire y salga el exceso de humedad (pero que no se escapen las lombrices). Se incorporan 10 lombrices y se dejan dentro de la mezcla en una zona fresca y oscura durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se observa si aún están vivas las 10 lombrices y si se mueven vigorosamente. Si se mueren más de 3 lombrices o están muy quietas o lentas, la mezcla no es óptima y es necesario extender por más tiempo el precompostaje y luego realizar nuevamente la prueba de alimentación. Cabe destacar que este proceso se debe realizar en la oscuridad teniendo en cuenta que las lombrices son fotosensibles y se ven afectadas por la luz.



Figura 2.5. Aspecto ideal del pie de cría. a. Huevo de lombriz cuyo tamaño es similar al de un grano de arroz. b. Pie de cría donde se observan lombrices de color rojo, lo cual indica el buen estado de estas. Además, se conserva la proporción de 70 % lombrices y 30 % sustrato.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

Cuando la prueba de alimentación es óptima, se procede a incorporar el pie de cría a la mezcla inicial precompostada. Esta debe estar siempre húmeda para que las lombrices se desarrollen adecuadamente y se puedan desplazar. El exceso de agua que se lixivia o escurre de la mezcla se debe recolectar (teniendo en cuenta que arrastra nutrientes y compuestos valiosos de gran interés para los cultivos) e incorporar nuevamente a la mezcla para su enriquecimiento. Se puede agregar agua siempre y cuando esta escurra y no se acumule dentro de la mezcla. El agua recolectada se incorporará varias veces a la mezcla hasta que alcance un color oscuro, rasgo que indica que el lombricompostado líquido está enriquecido y listo para usar (figura 2.6). Aunque la mezcla tenga exceso de humedad, no se deben presentar malos olores ya que la buena aireación y la lixiviación correcta del exceso de agua mantienen la mezcla fresca.

Las lombrices se deben monitorear mínimo 3 veces por semana para garantizar la humedad adecuada (70-80 %), el tamaño óptimo, la temperatura correcta y asegurarse de que estén bien distribuidas dentro del sustrato. Si están agrupadas en un solo sitio, es un indicio de que hay problemas con el ambiente o con la mezcla. En el caso de temperaturas por debajo de los 15 °C, se puede agregar a la mezcla agua con melaza o azúcar (200 gramos de melaza o azúcar por cada litro de agua), para que las lombrices tengan energía e inicien nuevamente el proceso de lombricompostaje. También se recomienda revisar que no existan plagas dentro de la mezcla, como tijeretas, arañas u otros animales que puedan causar daño. En este caso, se recomienda aplicar cenizas diluidas en agua (100 gramos de ceniza por cada litro de agua), las cuales ayudarán a espantar insectos y arañas no deseados. No se recomienda adicionar cal, ni otro tipo de sustancias químicas que afecten el bienestar de las lombrices. Adicionalmente, se pueden adicionar microorganismos benéficos para enriquecer el lombricompostado, aunque en las condiciones ideales los microorganismos benéficos de la zona y de los materiales usados en la mezcla pueden desarrollarse fácilmente.

Después de incorporar las lombrices a la mezcla, estas empezarán a alimentarse de abajo hacia arriba, pues una vez consumen el alimento, ascienden buscando comida fresca. La velocidad de transformación de la mezcla dependerá de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y de la cantidad de lombrices. Un kilo de lombrices puede procesar entre 500 y 700 gramos de mezcla al día y, a medida que se reproducen, este valor se puede duplicar. Cuando las lombrices consumen en su totalidad la mezcla precompostada, se observarán en la parte superior, lo cual indica que se deben agregar aproximadamente 20 centímetros más de mezcla precompostada. Esta nueva adición permitirá que en la parte inferior

quede el lombricompostaje sólido listo y las lombrices asciendan para descomponer el material incorporado. Esta operación se debe realizar hasta alcanzar una altura máxima de 80 centímetros de mezcla y así evitar que el material se acumule y reduzca la aireación. Una vez finalizado el lombricompostaje de los materiales, se pueden sacar las lombrices con trampas y separar el lombricompostaje sólido listo para usar.

Obtención de lombricompostaje líquido (lixiviado) y sólido

El primer producto que se obtiene del lombricompostaje es el lixiviado, el cual se origina después de humedecer la mezcla que están degradando las lombrices. Este líquido es reincorporado por varios ciclos y adquiere un color marrón muy oscuro, similar al color de la bebida gaseosa coca cola (figura 2.6). Cuando el lixiviado está listo, es recomendable utilizarlo pronto para aprovechar los microorganismos benéficos que se encuentran en él. Puede almacenarse hasta por dos semanas en un lugar fresco y no debe taparse herméticamente para evitar malos olores y afectación de los microorganismos benéficos allí contenidos. Al usar el lixiviado, se debe diluir en una proporción 1:10 (una parte de lixiviado por nueve partes de agua), ya que la conductividad eléctrica de este líquido es mayor a 10 y puede afectar las plantas si se aplica directamente. El volumen de lixiviado obtenido dependerá de la cantidad de material en compostaje, la frecuencia del riego y el volumen de agua agregado.



Figura 2.6. Obtención de lixiviado del proceso de lombricompostaje. a. Reincorporación del lixiviado a la mezcla de lombricompostaje. b. Color oscuro del lixiviado tras su reincorporación a la mezcla.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

Con respecto al lombricomposteo sólido, el tiempo de obtención depende de la cantidad de lombrices que se tengan por kilogramo de mezcla, de las condiciones ambientales y de la calidad de la mezcla inicial. El lombricomposteo está listo cuando los residuos iniciales no son distinguibles y tienen una textura similar a la del lodo (figura 2.7), lo cual indica que las lombrices y los microorganismos descompusieron totalmente el material. Cuando el material está listo, se hacen trampas con mezcla fresca para atraer a las lombrices, sacarlas del lombricomposteo y, finalmente, utilizarlo. Para hacer las trampas, se puede poner la mezcla fresca en una lona con orificios o en una canastilla sobre la mezcla lista para que las lombrices se desplacen al material más fresco. Finalmente, se recomienda utilizar el lombricomposteo sólido en el menor tiempo posible. Además, el material debe estar aireado y debe contener el 40 % de humedad como mínimo. De esta manera se mantiene su calidad organoléptica y se conservan los microorganismos benéficos.

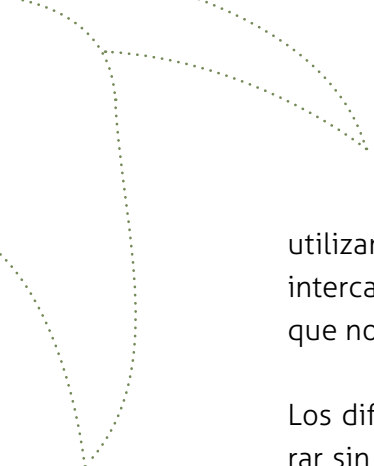


Figura 2.7. Obtención de lombricomposteo sólido donde se observan las capas inferiores listas para usar y las capas superiores que aún no han terminado su proceso de descomposición.

Foto: Nadia Yurany Luque Sanabria

Formas de producir lombricomposteo

El lombricompostaje se puede producir a pequeña escala (en la casa), a mediana escala (como lo hace el pequeño productor) o a gran escala, para su comercialización. Independientemente de la escala de producción, se deben mantener las condiciones de humedad, temperatura, aireación y pH que permitan la adecuada descomposición de los materiales y el trabajo de las lombrices. Además, se pueden



utilizar diferentes recipientes con orificios para recoger los lixiviados y facilitar el intercambio de gases. Sin embargo, estos deben ser de un tamaño adecuado para que no se escapen las lombrices.

Los diferentes sistemas deben permitir que el material a procesar se pueda retirar sin afectar ni eliminar las lombrices. Generalmente, se trabaja por niveles: las lombrices comen y descomponen los residuos en el primer nivel y después pasan al segundo nivel, donde hay comida fresca. Los niveles que tienen el proceso de lombricompostaje completo se retiran y quedan disponibles para continuar con el ciclo (Somarriba & Guzman, 2004).



Capítulo 3

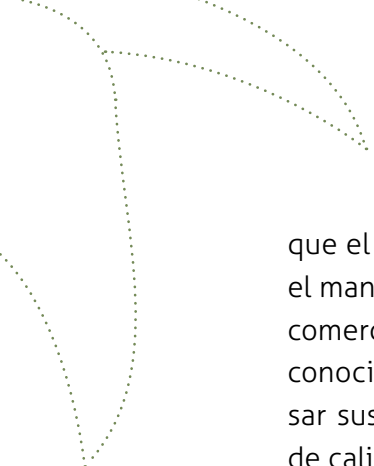
Módulos de lombricompostaje con residuos de cosecha de tomate

NADIA LUQUE SANABRIA, ANDREA PAOLA CLAVIJO,
IVÁN EDILBERTO CHACÓN, EDWIN ANDRÉS VILLAGRÁN

El compostaje es un proceso que transforma de manera eficiente y segura los residuos orgánicos generados en la finca en materias primas para la producción de cultivos de interés económico e industrial. La reutilización de los residuos orgánicos de origen agrícola es una estrategia fundamental de la agricultura autosustentable. La aplicación de compost a los suelos de cultivo aumenta los niveles de fertilidad, mejora la capacidad de retención de agua, modifica la estructura física del suelo y contribuye a la disminución en el uso de fertilizantes químicos y a la regeneración de materia orgánica de suelos agotados, entre otros aspectos.

Otra de las ventajas que trae consigo la utilización de compost o lombricompost como enmienda orgánica, es su acción controladora de algunas enfermedades comunes del suelo (Achmon et al., 2018; Daza et al., 2015; Liu et al., 2016). Por ejemplo, en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero, se ha demostrado la capacidad del compost o lombricompost de controlar enfermedades del suelo, entre ellas, la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* (dormidera de la planta) y la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* (Liu et al., 2016; Mitsuboshi et al., 2018; Morauf & Steinkellner, 2015; Pugliese et al., 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, AGROSAVIA desarrolló un proyecto en el cual agricultores destacados del cultivo de tomate manejaron de manera eficiente los residuos producidos en la cosecha y en sus predios en los tres principales departamentos productores del país (Boyacá, Antioquia y Cundinamarca) (Agronet, 2022). Este aprovechamiento representa ventajas competitivas para los agricultores, ya



que el cultivo pasa a ser ambientalmente sostenible, y trae consigo beneficios en el manejo integrado de enfermedades pues mantiene la inocuidad del fruto en su comercialización. En este sentido, el principal propósito fue generar y transferir conocimiento y tecnología que permitiera a los agricultores o productores procesar sus propios residuos agrícolas para obtener un compost o lombricompost de calidad que mejorara la fertilidad y sanidad de los suelos destinados al cultivo.

La oferta tecnológica (OT) propuesta que se explicará más adelante es el equipo de lombricompostaje para el aprovechamiento de residuos vegetales de pequeños y medianos productores diseñado por AGROSAVIA. La herramienta es una solución tecnológica que incluye el diseño y la construcción de un equipo de lombricompostaje destinado a que pequeños y medianos productores generen enmiendas orgánicas de manera económica, eficiente, fácil y segura para su directo aprovechamiento en el cultivo. Esta OT resalta y promueve el uso de residuos agropecuarios que se generan dentro de la finca para transformarlos en un bioinsumo que mejora las características físicas del suelo y reduce la aplicación de fertilizantes de síntesis química. Además, los costos de producción de compostajes tradicionales disminuyen y se garantiza un proceso adecuado de compostaje.

Adicionalmente, el equipo ocupa poco espacio (25 m²) y permite procesar una tonelada de residuos orgánicos. El diseño tuvo en cuenta especificaciones técnicas, económicas y prácticas de los productores de tomate en campo y se formuló para que pudiera ser replicado con facilidad por otros agricultores.

El módulo de lombricompostaje está compuesto de dos subsistemas, los cuales, preferiblemente, deben ser utilizados en conjunto: una sección donde el agricultor puede desarrollar procesos de predescomposición (precompostaje) (figura 3.1) y una sección destinada al lombricompostaje (figura 3.2).

Sección de precompostaje

La primera parte del módulo, en la que se desarrolla el proceso de predescomposición (figura 3.1), tiene como objeto acondicionar o preparar el alimento (residuos orgánicos generados en la finca) para las lombrices. Esta predescomposición o precompostaje asegura que los residuos utilizados tengan las condiciones necesarias para la sobrevivencia de las lombrices, como el pH, la temperatura, la ausencia de elementos tóxicos, entre otros.

El proceso en esta primera etapa se realiza mediante un sistema giratorio que cuenta con un chasis construido en tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36. En el chasis se ensambla un sistema de rodachines sobre el cual se apoyan horizontalmente dos canecas de polipropileno de 100 l de capacidad que cuentan con unos sistemas tipo riel y un timón que permiten girar 360 grados cada caneca de manera independiente. Cada caneca cuenta con una compuerta frontal para el monitoreo de las condiciones del material precompostado y una tapa lateral para el proceso de carga y descarga del material (figura 3.1). Para optimizar el proceso de aireación del material a precompostar, las tapas laterales tienen pequeños orificios distribuidos en toda su área superficial.

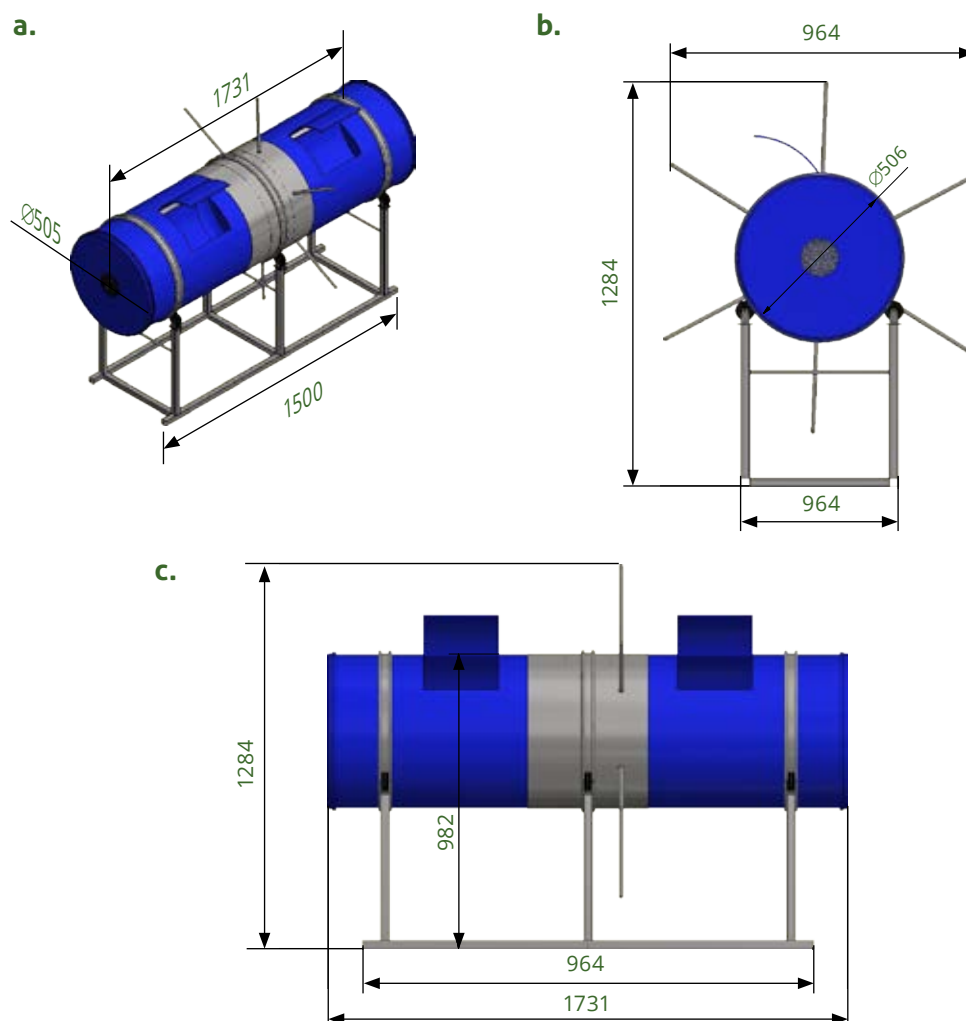


Figura 3.1. Prototipo diseñado para realizar la labor de precompostaje. Módulo rotatorio para el precompostaje de residuos orgánicos que homogeniza residuos orgánicos mediante la rotación de tambores plásticos sobre rodachines. a. Vista oblicua; b. Vista frontal; c. Vista lateral.

Fuente: AGROSAVIA (2018b)

En general, la predescomposición es un proceso discontinuo porque se realiza por “cargas”, es decir, una vez que se carga la caneca, el proceso de precompostaje debe finalizar para extraer el material antes de introducir una nueva carga. En comparación con otros diseños, este módulo de precompostaje cuenta con dos canecas para alternar la producción de la mezcla en predescomposición y proporcionar material al módulo de lombricultura en diferentes tiempos.

Dentro de las ventajas de esta sección del módulo, destaca la facilidad de volteo gracias al volante, el sistema de rieles y las ruedas. El volteo permite mantener la humedad cercana al 60 % y la aireación homogénea del material que se precomposta. Las canecas cuentan con orificios para el suministro continuo de aire y la eliminación del exceso de humedad. Además, gracias a que es un sistema sellado protege la mezcla de factores externos.

Una vez la mezcla de residuos orgánicos cumpla con las condiciones idóneas para alimentar y mantener a las lombrices, los residuos precompostados se transfieren a la sección de lombricompostaje (figura 3.2).

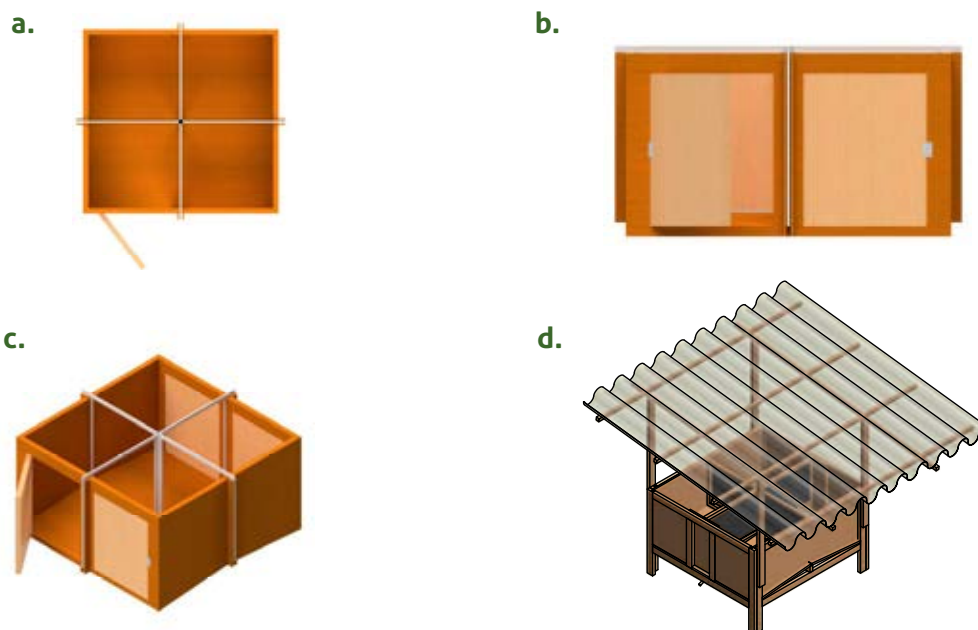


Figura 3.2. Prototipo del módulo de lombricompostaje dividido en cuatro subsecciones por una malla metálica. Este puede procesar simultáneamente hasta cuatro mezclas de residuos precompostados en tiempos distintos, lo cual permite una producción continua a medida que los residuos orgánicos son producidos en los predios de los productores. a. Vista superior. b. Vista frontal. c. Vista oblicua. d. Vista completa del módulo de lombricompostaje con techo.

Fuente: AGROSAVIA (2018b)

Sección de lombricompostaje

En esta sección las lombrices descomponen los materiales y producen el lombricompuesto. Para que el proceso de lombricompostaje se desarrollara eficientemente, durante el diseño del módulo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Tipo de materiales:

- Materiales resistentes a la humedad inmunizados o tapizados con cubiertas plásticas y que permitan, además, coleccionar los líquidos residuales (lixiviados) del proceso.
- Materiales con capacidad de mantener la temperatura para reducir las variaciones bruscas de temperatura y mantener la integridad de las lombrices.
- Materiales opacos para reducir la cantidad de luminosidad, ya que las lombrices son fotosensibles.

2. Diseño:

- Diseño para facilitar la recolección de las lombrices sin estresarlas. Una vez el proceso de lombricompostaje finaliza, es necesario extraer las lombrices del lombricompuesto para su utilización en el suelo y para que las lombrices puedan continuar en un proceso nuevo de lombricompostaje.
- Diseño para facilitar la recolección del lombricompuesto maduro.
- Diseño para que el proceso de lombricompostaje sea continuo y se obtengan enmiendas orgánicas durante todo el año.

Se diseñó un módulo de lombricultura en forma de cajón cuadrado con una dimensión lateral de 1,5 m y una altura de 0,6 m. Este módulo debe fabricarse en madera inmunizada con sellante artificial. Para las paredes y el piso se utilizaron tablas de pino cepilladas de 0,25 m de ancho por 0,025 m de espesor. Para las columnas y vigas se utilizaron repisas de madera en pino cepilladas de 0,04 * 0,08 m. El área superficial interna del módulo de lombricompostaje se cubrió con una geomembrana de pvc calibre 12.000. Este cajón está dividido en 4 compartimentos de 0,75m x 0,75 m, espacios separados por una malla eslabonada de aluminio con poros de aproximadamente 5 mm de diámetro con el fin de ir trabajando lotes de compost independientes y, a su vez, generar un movimiento natural de las lombrices de los módulos de compost maduro hacia los módulos de compost más inmaduro.

El piso del módulo está construido en dos secciones con pendiente de 10 grados desde el centro hacia el exterior para facilitar el flujo y drenaje de los lixiviados generados durante el proceso. Al final del borde más bajo de cada lado del piso hay dos canaletas que permiten colectar el lixiviado. Sobre los laterales donde se colecta el lixiviado se pusieron puertas, una para cada compartimento, para facilitar el retiro del lombricompost listo. Todo el sistema se encuentra a una altura sobre el nivel del suelo de 0,3 m para evitar daños por humedad y se encuentra cubierto por tejas plásticas (figura 3.3).

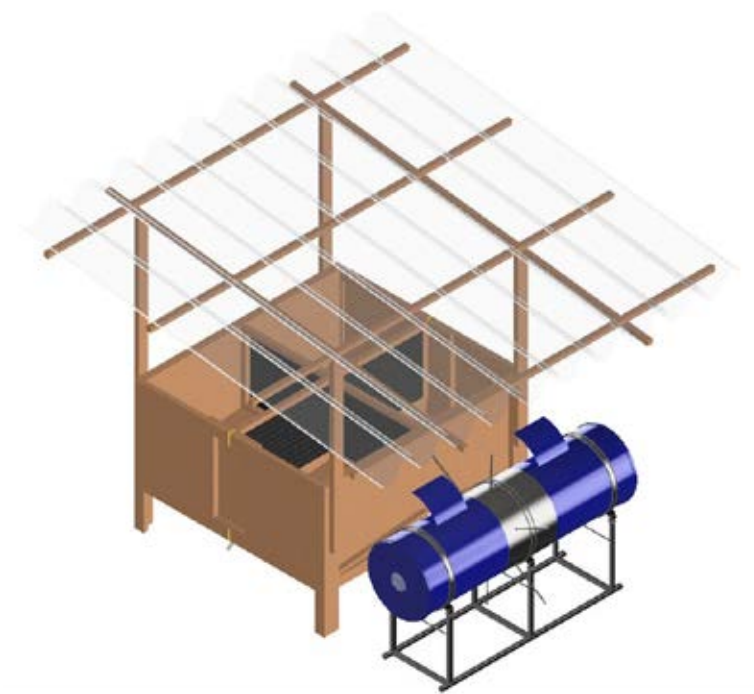


Figura 3.3. Diseño del prototipo del módulo completo con el módulo rotatorio de predescomposición y el módulo cubierto de lombricompostaje.

Fuente: AGROSAVIA (2018b)

Funcionamiento del módulo

Para poner en funcionamiento el módulo completo de lombricompostaje se deben identificar inicialmente los residuos orgánicos disponibles para estimar el contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) y su humedad, esenciales para un buen balance de la mezcla. Con esta información se definen las cantidades de cada residuo a utilizar en el proceso para conservar una relación C : N de 25 a 35 : 1, es decir de 25 a 35 moléculas de carbono por cada molécula de nitrógeno. Estos parámetros varían de acuerdo con el tipo de residuo.

En visitas realizadas a productores de tomate bajo condiciones protegidas de los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, se colectaron residuos orgánicos comunes que fueron analizados de acuerdo con la norma técnica 5167 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2011), en la que se establecen los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo (tabla 3.1). Los materiales más frescos y verdes y los estiércoles contienen cantidades más altas de nitrógeno, mientras los residuos secos muertos y oscuros (hojarasca y cascarilla de arroz) contienen altas cantidades de carbono (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Resultados de los análisis químicos de las materias primas colectadas en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 5167

Materia prima	pH	Nitrógeno Total	C. orgánico oxidable total	Humedad (%)	Relación (C/N)
Fruto de Tomate	4,25	0,1	2,79	92,35	29,14
Réplica fruto de Tomate	No dato	1,45	39	82,3	26,8
Residuo de cosecha de Tomate	6,24	3,59	15,67	51,75	4,36
Réplica residuo cosecha Tomate	No dato	2,15	35,76	73,1	16,6
Réplica residuo cosecha Tomate	5,42	0,75	37,43	21,82	49,89
Ceniza de quema de residuos de Tomate	9,98	0,2	1,46	34,24	7,16
Residuo de Maíz	7,77	0,96	26,86	24,09	27,87
Bovinaza	7,62	0,25	23,12	84,13	23,12
Gallinaza	7,35	1,09	9,04	23,61	8,28
Estiércol de oveja	8,17	0,7	10,63	66,99	15,19
Estiércol de Conejo	8,58	2,34	34,8	66,6	14,9
Gallinaza compostada	6,88	1,49	16,26	22,72	10,93
Residuos crudos	5,1	0,93	14,36	59,72	15,5
Hojarasca	5,73	0,9	35,21	21,96	39,03
Cereza de café	No dato	2,08	46,5	77,9	22,36
Hoja de plátano	5,78	0,26	9,28	80,4	35,17
Cascarilla de arroz	5,73	0,45	34,16	18	76,16

Fuente: AGROSAVIA (2018b)

A partir de los valores de nitrógeno, carbono orgánico, humedad y relación C:N de los materiales a mezclar, se calculan las cantidades necesarias de los residuos orgánicos para obtener una mezcla balanceada basada en la relación óptima de C:N. Estas cantidades se pueden definir de manera precisa utilizando la fórmula de la Universidad de Cornell (1996) (ecuación 3.1) que tiene en cuenta la humedad estimada de cada residuo.

$$R = \frac{Q_1 (C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 (C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 (C_3 \times (100 - M_3)) \dots}{Q_1 (N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 (C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 (C_3 \times (100 - M_3)) \dots} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Esta fórmula relaciona la sumatoria de diferentes parámetros para cada residuo (1, 2, 3, etc.). Incluye su peso (Q), humedad (M), contenido de carbono (C) y contenido de nitrógeno (N). Las cantidades o tipo de residuos deben variar de acuerdo con su disponibilidad para alcanzar una relación final entre 25 y 35 carbonos por cada nitrógeno.

Definidas las cantidades de los residuos, se recomienda cortarlos en pedazos más pequeños, mezclarlos muy bien, humedecerlos con un poco de agua e introducirlos a la caneca de predescomposición por las tapas laterales teniendo en cuenta que cada una de estas canecas soporta aproximadamente 40 kg de mezcla. Posteriormente, se sellan las tapas laterales y se giran durante 3 minutos con la manivela cambiando de dirección. Una vez la mezcla esté homogénea, se verifica el porcentaje de humedad, el cual debe estar alrededor de 50 % dependiendo de los materiales usados. Si la humedad está por debajo de este valor, se debe agregar agua por las puertas frontales, girar para humedecer la mezcla y verificar. Una prueba sencilla para determinar la humedad del material en predescomposición es la prueba del puño. Esta consiste en coger con la mano una cantidad de material y apretarlo con fuerza hasta que escurra el agua. Una mezcla con un 50 % de humedad solo debe generar de una a dos gotas de agua. Es importante controlar la humedad en la mezcla puesto que un porcentaje por encima del 50 % puede generar mal olor y atraer una gran cantidad de insectos, como moscas. Asimismo, una baja humedad no favorece el proceso de predescomposición, que ocurre debido a la presencia de microorganismos en los residuos. Durante el proceso de predescomposición (que puede durar entre 15 y 20 días), las canecas se deben girar diariamente entre 2 y 3 minutos, aproximadamente, para mejorar la aireación de la mezcla. Igualmente, se debe monitorear y ajustar la humedad para asegurar que el producto sea adecuado para alimentar a las lombrices.

Antes de introducir las lombrices en las mezclas, se puede realizar la prueba de alimentación explicada en el capítulo 2. Un porcentaje de mortalidad por encima

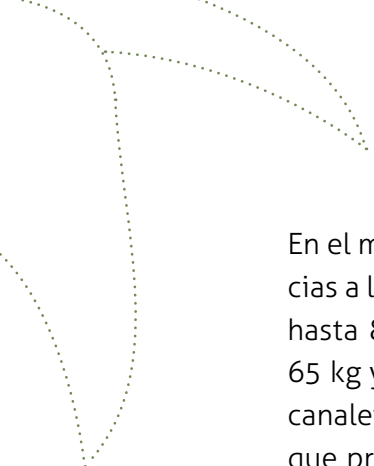
del 20 % (2 lombrices), indica que existe alguna condición desfavorable para la lombriz, por lo que se sugiere dejar la mezcla por más tiempo en predescomposición y buscar las causas por las cuales las lombrices no toleran el alimento.

Terminado el proceso de predescomposición, los residuos se transfieren a uno de los compartimentos de la sección de lombricompostaje, donde se adiciona el pie de cría de lombriz californiana (*E. foetida*). Es posible ajustar la cantidad de lombrices dependiendo de la rapidez con que se quiera procesar la mezcla, su disponibilidad en la zona o los recursos para conseguirlas. Se debe tener en cuenta que para procesar 1 kg de mezcla al día en condiciones favorables para la lombriz (temperatura, humedad, pH y materiales adecuados), se requieren 1,5 kg de lombrices adultas.

La duración del proceso de lombricompostaje depende de la cantidad de mezcla y de lombrices utilizadas. Tras una evaluación realizada en el proyecto, se determinó que 700 lombrices (adquiridas comercialmente y contadas 3 veces) equivalen a un kilogramo de pie de cría y que estas pueden consumir 700 gramos de mezcla en un día en condiciones adecuadas. De esta forma, para 40 kg de mezcla proveniente del módulo rotatorio, se calculó que el lombricompuesto alcanzó su madurez después de ocho semanas. Teniendo en cuenta las variaciones de la cantidad de la mezcla y de las lombrices, es necesario monitorear continuamente el estado de los residuos para establecer el punto de maduración del lombricompuesto.

Cada subdivisión del módulo de lombricompostaje puede alojar hasta 200 kg de mezcla precompostada, lo que equivale a 60 cm³ de material. Además, es posible agregar varias cargas de material precompostado hasta alcanzar esta cantidad de material, pero no se debe exceder la altura máxima de material para evitar el aumento de temperatura en la mezcla y la reducción de la aireación, variaciones que afectan la supervivencia de las lombrices.

Adicionalmente, es importante monitorear la temperatura y la humedad de la mezcla durante el proceso de lombricompostaje para asegurar la viabilidad de las lombrices. La temperatura óptima para el desarrollo normal de las lombrices oscila entre 20 y 25 °C. Temperaturas por debajo de este rango retrasan el proceso de lombricompostaje y temperaturas mayores a 25 °C ponen en riesgo la supervivencia de la lombriz. Durante el proceso de lombricompostaje se requiere una humedad más alta (70 % a 80 %) que en la predescomposición, puesto que las lombrices necesitan mantener su piel húmeda para respirar y moverse. No se debe exceder la cantidad de agua agregada, pues las lombrices se pueden ahogar.



En el módulo de lombricompostaje, el exceso de humedad se puede controlar gracias a la inclinación del piso, la cual proporciona un buen drenaje y permite aplicar hasta 8 l de agua para humedecer la primera capa de 20 cm de una mezcla de 65 kg y obtener 2 l de lixiviado, aproximadamente. El lixiviado recuperado en las canaletas se puede reincorporar varias veces a la mezcla durante el proceso hasta que presente un color marrón muy oscuro, que indica que el lixiviado se ha enriquecido con los ácidos húmicos y otros compuestos del lombricompostado y puede utilizarse dentro del esquema de fertilización. La frecuencia de riego dependerá de las condiciones ambientales externas. En caso de temperaturas externas superiores a 23 °C, el riego debe hacerse día de por medio y en caso de temperaturas menores, dos veces por semana.

Cuando se ha alcanzado una altura de 60 a 80 cm del lombricompostado y las lombrices se ubican en la parte superior, se aplica la primera capa de mezcla fresca a una subdivisión contigua para que las lombrices se desplacen hacia la mezcla nueva a través de la malla metálica que separa las subdivisiones. Si se desea producir lombricompostado en mayor cantidad y menor tiempo, se puede empezar llenando 2 o 3 subdivisiones y dejando las otras para sacar las lombrices del lombricompostado cuando esté listo. Cuando las lombrices descomponen todo el material, el lombricompostado está maduro. En esta instancia no se distingue el residuo original y el material adquiere una textura arcillosa.

Una vez las lombrices han completado la migración hacia el material fresco, se reduce la humedad al 40 % y se saca el lombricompostado maduro por la puerta frontal de la subdivisión. Entonces, el material puede utilizarse directamente en el cultivo o almacenarse en un lugar fresco y seco hasta por 6 meses manteniendo la humedad al 40 % y la aireación para no perder los microorganismos que enriquecen el lombricompostado.

Recomendaciones de mantenimiento del módulo de lombricompostaje

Para salvaguardar los componentes y garantizar una mayor duración del equipo, en cada uno de los sistemas se deben realizar actividades de mantenimiento periódicas. Para dicho fin, en la tabla 3.2 se brindan recomendaciones para el módulo de precompostaje y en la tabla 3.3 para el módulo de lombricompostaje.

Tabla 3.2. Recomendaciones básicas de mantenimiento para el módulo de precompostaje

Componente	Descripción	Frecuencia
Canecas rotativas	Realizar limpieza con abundante agua a cada tanque evitando que queden residuos de material ya compostado.	Cada vez que se complete un ciclo de precompost.
Estructura metálica	Revisar los componentes estructurales cerciorándose de que las columnas y los travesaños no estén oxidados o con poros que puedan afectar la integridad de la estructura.	Periódica
Rodachines	Revisar que los rodachines estén alineados y sin ningún desgaste que pueda afectar el rodamiento de los tanques. No es necesario aplicar ningún lubricante ya que son rodamientos cerrados libres de lubricación.	Periódica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Recomendaciones básicas de mantenimiento para el módulo de lombricompostaje

Componente	Descripción	Frecuencia
Submódulos de lombricompostaje	Realizar limpieza con abundante agua a cada submódulo de compostaje evitando que queden residuos de material ya compostado para evitar el deterioro del equipo y los olores no deseados.	Cada vez que se complete una fase de compostaje.
Estructura de madera	Revisar los componentes estructurales, (columnas y cerchas) con el fin de garantizar el buen estado estructural y visual de cada uno de los elementos y garantizar así su óptimo funcionamiento y durabilidad.	Periódica
Cubierta	Revisar amarres y estructura del tejado para evitar que se desintegren por acción del viento.	Periódica

Fuente: Elaboración propia



Capítulo 4

Uso de abonos orgánicos para la fertilización y el control de enfermedades con base en la experiencia de AGROSAVIA

ANDREA PAOLA CLAVIJO, ANDREA PAOLA ZULUAGA, MAURICIO SOTO SUÁREZ

En el presente capítulo se describen los beneficios de los abonos orgánicos para la fertilización y el control de enfermedades de acuerdo con las investigaciones realizadas por AGROSAVIA.

Efecto de la aplicación de materia orgánica de origen animal compostada (gallinaza) sobre la producción de tomate bajo condiciones protegidas

Con el fin de evaluar la efectividad del compost en la nutrición de plantas de tomate bajo invernadero, en el centro de investigación Tibaitatá de AGROSAVIA, se estableció un cultivo semicomercial en el que se utilizaron plántulas de tomate chonto libertador de aproximadamente 30 días. Se evaluaron 4 tratamientos a los que se les aplicó materia orgánica compostada en combinación con fertilización química. Se contó con un tratamiento testigo al que se le aplicó el 100 % de las dosis recomendadas de todos los fertilizantes químicos de acuerdo con los requerimientos del cultivo y los análisis del suelo. Los tratamientos evaluados se describen en la tabla 4.1 y en la figura 4.1.

Tabla 4.1. Tratamientos para la evaluación de compost en el cultivo de tomate bajo invernadero

Tratamientos	Descripción
T1	Testigo. Aplicación del 100 % de todos los nutrientes provenientes de fertilizantes químicos.
T2	Plan de nutrición con fertilizantes de lenta liberación (10 – 30 – 10, cal dolomita, sulfato de Mg, urea) aplicados en 3 momentos: presembrado, inicio de llenado de frutos (50 – 65 días después del trasplante (ddt) y frutos del primer racimo en tamaño arveja) y en cosecha plena (110 – 120 ddt).
T3	Aplicación de la cantidad de compost necesario para aportar el 25 % de N mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) que requiere el cultivo (basado en la concentración de NO_3^- y NH_4^+ del compost), más la cantidad de fertilizante utilizado en el T1 después de descontarle el aporte de N mineral que haría el compost aplicado.
T4	Aplicación de la cantidad de compost necesario para aportar el 50 % de N mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) que requiere el cultivo (basado en la concentración de NO_3^- y NH_4^+ del compost), más la cantidad de fertilizante utilizado en el T1 después de descontarle el aporte de N mineral que haría el compost aplicado.
T5	Aplicación de la cantidad de compost necesario para aportar el 75 % de N mineral que requiere el cultivo más la cantidad de fertilizante utilizado en el T1 después de descontarle el aporte de N mineral que haría el compost aplicado.

Fuente: AGROSAVIA (2018a)

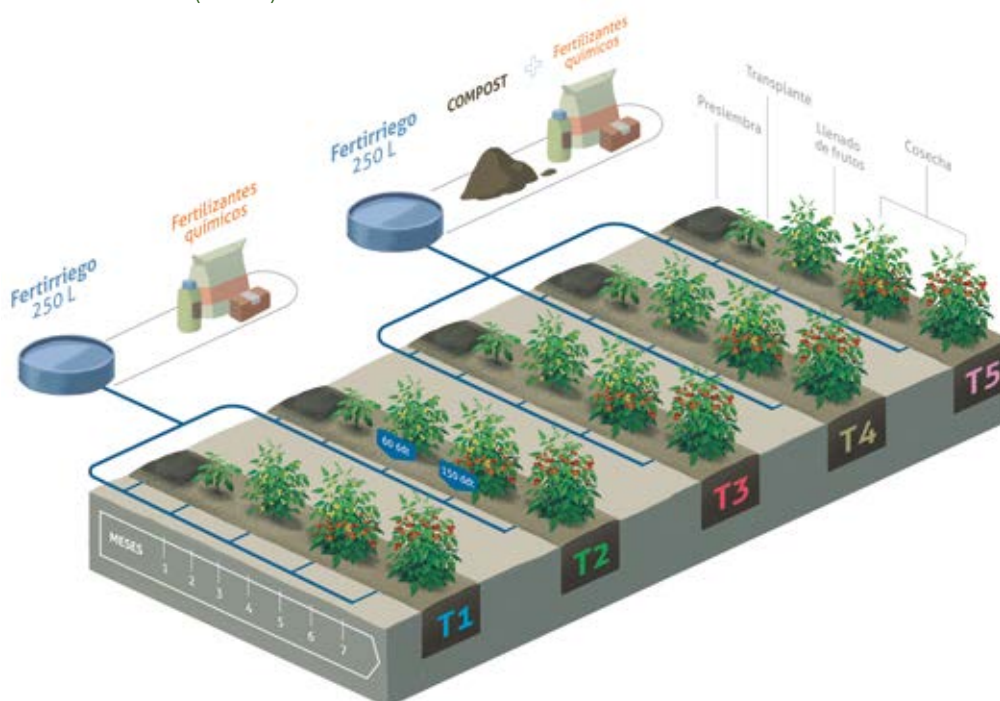


Figura 4.1. Tratamientos y tiempos de aplicación de los fertilizantes químicos (FQ) edáficos y compost en el ensayo de aplicación de materia orgánica al cultivo de tomate.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

La aplicación de compost en todos los tratamientos se realizó antes de la siembra de las plantas, en presiembra (15 días antes de trasplante). Los tratamientos fueron evaluados en un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 3 repeticiones por tratamiento, para un total de 15 unidades experimentales (UE). Para establecer los fertilizantes y las cantidades utilizadas se recurrió al análisis fisicoquímico de suelos, en el cual se demostró que el suelo era franco-arcilloso, con un contenido de materia orgánica medio y elevados niveles de P, Ca, S, Fe, Zn y B.

El plan de fertilización consistió en la fertilización sobre el suelo en el fertirriego. En la tabla 4.2 se describe el tipo de fertilización realizada en cada uno de los 5 tratamientos.

Tabla 4.2. Fertilización edáfica base para cada uno de los tratamientos evaluados

Fertilizante	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3		Tratamiento 4		Tratamiento 5	
	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha	g/planta	kg/ha
10 – 30 – 10	31,5	750	31,5	750	31,5	750	21,0	500	31,5	750
Cal dolomita	42,0	1000	42,0	1000	42,0	1000	42,0	1000	42,0	1000
Sulfato de magnesio	21,0	500	21,0	500	21,0	500	21,0	500	21,0	500
Urea	4,2	100	4,2	100	0,6	14,0	0,0	0,0	0,0	0
Compost	0,0	0,0	84,0	2000	126,0	3000	158,3	3770	84,0	2000

Fuente: AGROSAVIA (2018a)

En la tabla 4.3 se puede observar el plan de fertirriego para la totalidad del ciclo de producción de acuerdo con las necesidades de las plantas y al análisis de suelos realizado.

Tabla 4.3. Plan de fertirriego para cada uno de los tratamientos evaluados

Fertilizante	Plan de fertilización por sistema de riego						
	Meses						
	1	2	3	4	5	6	7
Fosfato monopotásico 0 – 51 – 34	112	560	630	224	224	175	126
Nitrato de potasio 0 13 – 3 – 43	476	770	980	1120	1050	770	490
Nitrato de calcio	490	840	1050	1225	1155	840	490
Sulfato de magnesio	525	1470	630	364	378	364	280
Sulfato de cobre	1,8	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	4,9

Quelato de hierro	5,3	6	6,3	6,3	6,0	5,3	1,8
Quelato de manganeso	1,9	2,2	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7
Quelato de zinc	1,4	1,7	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3
Klip boro	1,4	1,6	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3

Fuente: AGROSAVIA (2018a)

Las cantidades establecidas en la tabla 4.4 corresponden a la fertilización semanal, que fue repetida durante 4 semanas. Los fertilizantes fueron agregados a un tanque de 250 l y repartidos a las plantas a través del sistema de irrigación.

Las plántulas de tomate de 35 días fueron sembradas 30 días después de la fertilización edáfica presiembra. La figura 4.2 muestra el desarrollo del cultivo desde los primeros estadios (figura 4.2a) hasta la producción del cultivo (figura 4.2b).



Figura 4.2. Desarrollo del cultivo de tomate en el ensayo de aplicación de materia orgánica. a. Plantas de tomate 15 ddt. b. Plantas de tomate 3,5 meses.

Fotos: Mauricio Camelo Rusinque

La recolección de frutos inició 3 meses después de la siembra. La figura 4.3 muestra la producción de tomate del cultivo expresado en kg de fruta por planta. El tratamiento 3, consistente en la aplicación de compost para equilibrar los contenidos de materia orgánica del suelo más la fertilización química al 75 %, presentó los mejores resultados, a saber, 7,7 kg de tomate/planta. Con esto, fue un 3 % superior al tratamiento control (100 % de fertilización química, tratamiento 1).

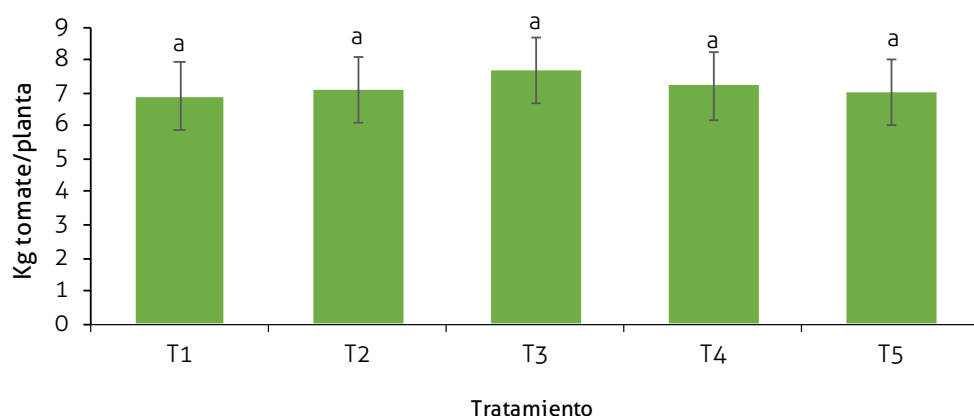


Figura 4.3. Producción de tomate en kg/planta durante un ciclo de cultivo. Las barras representan la media de producción de 10 racimos durante 3 meses de evaluación. Las letras iguales representan grupos homogéneos en el análisis Tukey ($p < 0.05$).

Fuente: AGROSAVIA (2018a)

La gallinaza compostada utilizada en este estudio favoreció el desarrollo del cultivo de tomate en invernadero. Fue evidente el aumento de la producción en las plantas a las que se les aplicó compost con fertilización química y como reemplazo de parte de la fertilización nitrogenada en los tratamientos 2, 3, 4 y 5. Los requerimientos nutricionales del tomate chonto libertador fueron suplementados satisfactoriamente a pesar de las reducciones en la fertilización química planteadas en los tratamientos. Resultados similares se han obtenido en otros trabajos en los que las enmiendas orgánicas favorecieron el desarrollo de los cultivos en invernadero (Atiyeh et al., 2000; De La Cruz et al., 2009). Aunque no se presentaron diferencias significativas en la producción de tomate entre los tratamientos, es posible establecer que la gallinaza compostada tuvo un efecto positivo en el rendimiento de las plantas de tomate, lo que sugiere que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica. La adición de materia orgánica mejora la microbiología del suelo, además de favorecer parámetros fisicoquímicos que permiten que el ciclaje de los nutrientes sea más eficiente durante la fase de extracción de la planta (Rodríguez et al., 2007).

Las aplicaciones de compost benefician el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de invernadero y las diferencias detectadas en los rendimientos de las plantas se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos y microorganismos presentes en el suelo (Atiyeh et al., 2000; Moreno et al., 2005). El tratamiento con mayor producción de tomate por planta fue el número 3, al cual se le aplicó un 25 % menos de urea. Así se obtuvo una producción media de 7,7 kg/planta, valor 3 veces superior a la producción

promedio de plantas manejadas de manera convencional (Nieto et al., 2002). Como resultado comparable, investigadores como Moreno et al. (2005) encontraron que con una mezcla de 50 % de lombricompostaje con arena se satisfacen los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate orgánico bajo condiciones de invernadero.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los reportados por Hashemimajd et al. (2004), quienes señalaron que el mejor desarrollo del cultivo de tomate se presentó con diferentes proporciones de compost, entre 25 y 50 %. Las diferencias que se encontraron en esta investigación, a pesar de no ser estadísticamente significativas, se pueden deber a la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, la rapidez con la que se transforman los nutrientes y las características fisicoquímicas del suelo (Moreno et al., 2005).

Al observar los resultados que se muestran en la figura 4.4 se puede encontrar la diferencia entre la cantidad de microorganismos (UFC/g de suelo) de todos los tratamientos antes de la aplicación de materia orgánica (figura 4.4a) y 4 meses después de la siembra (figura 4.4b). En el tratamiento 3 se puede observar un aumento de la cantidad de microorganismos con respecto al tratamiento testigo (T1). De acuerdo con investigaciones realizadas por Márquez et al. (2013), la cantidad de microorganismos totales es importante para definir la calidad de los suelos destinados al cultivo de tomate bajo invernadero. Por esta razón, es muy importante adicionar compost al suelo, pues proporciona un medio ambiente propicio para el desarrollo de hongos y bacterias capaces de establecer relaciones benéficas con las raíces de las plantas, y así aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

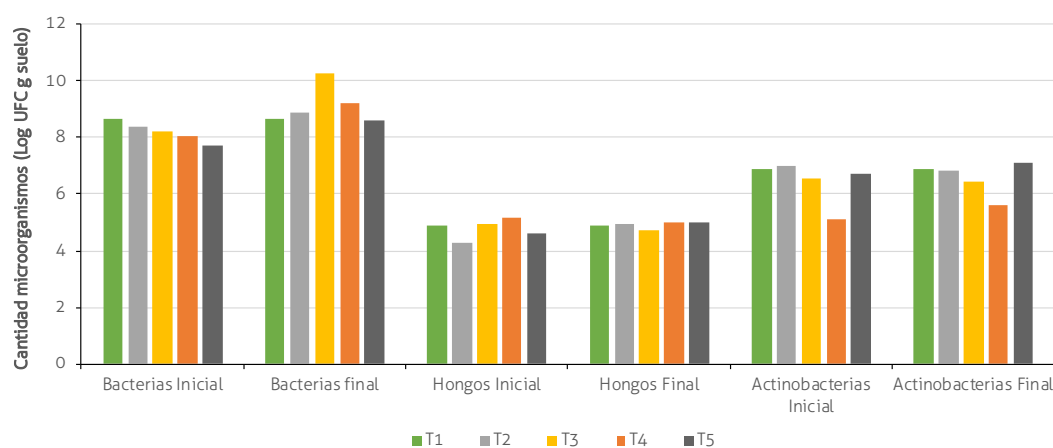


Figura 4.4. Recuento de microorganismos en suelos antes y después de la aplicación de materia orgánica.

Fuente: AGROSAVIA (2018a)



Uso de abonos orgánicos para el control de enfermedades del suelo

En este apartado abordaremos los mecanismos utilizados por los microorganismos que se encuentran en las enmiendas orgánicas, como el lombricompost, para controlar patógenos y suprimir enfermedades en plantas y presentaremos la evaluación inicial realizada por AGROSAVIA del lombricompost y sus componentes para controlar el patógeno *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Fol), causante de la marchitez o secadera en el tomate.

Interacciones entre microorganismos y plantas

Las plantas han evolucionado para enfrentar el estrés biótico (como enfermedades o plagas) y abiótico (como sequía, salinidad, etc.). Lo contrarrestan a través de elementos estructurales, como la pared celular, las ceras, los tricomas y las sustancias químicas, entre otros, y a través de las defensas que se pueden inducir o activar, como la respuesta sistémica inducida (ISR, por sus siglas en inglés) y la respuesta sistémica adquirida (SAR, por sus siglas en inglés) (Agrios, 2005). En la naturaleza, las plantas sanas y asintomáticas viven rodeadas de bacterias, hongos, oomicetos, virus y protistas, los cuales constituyen el microbioma de las plantas y forman consorcios complejos que influyen en su crecimiento y productividad (Hassani et al., 2018). Muchos estudios han demostrado el efecto benéfico de las interacciones de algunos de estos microorganismos en el desarrollo y protección de las plantas frente a factores ambientales adversos. Por ejemplo, se ha demostrado su efecto positivo en la supresión de enfermedades del suelo, en la inducción de SAR o ISR, en el incremento de la disponibilidad de nutrientes o en tolerancia a diferentes tipos de estrés abiótico. Estas interacciones no son unidireccionales, ya que las plantas también benefician a los microorganismos con los que interactúan, lo cual hace que haya una adaptación de estos microorganismos a nuevos nichos (Thrall et al., 2007).

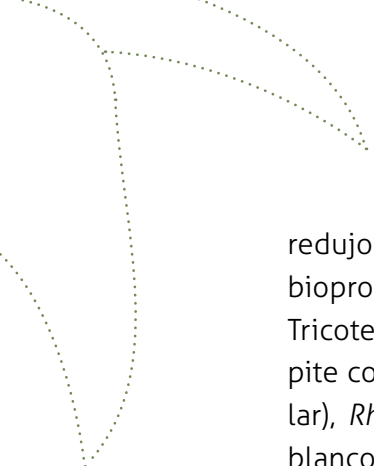
Históricamente, los sistemas agrícolas han sido manejados enfocándose en solo uno de los componentes del microbioma, como la nutrición, los patógenos, las malezas, etc. (Bell et al., 2019). La revolución verde liderada por el científico Norman Borlaug entre los años 1950 y 1960 fue un paquete de transferencia de tecnología en investigaciones agrícolas que trajo un aumento en la productividad debido al uso de variedades de cereales con alto rendimiento, la expansión de la infraestructura de irrigación, la modernización de las técnicas de manejo y el uso

de plaguicidas y fertilizantes. Además, se le atribuye haber salvado a un billón de personas de la hambruna. Sin embargo, el uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes de síntesis química ha acarreado a largo plazo otros problemas como la degradación del suelo y la contaminación de los recursos hídricos. Actualmente, en la era posrevolución verde, los científicos están cambiando el enfoque: alejándose de sistemas agrícolas que usen fertilizantes sintéticos y plaguicidas y transitando hacia sistemas que usen materiales orgánicos ecológicamente sostenibles, entre ellos, las aproximaciones con materiales compostados para su utilización como fertilizantes y supresores de enfermedades.

Mecanismos de supresión de enfermedades de los microorganismos del compost y el lombricompost

A pesar de las propiedades supresoras o reductoras de enfermedades del compostaje y el lombricompostaje, su uso y cualidades en esta área no son tan conocidas. A este respecto, hay estudios de los microorganismos asociados a las plantas que muestran una reducción en el efecto de los patógenos mediante diferentes sistemas o mecanismos como competencia por nutrientes o colonización a través de químicos y proteínas que inhiben el crecimiento o la colonización de otros microorganismos (proceso llamado antagonismo). Entre las moléculas o compuestos producidos destaca la producción de metabolitos secundarios (Haas & Défago, 2005), y la activación de sistemas de secreción tipo V y VI que pertenecen a los mecanismos dependientes de contacto (Hayes et al., 2014) o toxinas (Ghequire & De Mot, 2014). Estos son ejemplos que muestran la diversidad de los mecanismos por medio de los cuales el microbioma protege las plantas contra patógenos. A continuación, se describen ejemplos que ilustran diversos mecanismos de protección (figura 4.5).

Competencia entre poblaciones microbianas: en todos los ecosistemas, los organismos compiten por recursos y espacio. En el caso de los patógenos de plantas, estos se deben enfrentar al microbioma o comunidad de microorganismos asociados a las plantas presente en las semillas, las raíces, las partes aéreas, etc., y competir por espacio y nutrientes. Por ejemplo, la colonización de semillas de cohombro con una comunidad bacteriana redujo significativamente la enfermedad de podredumbre (*damping-off*) de las plántulas causada por *Pythium ultimum* (Chen et al., 2012). Asimismo, la reducción significativa de enfermedades de tomate causadas por los patógenos *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Forl), *Pyrenochaeta lycopersici*, *Pythium ultimum* y *Rhizoctonia solani*, se asoció con la presencia de microorganismos productores de sideróforos en las raíces de tomate, factor que



redujo el hierro disponible para los patógenos (de Brito et al., 1995). Un ejemplo de bioproductos disponibles que utilizan la competencia por espacio y nutrientes es Tricotec®, fabricado a base del hongo del suelo *Trichoderma koningiopsis* que compete con hongos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* (marchitamiento vascular), *Rhizoctonia solani* (adelgazamiento del tallo), *Sclerotinia sclerotiorum* (moho blanco) y *Sanguisorba minor* (moho blanco) y fue desarrollado por AGROSAVIA.

Antibiosis: es un proceso antagónico (efecto negativo) mediante el cual los microorganismos producen compuestos nocivos para otros, como lo son enzimas, agentes líticos, compuestos volátiles o sustancias tóxicas (Fravel, 1988). Un ejemplo de esto son las bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, las cuales producen antibióticos y son biocontroladores importantes de enfermedades causadas por hongos como la marchitez por *Fusarium oxysporum*, la sarna común de la papa por patógenos bacterianos como *Streptomyces scabies*, o el marchitamiento fúngico por oomicetos como *Phytophthora* (Silo-Suh et al., 1994).

Hiperparasitismo: es un tipo de antagonismo directo en el que el microorganismo ataca directamente al patógeno y lo mata. El hiperparasitismo se puede dividir en cuatro tipos, bacterias patógenas obligadas, *Hypovirus*, parásitos facultativos y predadores (Mehta et al., 2013). Uno de los ejemplos más conocidos de bacterias patógenas obligadas o bacterias que solo causan daño a sus huéspedes es el de *Pasteuria penetrans* y otras especies del género *Pasteuria* spp., las cuales tienen una distribución global y son patógenos obligados de 323 especies de nematodos (Chen & Dickson, 1998). Por otro lado, los *Hypovirus* son un tipo de virus de ARN que reducen la patogenicidad de los hongos que infectan. El ejemplo más conocido es el del *Hypovirus* que reduce la capacidad de producir enfermedad del hongo *Cryphonectria parasitica*, responsable de la enfermedad del tizón del castaño (Milgroom & Cortesi, 2004). Recientemente, se descubrió otro *Hypovirus*, aislado del patógeno *Alternaria alternata*, capaz de reducir su patogenicidad en árboles de manzana (Li et al., 2019).

Respuesta Sistémica Inducida (ISR) y Respuesta Sistémica Adquirida (SAR): tanto ISR como SAR son estados en los que hay un aumento de la capacidad de defensa de las plantas. En ambos casos, las plantas tienen las defensas inducidas o preestablecidas por una infección anterior de un patógeno, un microorganismo benéfico o un tratamiento químico (por ejemplo, ácido salicílico o quitina) que genera resistencia o tolerancia a un segundo ataque por un patógeno (Pieterse et al., 1996). Las comunidades microbianas en el compostaje pueden inducir ISR y SAR en las plantas y es uno de los mecanismos más efectivos para la protección de los cultivos.

A pesar del potencial del compostaje y el lombricompostaje en el control de enfermedades, hay muchos reportes inconsistentes sobre la capacidad de estos para controlar enfermedades, lo cual hace que su uso no sea tan extendido en la agricultura. Estas inconsistencias pueden deberse a que no existen parámetros establecidos —como el material a utilizar y el tiempo de madurez para utilizarlo— ni protocolos estandarizados para producir compostaje o determinar la cantidad de producto compostado a utilizar. La industria del compostaje utiliza algunos parámetros como indicadores para medir la supresión de enfermedades, tales como medidas de respiración microbiana, producción de carbono, salinidad y pH (Neher et al., 2017). Las ecoenzimas son una alternativa confiable para evaluar la calidad supresora del compostaje en poco tiempo. La evaluación de la actividad hidrolasa, oxidasa, aminopeptidasa y esterasa cuantificadas como indicadores de actividad funcional microbiana, son buenos indicadores de las propiedades supresoras del compostaje o lombricompostaje (Neher et al., 2017). En la actualidad, el uso de herramientas de la biología molecular como la secuenciación de alto rendimiento y el análisis de metagenómica permiten determinar la diversidad e identificar microorganismos presentes en el compostaje o lombricompostaje, lo cual ayuda a inferir las funciones de este microbioma en el metabolismo e idealmente establecer indicadores microbiológicos para hacer del compostaje un producto más confiable (Dominguez et al., 2019).

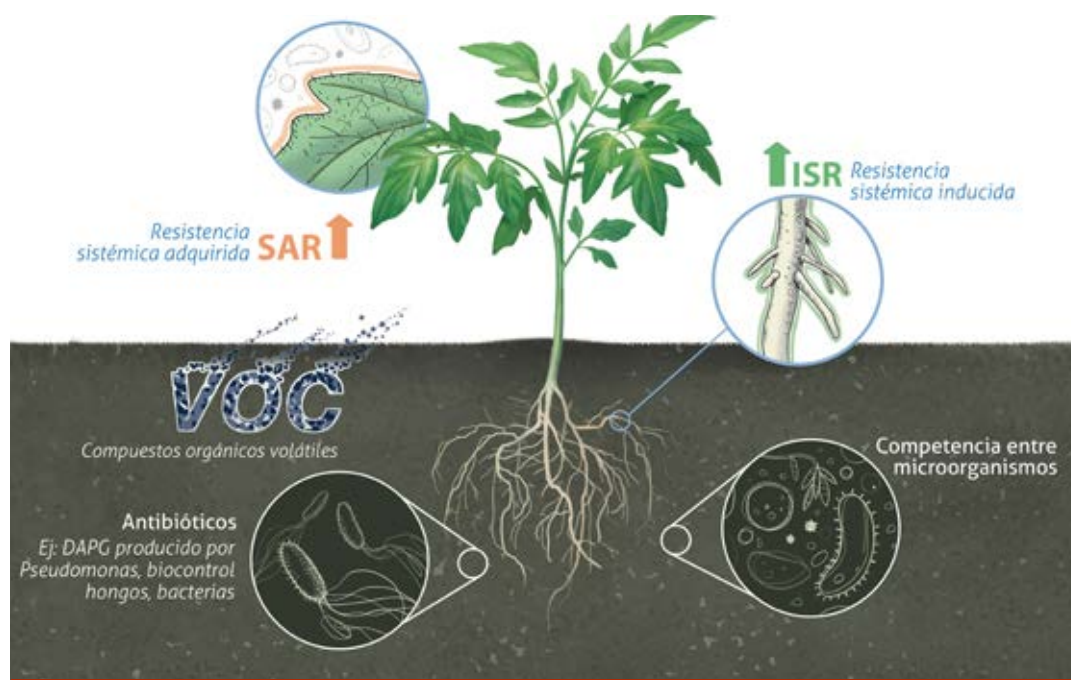


Figura 4.5. Mecanismos de supresión de enfermedades de los microorganismos presentes en el compostaje y el lombricompostaje.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Evaluación inicial en laboratorio del lombricompostaje y sus componentes para reducir el crecimiento del patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol 59) causante de la marchitez del tomate

Reconociendo las ventajas de aplicar enmiendas orgánicas en el suelo para mejorar la sanidad y productividad de los cultivos, en el marco del proyecto “Recomendaciones para el manejo integrado de gota y marchitez por *Fusarium*, dos enfermedades prevalentes en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas”, AGROSAVIA evaluó la capacidad del lombricompostado como enmienda orgánica para controlar patógenos del suelo y para proporcionar elementos. Por esta razón, probó métodos para implementar correctamente esta tecnología en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.

Para cumplir con estas metas, el módulo diseñado fue entregado a los productores pioneros en el cultivo de tomate en Antioquia, Boyacá y Cundinamarca para que replicaran esta tecnología. Igualmente, se dictaron talleres para reforzar las bases teóricas del proceso, evitar errores comunes y aprender a utilizar el módulo de lombricompostaje.



Figura 4.6. Acompañamiento a productores que recibieron el módulo de lombricompostaje.

Foto: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

A estos productores se los acompañó por algunos meses para asegurar el correcto funcionamiento del módulo y la obtención de un producto de calidad (figura 4.6) que pudieran utilizar no solo en el cultivo de tomate sino en otros cultivos de su predio. Durante el acompañamiento se proporcionó una mezcla personalizada a cada productor, la cual varió en función de los residuos orgánicos disponibles en su predio (tabla 4.4) y se ajustó a las cantidades para alcanzar una relación C : N cercana a 30. Asimismo, se colectaron muestras de lombricomposteo y lixiviados maduros de productores de Antioquia y Boyacá.

Como parte de una primera apuesta de AGROSAVIA para determinar el potencial de estos lombricomposteos en la reducción del crecimiento del hongo *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Fol), que causa la marchitez vascular en el tomate, se-cadera o dormidera de la planta, se realizó un estudio en laboratorio. Este estudio consistió en determinar el crecimiento del hongo patógeno en presencia de los lombricomposteos o sus componentes. Se utilizó una cepa patógena (capaz de producir la enfermedad en la planta) de *Fol* aislada de plantas de tomate de un cultivo comercial en el departamento de Antioquia y se evaluaron cuatro diferentes lombricomposteos y lixiviados contra esta cepa, los cuales fueron colectados en los predios de los productores. Se incluyeron lombricomposteos esterilizados y lixiviados filtrados para eliminar microorganismos de las enmiendas.

Tabla 4.4. Ejemplo de mezclas personalizadas de residuos orgánicos para lombricompostaje que se proporcionaron a los productores de tomate bajo condiciones protegidas en tres departamentos

Municipio, departamento	El Peñol, Antioquia			
	Peso (kg)	Humedad (%)	C (%)	N (%)
Bovinaza	14	84,13	23,12	0,25
Bioresiduos	7	59,7	14,36	0,93
Cerdo	5	60	28	3,9
Hojarasca	10	21,96	35,21	0,9
Cascarilla	4	9	34,16	0,45
			C : N	30,38

Municipio, departamento	Santa Sofía, Boyacá			
	Peso (kg)	Humedad (%)	C (%)	N (%)
Estiércol de oveja	15	66,9	10,63	0,7
Tomate	10	92,35	2,79	0,1
Residuos tomate	7	21,82	37,43	0,75
Hojarasca	6	21,96	35,21	0,9
			C : N	35,77

Municipio, departamento	Fómeque, Cundinamarca			
	Peso (kg)	Humedad (%)	C (%)	N (%)
Bioresiduos	15	59,7	14,36	0,93
Gallinaza compostada	8	22,72	16,26	1,49
Hojarasca	5	21,96	35,21	0,9
Cascarilla	7	9	34,16	0,45
			C : N	29,56

Fuente: AGROSAVIA (2018b)

En los ensayos de laboratorio se monitoreó el crecimiento del hongo en un medio de cultivo en contacto directo con los lombricompuestos o lixiviados con el objetivo de que las sustancias difundidas en el medio de cultivo afectaran el crecimiento del hongo. El potencial para controlar el crecimiento del hongo, o potencial antagonista, se midió por el tamaño de la colonia del hongo con respecto a un control sin lombricompuesto. En este caso, un mayor potencial controlador se reflejaría en el tamaño más reducido de la colonia en comparación al control.

La capacidad de los lombricompuestos y sus microorganismos para reducir el crecimiento de *Fol* fue demostrada en los ensayos de laboratorio. Todos los lombricompuestos evaluados mostraron una reducción significativa del crecimiento del hongo, con porcentajes entre el 74 % y el 100 % de inhibición en condiciones de laboratorio (figura 4.7, tabla 4.5). Al esterilizar o filtrar las enmiendas colectadas esta propiedad se perdió y el hongo creció en proporciones similares al control (figura 4.7), evidenciando la necesidad de la presencia de los microorganismos en las enmiendas para inhibir el crecimiento del hongo. Adicionalmente, con las diluciones del lixiviado se logró obtener hasta un 76 % de reducción en el crecimiento del hongo con un lixiviado 10 veces diluido (tabla 4.6).



Figura 4.7. Muestra representativa de los resultados de los ensayos de difusión con lombricompostos (LC) sobre *Fol*. El control no fue tratado con LC. El LC estéril fue tratado por autoclave para eliminar todos los microorganismos.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

Tabla 4.5. Porcentaje de inhibición de *Fol* 59 en ensayo de difusión con LC de productores de Antioquia

Lixiviado	Porcentaje de inhibición ($\pm$ de)
LC 1*	99,25($\pm$ 1,43)
LC 1, estéril	39,07($\pm$ 18,62)
LC 2*	79,48($\pm$ 31,13)
LC 2, estéril	-0,03($\pm$ 26,34)
LC 3	84,82($\pm$ 20,72)
LC 3, estéril	14,73($\pm$ 61,37)
LC 4*	83,67($\pm$ 22,05)
LC 4, estéril	25,5($\pm$ 52,26)
LC 5*	74,74($\pm$ 34,32)
LC 5, estéril	3,61($\pm$ 6,7)

Nota: Cuatro LC fueron utilizados y las submuestras fueron esterilizadas con autoclave. Porcentaje de inhibición ($\pm$ Desviación estándar de la media) Test de Kruskal - Wallis. $X^2= 29,40$. $df= 9$, $p < 0.0006$. * Diferencias significativas entre LC y LC -estéril, $p < 0.05$. Medias de cuadrados mínimos para comparaciones múltiples con corrección de Bonferroni.

Fuente: AGROSAVIA (2018b)



Estos resultados indican que se necesita una comunidad microbiana activa que produzca constantemente sustancias que actúen contra del patógeno. Existe una amplia variedad de sustancias antimicrobianas y sistemas de secreción que utilizan las bacterias en la competencia por interferencia o antibiosis (García & Comstock, 2018). Además, se ha observado que al evaluar sobrenadantes de cultivo de los microorganismos (medio líquido de cultivo sin microorganismos después de su crecimiento), el crecimiento de patógenos (hongos incluidos) o su esporulación redujo (Agarwal et al. 2017; Daguerre et al. 2014; Errakhi et al. 2009; Jas & Pan, 2007; Xu et al. 2019). Esto indica la necesidad de una comunidad de microorganismos activa en las enmiendas aplicadas para actuar sobre los patógenos.

En el caso de las diluciones para los lixiviados, los resultados de inhibición con la mayoría de las diluciones y lombricompostos son importantes porque en las recomendaciones de uso de los lixiviados se establece la realización de diluciones al 10 % y 5 % antes de su aplicación (Cuervo et al., 2016). De acuerdo con estos resultados, se observa una reducción del crecimiento del patógeno con las diluciones recomendadas. El uso de lixiviados de LC se ha centrado principalmente en la promoción del crecimiento de la planta, ya sea como fertilizantes o productores de moléculas involucradas en el crecimiento en tomate y otros cultivos (Ali et al., 2014; Aremu et al., 2015; Arthur et al., 2012; Ávila et al., 2015; Quaik et al., 2012). En este trabajo se encontró que los lixiviados pueden tener además un potencial para suprimir patógenos del suelo como *Fol* en el cultivo de tomate (tabla 4.7). Evaluaciones posteriores en la planta podrían considerar la inclusión de los lixiviados de LC no solo como alternativas o complementos de fertilización sino como supresores de *Fol*.

Por otra parte, se realizó también una evaluación de reducción de crecimiento del hongo con 229 microorganismos aislados de los LC. En este caso, en el mismo medio de cultivo se enfrentaron en posiciones opuestas el hongo y el microorganismo a evaluar en un diseño conocido como ensayo dual de antagonismo. Como control de crecimiento se cultivó el patógeno sin ningún microorganismo adicional y se determinó el porcentaje de inhibición o reducción del patógeno como porcentaje de crecimiento comparado con el control. Se encontraron 7 bacterias y 2 hongos que lograron reducir el crecimiento en más del 30 % en 3 ensayos independientes (figura 4.9). Estos microorganismos están siendo caracterizados y serán identificados en una etapa posterior del proyecto.

Tabla 4.6. Porcentaje de inhibición de crecimiento de *Fol 59* en un ensayo de difusión con lixiviados de productores del departamento de Antioquia

Porcentaje promedio de inhibición de crecimiento de <i>Fol 59</i> en presencia de lixiviados				
Lixiviado	Concentración Lixiviado			
	100%	50%	20%	10%
2	96.45 (±0.62)	85.04(±19.98)	83.78 (±21.6)	76.41(±25.31)
3	91.31 (±8.06)	87.6 (±14.37)	93.98 (±6.4)	87.52(±15.18)
4	91.88(±11.39)	89.1 (±9.25)	86.39(±20.42)	90.08(±13.32)
Lixiviado	Estéril		Filtrado	
2	20.72(±33.25)		-15.82(±25.43)	
3	16.3 (±19.04)		17.22 (±29.28)	
4	11.18(±21.95)		-26.15(±10.79)	

Nota: Se utilizaron diferentes concentraciones de los lixiviados (100 % - 10 %). Además, se incluyó un lixiviado esterilizado por autoclave (estéril) y otro esterilizado por filtración (filtrado). El número del lixiviado se refiere a los predios de los productores donde se obtuvo el LC. La desviación estándar de la media se indica entre paréntesis.

Fuente: AGROSAVIA (2018b)



Figura 4.8. Muestra representativa de la inhibición sobre el crecimiento de *Fol 59* ejercida por un lixiviado y sus diluciones. Los porcentajes indican la concentración del lixiviado evaluado. El lixiviado estéril se trató con autoclave y el filtrado se hizo con una membrana de nitrocelulosa con poro de 0,2µm.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

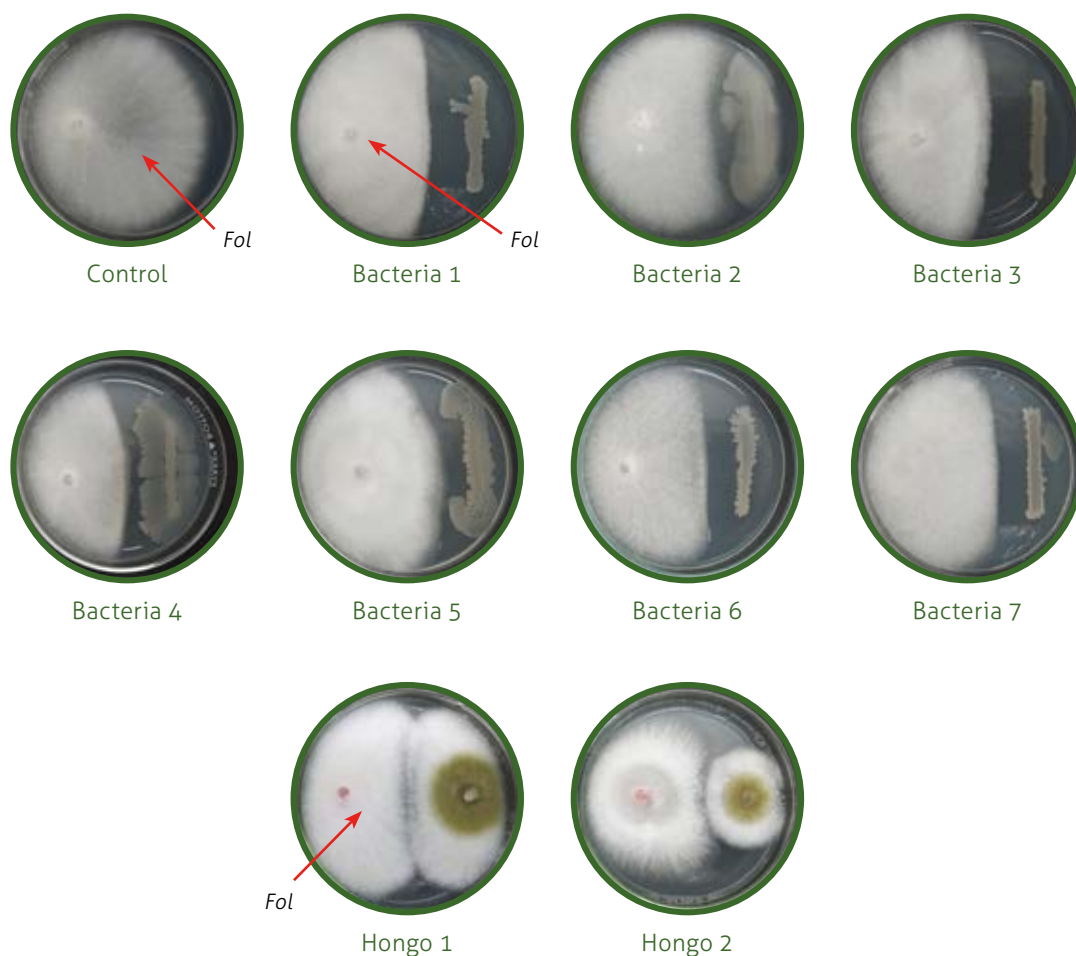


Figura 4.9. Microorganismos con potencial antagonista contra *Fol* aislados a partir de lombricompuestos.

Fotos: Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

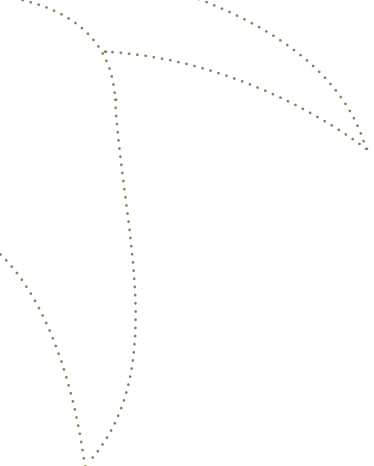
Cada círculo es una imagen representativa de los ensayos de antagonismo contra *Fol* (a la izquierda de los cultivos, flecha roja) para cada una de las 7 cepas bacterianas y 2 hongos con mayor potencial controlador de acuerdo con la evaluación en laboratorio. El control corresponde a un cultivo de *Fol* sin ningún microorganismo.

Se ha reportado una variedad de microorganismos aislados de lombricompuestos tan amplia como las mezclas de residuos orgánicos que aportan una alta diversidad de microorganismos. Entre los microorganismos aislados con potencial antagónico frente a fitopatógenos se han reportado cepas del género *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Actinobacteria*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, entre otros

(Antoniou et al., 2017; Gopal et al., 2009; Gopalakrishnan et al., 2014; Usha et al., 2012; Vida et al., 2016).

En este punto de la investigación realizada por AGROSAVIA, los resultados iniciales de ensayos de laboratorio muestran el potencial del lombricompost producido en el módulo de lombricompostaje de los predios de los productores para reducir el crecimiento del patógeno del suelo *Fol*. Sin importar la mezcla de residuos orgánicos usados, su aplicación al suelo podría ser una alternativa para controlar la enfermedad de la secadera. También se demostró la importancia de mantener una comunidad de microorganismos activa en estas enmiendas. Por lo tanto, una vez obtenido el lombricompost, su almacenamiento en un lugar fresco, protegido del sol y la lluvia y que mantenga la humedad entre 70 y 80 % es esencial para asegurar la supervivencia de los microorganismos.

La siguiente etapa de la investigación comprenderá la elaboración de lombricompostos en el módulo y su aplicación sobre plantas inoculadas con el hongo para determinar su capacidad para inhibir la enfermedad y el efecto sobre la producción. De la misma manera, los microorganismos prometedores serán evaluados en el cultivo para determinar su potencial como posibles agentes biocontroladores de la marchitez por *Fol*.



Glosario

Compost o composta: Producto obtenido a partir de diferentes materiales orgánicos sometidos a un proceso biológico de oxidación denominado compostaje. Se usa como enmienda y abono orgánico para el suelo.

Compostaje: Proceso mediante el cual los microorganismos (bacterias, hongos) y las lombrices u organismos invertebrados convierten los residuos orgánicos en compost.

Edáfico: Relativo al suelo.

Fertilización edáfica: Fertilización realizada con aplicaciones al suelo.

Fitopatógeno: Microorganismo que causa enfermedad en plantas.

Lombricompostaje: Sinónimo de vermicompostaje. Es una biotecnología mediante la cual se usan lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) para convertir los residuos orgánicos en lombricompost.

Lombricompuesto: Sinónimo de vermicompuesto, lombricompost o vermicompost que es el producto de la digestión de los residuos orgánicos (vegetales o animales) de la lombriz.

Microbioma: Es una comunidad de microorganismos (bacterias, hongos, algas, protistas y virus) que viven e interactúan en un ambiente determinado

Patógeno: Microorganismo que causa una enfermedad.

Referencias

- Achmon, Y., Sade, N., del Mar, W. M., Fernández, J., Harrold, D., Stapleton, J., Vandergheynst, J., Blumwald, E., & Simmons, C. (2018). Effects of short-term biosolarization using mature compost and industrial tomato waste amendments on the generation and persistence of biocidal soil conditions and subsequent tomato growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(22), 5451-5461. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00424>
- Agarwal, M., Dheeman, S., Dubey, R. C., Kumar, P., Maheshwari, D. K., & Bajpai, V. K. (2017). Differential antagonistic responses of *Bacillus pumilus* MSUA3 against *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* causing fungal diseases in *Fagopyrum esculentum* Moench. *Microbiological Research*, 205, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.012>
- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*. Elsevier.
- Agronet. (2022). *Área, producción, rendimiento y participación nacional por cultivo*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ali, M. R., Mehraj, H., Uddin, A. F. M., & Officer, S. (2014). Foliar application of the leachate from vermicompost and mustard oil cake on the growth and yield of summer tomato. *The United Graduate School of Agricultural Sciences*, 22(8), 1233–1237. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.22.08.22044>
- Alshehrei, F., & Ameen, F. (2021). Vermicomposting: a management tool to mitigate solid waste. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3284–3293. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.072>
- Ameen, F., & Al-Homaidan, A. A. (2021). Compost inoculated with fungi from a mangrove habitat improved the growth and disease defense of vegetable plants. *Sustainability*, 13(1), 124. <https://doi.org/10.3390/su13010124>
- Antoniou, A., Tsolakidou, M. D., Stringlis, I. A., & Pantelides, I. S. (2017). Rhizosphere microbiome recruited from a suppressive compost improves plant fitness and increases protection against vascular wilt pathogens of tomato. *Frontiers in Plant Science*, 8(11), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02022>
- Aremu, A. O., Stirk, W. A., Kulkarni, M. G., Tarkowská, D., Turečková, V., Gruz, J., Šubrtová, M., Pěnčík, A., Novák, O., Doležal, K., Strnad, M., & Van Staden, J. (2015). Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived

vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant Growth Regulation*, 75(2), 483–492. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-0011-0>

Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). *Manual fertilizantes y enmiendas*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central; Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria; Escuela Agrícola Panamericana.

Arthur, G. D., Aremu, A. O., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2012). Vermicompost leachate alleviates deficiency of phosphorus and potassium in tomato seedlings. *HortScience*, 47(9), 1304–1307. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.9.1304>

Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S., & Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei* Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44(6), 709–724. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70084-0](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70084-0)

Ávila, L., Rodríguez, A., Rodríguez, N., Guevara, R. G., Torres, I., Ocampo, R. V., & Moustapha, B. (2015). Vermicompost leachate as a supplement to increase tomato fruit quality, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(1), 46–59. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000005>

Azcón, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill.

Bell, T., Alcalá-Briseño, R. I., Barbercheck, M., & Hockett, K. (2019). Manipulating wild and tamed phytobiomes: challenges and opportunities. *Phytobiomes Journal*, 3(1), 3–21. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-01-19-0006-W>

Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, 36(3-4), 177–198. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(00\)01062-1](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1)

Budroni, M., Mannazzu, I., Zara, S., Saba, S., Pais, A., & Zara, G. (2020). Composition and functional profiling of the microbiota in the casts of *Eisenia fetida* during vermicomposting of brewers' spent grains. *Biotechnology Reports*, 25, e00439. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00439>

Carrasco, J. J., Squella, N. F., Riquelme, S. J., Hirzel, C. J., & Uribe, C. H. (2012). Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación. Salesianos Impresores.

Cao, Y., Tian, Y., Wu, Q., Li, J., & Zhu, H. (2021). Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): A comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities,

metabolic functions and vermicompost quality. *Bioresource Technology*, 320(B), 124404. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124404>.

Che, I., & Mohamad, A. (2019). Chapter 16. The use of vermiwash and vermicompost extract in plant disease and pest control. En C. Egbuna & B. Sawicka (Eds.), *Natural remedies for pest, disease and weed control* (pp. 187-201). Academic Press.

Chen, M. H., Jack, A. L. H., McGuire, I. C., & Nelson, E. B. (2012). Seed-colonizing bacterial communities associated with the suppression of pythium seedling disease in a municipal biosolids compost. *Phytopathology*, 102(5), 478-489. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-11-0240-R>

Cornell University. (1996). *C/N Ratio*. http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2017). *Riesgos determinados sobre los principales contaminantes químicos y microbiológicos en tomate cultivado bajo condiciones protegidas en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia* [Informe final de meta]. AGROSAVIA.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2018a). *Evaluación del efecto de aplicación de técnicas de compostaje y vermicompostaje sobre fertilización del cultivo de tomate bajo invernadero* [Informe final de meta]. AGROSAVIA.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2018b). *Compostaje y vermicompostaje para aumentar la capacidad supresora del suelo frente a goma y marchitez por Fusarium en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. [Informe final de meta]. AGROSAVIA.

Cuervo, J. L., Sandoval, A., Martínez, N., Gonzalez, L. P., & Torres, A. F. (2016). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura en Bogotá D. C.* Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

Daguerre K. S., Edel-Hermann, V., & Steinberg, C. (2014). Fungal proteins and genes associated with biocontrol mechanisms of soil-borne pathogens: a review. *Fungal Biology Reviews*, 28(4), 97-125. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2014.11.001>

Damian, M. J., Gonzáles, F., Quiñones, P., & Terán, J. R. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141-158. <http://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>

- 
- Daza, M., Oviedo, E., Marmolejo, L., & Torres, P. (2015). Selección de sistemas agroambientales con potencial uso de compost de biorresiduos municipales. *Acta Agronómica*, 64(2), 134-145. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43977>
- De Brito, M. A., Gagne, S., & Antoun, H. (1995). Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied and Environmental Microbiology Journal*, 61(1), 194-199. <https://doi.org/10.1128/aem.61.1.194-199.1995>
- De La Cruz, E., Estrada, M. A., Robledo, V., Osorio, R., Márquez, C., & Sánchez, R. (2009). *Tomato production in greenhouse using compost and vermicompost as substrate. Universidad y Ciencia*, 25(1), 59-67.
- Dees, P. M., & Ghiorse, W. C. (2001). Microbial diversity in hot synthetic compost as revealed by PCR amplified rRNA sequences from cultivated isolates and extracted DNA. *FEMS Microbiology Ecology*, 35, 207-216.
- Delgado, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lampsakos*, 17, 77-82. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>
- Dominguez, J., Aira, M., Kolbe, A. R., Gómez, M., & Pérez, M. (2019). Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. *Scientific Reports*, 9, 9657. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46018-w>
- Errakhi, R., Lebrihi, A., & Barakate, M. (2009). In vitro and in vivo antagonism of actinomycetes isolated from Moroccan rhizospheric soils against *Sclerotium rolfsii*: a causal agent of root rot on sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Microbiology*, 107(2), 672-681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04232.x>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. [FAO]. (2023). *Área, producción, rendimiento y participación mundial por cultivo*. FAO.
- Fravel, D. R. (1988). Role of antibiosis in the control of plant diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 26, 75-91. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.000451>
- García, C. (2008). *Enmiendas orgánicas para suelos basadas en residuos orgánicos*. Academia de Ciencias de la Región de Murcia.

- García, L., & Comstock, L. (2018). Bacterial antagonism in host-associated microbial communities. *Science*, 361(6408), eaat2456. <https://doi.org/10.1126/science.aat2456>
- Ghequire, M. G. K., & De Mot R. (2014). Ribosomally encoded antibacterial proteins and peptides from *Pseudomonas*. *FEMS Microbiology Reviews*, 38(4), 523-568. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12079>
- Gómez, M. (2006). *Manual técnico Microfertisa* [Manual técnico]. Microfertisa.
- Gopal, M., Gupta, A., Sunil, E., & Thomas, G. (2009). Amplification of Plant Beneficial Microbial Communities During Conversion of Coconut Leaf Substrate to Vermicompost by *Eudrilus* sp. *Current Microbiology*, 59(1), 15–20, <https://doi.org/10.1007/s00284-009-9388-9>
- Gopalakrishnan, S., Vadlamudi, S., Bandikinda, P., Sathya, A., Vijayabharathi, R., Rupela, O., Kudapa, H., Katta, K., & Varshney, R. K. (2014). Evaluation of Streptomyces strains isolated from herbal vermicompost for their plant growth-promotion traits in rice. *Microbiological Research*, 169(1), 40–48, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.008>
- Haas, D., & Défago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3, 307-319. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1129>
- Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., & Shariatmadari, H. (2004). Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*, 27(6), 1107–1123. <https://doi.org/10.1081/PLN-120037538>
- Hassani, M. A., Durán, P., & Hacquard, S. (2018). Microbial interactions within the plant holobiont. *Microbiome*, 6(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>
- Hayes, C. S., Koskiniemi, S., Ruhe, Z. C., Poole, S. J., & Low, D. A. (2014). Mechanisms and biological roles of contact-dependent growth inhibition systems. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 4(2), a010025. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a010025>
- Hirzel, J., & Salazar, F. (2011). Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización de cultivos. En J. Carrasco, F. Squella, F. Riquelme, J. Hirzel, & H. Uribe (Eds.), *Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación en territorios degradados* (pp. 69-98). Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. [ICONTEC]. (2011). *Norma técnica NTC colombiana 5167 productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. ICONTEC.

Jack, A., & Thies, J. E. (2006). *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press.

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzman, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Manual técnico Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. AGROSAVIA.

Jaramillo, J., Valencia, C., Aguilar, P., & Guzmán, M. (2013). *Modelo Tecnológico para el cultivo del tomate bajo condiciones protegidas en el oriente antioqueño*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica].

Li, H., Bian, R., Liu, Q., Yang, L., Pang, T., Salaipeth L., Andika, I. B., Kondo, H., & Sun, L. (2019). Identification of a novel hypovirulence-inducing hypovirus from *Alternaria alternata*. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1076, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01076>

Liu, Y., Walkey, C. J., Green, T. J., Van Vuuren, H. J., & Kitts, D. D. (2016). Enhancing the natural folate level in wine using bioengineering and stabilization strategies. *Journal Article Food Chem Food chemistry*, 194, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.138>

Márquez, C., Sayani, López, T., Cano, P., & Moreno, A. (2013). Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(3), 279-286, <https://doi.org/10.5154/rchsh.2012.12.072>

Mehta, C. M., Palni, U., Franke-Whittle, I. H., & Sharma, A. K. (2013). Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste management*, 34(3), 607-622. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.012>

Milgroom, M., & Cortesi, P. (2004). Biological control of chestnut blight with hypovirulence: a critical analysis. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 311-338.

Mirabelli, E. (2008). *El compostaje proyectado a la lombricultura*. Hemisferio Sur.

Mitsuboshi, M., Kioka, Y., Noguchi, K., & Asakawa, S. (2018). Evaluation of suppressiveness of the soils exhibiting soil-borne disease suppression after long-term application of organic amendments by the co-cultivation method of

pathogenic *Fusarium oxysporum* and indigenous soil microorganisms. *Microbes and Environments*, 33(1), 58–65. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME17072>

Morauf, C., & Steinkellner, S. (2015). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and compost affect tomato root morphology. *European Journal of Plant Pathology*, 143(2), 385–398. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0691-y>

Moreno, A., Valdés, M. T., Perezgasga, V., & Zarate, T. (2005). *Development of tomatoes in substrates of vermicompost/ sand under greenhouse conditions*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile.

Moreno, J. & Moral, R. (2008). *Compostaje*. Mundi Prensa Libros.

Múnera, G. (2012). *Manual general análisis de suelos y tejido vegetal*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Neher, D. A., Fang, L., & Weicht, T. R. (2017). Ecoenzymes as indicators of compost to suppress *Rhizoctonia Solani*. *Compost Science & Utilization*, 25(4), 251–261. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1300548>

Nieto, A., Murillo, B., Troyo, E., Ángel Larrinaga, J. A., & García, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8).

Peña, E., Carrión, M., Martínez, F., Rodríguez, R., & Companioni, N. (2002). *Manual de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” [INIFAT].

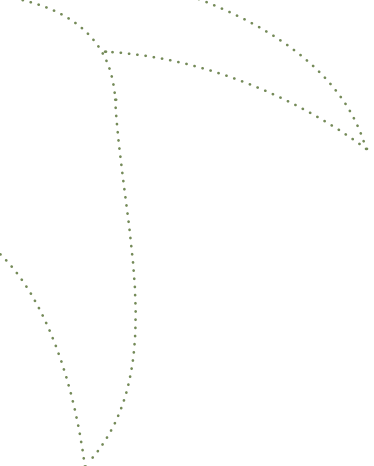
Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de La Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 10–29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000300002>

Pieterse, C. M., van Wees S. C., Hoffland, E., van Pelt J. A., & van Loon L. C. (1996). Systemic resistance in Arabidopsis induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression. *Plant Cell* 8(8), 1225–1237. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.8.1225>

Pugliese, M., Liu, B., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2011). Microbial enrichment of compost with biological control agents to enhance suppressiveness to four soil-borne diseases in greenhouse. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 118(2), 45–50. <https://doi.org/10.1007/BF03356380>

- Quaik, S., Embrandiri, A., Rupani, P. F., & Ibrahim, M. H. (2012). Potential of Vermicomposting Leachate as Organic Foliar Fertilizer and Nutrient Solution in Hydroponic Culture: A Review. *2nd International Conference on Environment and Bioscience*, 44(10), 12–16. <https://doi.org/10.7763/IPCBE>
- Raza, S. T., Wu, J., Rene, E. R., Ali, Z., & Chen, Z. (2022). Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology. *Journal of Cleaner Production*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132200>
- Rodríguez, N., Cano, P., Favela, E., Figueroa, U., de Paul, V., Palomo, A., Márquez, C., & Moreno, A. (2007). Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 185–192. <https://doi.org/ISSN:1027-152X>
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO.
- Rorat, A., & Vandenbulcke, F. (2019). Earthworms converting domestic and food industry wastes into biofertilizer. En M. Vara, P. J. de Campos Favas, S. Meththika, & S. Venkata (Eds.), *Industrial and Municipal Sludge* (pp. 83-106). Butterworth-Heinemann.
- Rorat, A., Kacprzak, M., Vandenbulcke F., & Płytycz B. (2013). Soil amendment with municipal sewage sludge affects the immune system of earthworms *Dendrobaena veneta*. *Applied Soil Ecology*, 64, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.017>
- Silo-Suh, L. A., Lethbridge, B. J., Raffel, S. J., He, H., Clardy, J., & Handelsman, J. (1994). Biological activities of two fungistatic antibiotics produced by *Bacillus cereus* UW85. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(6), 2023–2030. <https://doi.org/10.1128/aem.60.6.2023-2030.1994>
- Somarriba, R., & Guzmán, F. (2004). *Guía de lombricultura. Guía técnica No. 4*. Universidad Nacional Agraria.
- Stewart-Wade, S. M. (2019). Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 - Compost-based amendments. *Scientia Horticulturae*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108856>
- Thrall, P. H., Hochberg, M. E., Burdon, J. J., & Bever, J. D. (2007). Coevolution of symbiotic mutualists and parasites in a community context. *Trends Ecology Evolution*, 22(3), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.11.007>

- Tjalling, H. (2006). *Guía de manejo. Nutrición vegetal de especialidad. Tomate*. SQM.
- Usha, E., Reddy, S., Manuel, S. G., & Kale, R. D. (2012), In-vitro control of *Fusarium oxysporum* by *Aspergillus* sp. and *Trichoderma* sp. isolated from vermicompost. *Journal of Bio Innovation*, 1(5), 142–147.
- Vida, C., Bonilla, N., de Vicente, A., & Cazorla, F. M. (2016). Microbial profiling of a suppressiveness-induced agricultural soil amended with composted almond shells, *Frontiers in Microbiology*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00004>
- Xu, W., Wang, H., Lv, Z., Shi, Y., & Wang, Z. (2019). Antifungal activity and functional components of cell-free supernatant from *Bacillus amyloliquefaciens* LZN01 inhibit *Fusarium oxysporum* f. sp. niveum growth. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33(1), 1042-1052. <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1637279>



Anexos

Convenio Agrosavia- Servientrega - Efecty

Para muchos agricultores o productores colombianos, realizar análisis de suelos en sus predios es una actividad difícil de cumplir por la lejanía de los laboratorios especializados y el desconocimiento de la tecnología.

Para solucionar dicho inconveniente, AGROSAVIA desarrolló un programa de envíos de muestras de suelo al laboratorio de química y física de suelos que cuenta con tecnología de punta para suministrar resultados confiables y proveer recomendaciones de fertilización de acuerdo con el cultivo que se pretende establecer.

El programa de envíos se realiza dentro de un convenio con el centro de soluciones Servientrega y Efecty, una empresa de envíos nacionales que actúa como medio de conexión entre los productores y AGROSAVIA. Los productores del territorio colombiano pueden tomar las muestras de suelo y enviarlas a AGROSAVIA a través de este servicio a un precio justo. El interesado debe pagar en las oficinas de Servientrega-Efecty el valor del servicio, donde se le entregará una bolsa plástica para depositar la muestra de suelo, un plegable instructivo con las indicaciones para la toma de la muestra y un formato para completar los datos que se deben anexar con la muestra. Los resultados se entregan después de 15 días hábiles, a través de correo electrónico o a vuelta de correo en la misma oficina desde la que se enviaron las muestras. La información detallada del servicio y el instructivo pueden consultarse en la página web de AGROSAVIA en el enlace de productos y servicios, haciendo clic en la pestaña del laboratorio de química analítica.

Los centros de soluciones Servientrega y Efecty autorizados en el país pueden verificarse ingresando a la página https://www.agrosavia.co/media/3799/puntos-agrosavia-efecty-servientrega_2019.pdf.

Autores

Mauricio Camelo Rusinque

mcamelo@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-8733-6655>

Microbiólogo industrial y magíster en Biología Aplicada. Se desempeña como investigador máster adscrito a la Red de Innovación de Ganadería y trabaja en el desarrollo y evaluación de biofertilizantes en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Cuenta con 14 años de experiencia en investigación y desarrollo de bioproductos con base en bacterias promotoras del crecimiento vegetal. También posee amplia y reconocida experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación nacionales e internacionales cuyo objetivo ha sido demostrar la eficiencia y eficacia de los biofertilizantes en diferentes cultivos de interés agroindustrial.

Iván Edilberto Chacón Garzón

ichacon@agrosavia.co

Ingeniero mecánico con experiencia en ejecución de proyectos de investigación con capacidad de planear, diseñar, dirigir, tecnificar y mantener proyectos o plantas de producción. Durante sus cinco años de carrera profesional se ha desempeñado en áreas de diseño de maquinaria, mantenimiento y ejecución de presupuestos con habilidades para la resolución de problemas, trabajo en equipo, toma efectiva de decisiones y comunicación asertiva. La superación de retos y el enfoque en resultados son una motivación para su crecimiento laboral y personal.

Andrea Paola Clavijo Gutiérrez

aclavijo@agrosavia.co

Bióloga y PhD en Microbiología con énfasis en Ecología Microbiana. A lo largo de 20 años de participación en proyectos ejecutados por grupos de investigación de Colombia y Estados Unidos, ha explorado diferentes áreas de la microbiología, tales como la caracterización de diagnósticos moleculares de patógenos, los factores de patogenicidad bacteriana, la respuesta de poblaciones bacterianas a prebióticos en humanos y el análisis genético de microorganismos ambientales en relación con el ciclo de nitrógeno en sistemas agrícolas orgánicos. Actualmente, se desempeña como investigadora PhD adscrita a la red de innovación de hortalizas



y plantas aromáticas en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA. Allí ha enfocado su trabajo hacia la búsqueda de alternativas sostenibles de manejo de plagas y enfermedades de cultivos, como el tomate, el aguacate y el banano a través del uso de microorganismos o comunidades microbianas presentes en enmiendas orgánicas.

Nadia Yurany Luque Sanabria

nluque@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-4108-3231>

Ingeniera agrónoma egresada de la Universidad Nacional de Colombia y especialista en Sistemas de Información Geográfica (Universidad de California - Coursera). Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA e integrante de la red de frutales. Su mayor experiencia ha sido en investigación, ámbito en el cual ha aportado al desarrollo, ejecución e implementación de nuevos conocimientos en diversos sistemas productivos. Actualmente, está enfocada en la investigación de agricultura de precisión, percepción remota y análisis de imágenes. Ha trabajado en evaluación de proyectos, capacitación a comunidades rurales en manejo técnico y seguimiento de cultivos de hortalizas, solanáceas y frutales de clima frío. Este seguimiento ha incluido la implementación de buenas prácticas agrícolas, monitoreo y manejo fitosanitario, labores culturales y capacitación a estudiantes, técnicos, agricultores y operarios. Está capacitada para crear y ejecutar programas y proyectos de investigación que mejoren las condiciones técnicas de los sistemas productivos.

Mauricio Soto Suárez

msoto@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-2392-2839>

Biólogo y PhD en Biología con énfasis en fitopatología. Se ha enfocado en el campo de la patología vegetal y ha estudiado aspectos fisiológicos, bioquímicos y moleculares de patógenos y hospederos. Estas investigaciones incluyen la detección, diagnóstico y análisis de la estructura poblacional del patógeno, la caracterización de determinantes genéticos que causan la enfermedad y la búsqueda de alternativas al uso de agroquímicos para el control de enfermedades (inductores de resistencia, biofungicidas, sustancias bioactivas etc.). Actualmente, trabaja en el estudio de enfermedades de importancia en solanáceas como el tizón tardío de la papa y el tomate causado por el patógeno *Phytophthora infestans* y la marchitez del tomate causada por los patógenos como *Fusarium oxysporum* y *Ralstonia solanacearum*.

Su propósito es combinar investigación básica y aplicada para proporcionar a los agricultores recomendaciones de manejo de enfermedades basadas en la ciencia. Trabaja en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

Edwin Andrés Villagrán Munar

evillagran@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-1860-5932>

Ingeniero Agrícola, magíster en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia y candidato a doctor en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad. Actualmente es investigador máster asociado de AGROSAVIA y cuenta con 10 años de experiencia en sistemas de producción hortícola y ornamental bajo estructuras de agricultura protegida.

Andrea del Pilar Villarreal Navarrete

avillarreal@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0001-9580-6936>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en fisiología de cultivos de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en áreas relacionadas con el análisis fisiológico de la interacción planta-microorganismo (patógenos y simbiontes) y con la respuesta de las plantas a diversos tipos de estrés abiótico. Actualmente es investigadora máster de la red de hortalizas y plantas aromáticas de AGROSAVIA en el Centro de Investigación Tibaitatá.

Andrea Paola Zuluaga Cruz

azuluaga@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-3003-4856>

Bióloga y PhD en Fitopatología. Cuenta con más de 20 años de experiencia en los campos de la fitopatología, la epidemiología, la genética (clásica, molecular y de poblaciones), la biología del desarrollo (incluyendo las interacciones hospedero-oomicetos, hongos, bacterias y virus) y el manejo de enfermedades. Sus investigaciones se han centrado en el impacto del estrés abiótico en las interacciones planta-microorganismo. Además, está particularmente interesada en entender cómo las plantas se defienden contra los patógenos y enfrentan de manera simultánea el estrés abiótico.



Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Este manual reúne los conocimientos sobre el manejo de residuos orgánicos y su potencial aplicación en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, así como las recomendaciones de uso del equipo modular de lombricompostaje. De esta forma, se presenta un modelo de manejo integrado del sistema para incrementar la inocuidad y la sostenibilidad socioeconómica y ambiental del cultivo de tomate. Dicho modelo es producto de la investigación del equipo de trabajo de Agrosavia en colaboración con algunos productores de tomate bajo condiciones protegidas de los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca.

Este manual presenta los criterios básicos para la aplicación de compost y lombricompost en el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas y consideraciones para su elaboración. El primer capítulo contiene las recomendaciones básicas para la fertilización y el uso de enmiendas orgánicas con énfasis en su utilización durante los planes de manejo de fertilidad en cultivos de tomate. En el capítulo 2 se describen conceptos relacionados con el compostaje y el lombricompostaje. En el capítulo 3 se presenta la oferta tecnológica del equipo de lombricompostaje para el aprovechamiento de residuos vegetales de pequeños y medianos productores, su diseño y algunas consideraciones para su construcción y uso. Finalmente, en el capítulo 4 se incluyen resultados preliminares de las experiencias de investigación de agrosavia relacionadas con la disminución de la fertilización química en cultivos de tomate bajo condiciones protegidas gracias a la incorporación de compostajes dentro del sistema de manejo integrado de fertilización. Además, se muestra el potencial del lombricompostaje para controlar las enfermedades del cultivo de tomate.



Distribución gratuita
Prohibida su venta