



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOMAS DE ZAMORA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**Elaboración, aplicación y efectos de los abonos orgánicos
en cultivos de Papa (*Solanum tuberosum* L), Tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.).
Revisión.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

Alumno: VILLORDO, Agustín Ezequiel

Director: RODRÍGUEZ, María Fabiana

Co-director: LÓPEZ, Cristian Javier

Agradecimientos

A la Ing. Agr. Mgtr. María F. Rodríguez y al Ing. Agr. Esp. Cristian J. López por su dirección, disposición y colaboración para llevar a cabo la monografía.

A la Ing. Agr. Mgtr. Cristina Sandoval por su tiempo y colaboración en el formato del trabajo.

A la Ing. Agr. M. Sc. Elvira Serrano Caballero y al Ing. Agr. Dr. Nelson Tapia Ponce por compartir sus conocimientos y por su apoyo al momento de la realización de los cursos 'Agricultura Orgánica' y 'Agroecología y Desarrollo Sostenible' imprescindibles para la elaboración del presente trabajo.

A mi familia por guiarme siempre por el camino correcto, brindarme la oportunidad de estudiar y por su apoyo durante toda la carrera.

ESTRUCTURA DE LA MONOGRAFÍA

La monografía fue organizada en Resumen, Introducción, Objetivos, Materiales y métodos, 4 Capítulos denominados Abonos Verdes, Bocashi, Compost y Lombricompuesto, Consideraciones Finales y Bibliografía. En cada capítulo se realizó una pormenorizada descripción de los actuales tipos de fertilizantes orgánicos donde se consideró concepto, elaboración y/o producción, aplicación y sus efectos en los cultivos de papa, tomate y lechuga.

Como cierre del trabajo se puntualizaron consideraciones finales que refuerzan los conceptos recopilados y muestran la importancia de incrementar la elaboración y ampliar el uso de tales materiales.

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	I
Agradecimientos.....	II
Estructura de la monografía	III
Índice general.....	IV
Índice de tablas	VII
Abreviaturas	IX
1. Resumen	1
2. Introducción.....	2
3. Objetivos	5
4. Materiales y Métodos	6
5. Revisión bibliográfica	7
5.1. Abonos Verdes	
5.1.1. Concepto	9
5.1.2. Beneficios de su utilización	10
5.1.3. Especies aptas para ser utilizadas como abonos verdes	12
5.1.4. Aspectos técnicos	15
5.1.5. Efectos de su aplicación en cultivos hortícolas	16
5.1.5.1. Papa.....	16
5.1.5.2. Tomate	20
5.1.5.3. Lechuga.....	22
5.1.6. Bibliografía	24

5.2. **Bocashi**

5.2.1. Concepto	32
5.2.2. Componentes	32
5.2.3. Ejemplos de formulaciones	37
5.2.4. Método de elaboración	41
5.2.5. Aplicación de bocashi.....	45
5.2.6. Aplicación de Té de bocashi.....	47
5.2.7. Efectos de su aplicación en cultivos hortícolas	47
5.2.7.1. Papa	47
5.2.7.2. Tomate	48
5.2.7.3. Lechuga.....	50
5.2.8. Bibliografía	52

5.3. **Compost**

5.3.1. Concepto	58
5.3.2. Fases del compostaje.....	59
5.3.3. Sistemas de elaboración de compost.....	61
5.3.4. Materiales.....	67
5.3.5. Otros métodos de compostaje.....	70
5.3.6. Uso del compost.....	72
5.3.7 Efectos de su aplicación en cultivos hortícolas	77
5.3.7.1 Papa	77
5.3.7.2 Tomate	79

5.3.7.3 Lechuga.....	82
5.3.8. Bibliografía	84
5.4. Lombricompuesto	
5.4.1. Concepto	93
5.4.2. Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i> Savigny).....	94
5.4.3. Etapas para la obtención de lombricompuesto.....	96
5.4.4. Aplicación	101
5.4.5. Efectos de su aplicación en cultivos hortícolas	102
5.4.5.1. Papa	102
5.4.5.1. Tomate	104
5.4.5.2. Lechuga.....	107
5.4.6. Bibliografía	110
6. Consideraciones finales	118
7. Bibliografía	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Lista de las principales especies usadas como abonos verdes.	14
Tabla II. Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi. Adaptado de Portillo <i>et al.</i> , 2011. Elaboración y uso del bocashi.	38
Tabla III. Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi. Adaptado de Escobar Olán, 2014. El método bocashi como alternativa para el manejo de los residuos orgánicos agrícolas.	39
Tabla IV. Materiales para la fabricación de 568 kg de bocashi. Adaptado de Sequeira Lezama, 2019. Uso de lacto-suero ácido en la elaboración de bocashi y su efecto en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) cv. Tropicana.	39
Tabla V. Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi. Adaptado de Ramos Agüero <i>et al.</i> , 2014. Bocashi: Abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá.	40
Tabla VI. Materiales para la elaboración de bocashi. Adaptado de Brechelt, 2004. Manejo Ecológico del Suelo.	40
Tabla VII. Materiales para la fabricación de 130 kg de bocashi. Adaptado de Niño Garay, 2018. Estandarización de la producción de bocashi y compost como fertilizantes para aplicar a las huertas caseras de pequeños agricultores de Facatativá – Cundinamarca.	41
Tabla VIII. Materiales para la fabricación de 80 kg de bocashi. Adaptado de Niño Garay, 2018. Estandarización de la producción de bocashi y compost como fertilizantes para aplicar a las huertas caseras de pequeños agricultores de Facatativá - Cundinamarca.	41

Tabla IX. Composición Carbono:Nitrógeno de los materiales compostables. Adaptado de Román <i>et al.</i> , 2013. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina.	68
Tabla X. Listado de materiales orgánicos domésticos que se pueden emplear como alimento para la lombriz. Adaptado de Gonzáles Rosales <i>et al.</i> , 2012. Guía técnica para la producción de lombricomposta.....	98

ABREVIATURAS

% Porcentaje

Bs Bolivianos

C Carbono

Ca Calcio

CE Conductividad eléctrica

cm Centímetro

CO₂ Dióxido de carbono

C:N Relación carbono-nitrógeno

cv Cultivar

dS/m Decisiemens por metro

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

g Gramo

ha Hectárea

HCN Cianuro de hidrógeno

IFOAM Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica

K Potasio

Kg Kilogramo

l Litro

m Metro

m² Metro cuadrado

m³ Metro cúbico

M Mezcla

Mg Magnesio

ME Microorganismos Eficientes

MM Microorganismos de Montaña

mm Milímetro

N Nitrógeno

NH₃ Amoníaco

NH₄⁺ Amonio

MO Materia orgánica

P Fósforo

PSI Porcentaje de sodio intercambiable

p/p Relación peso/peso

SENASA Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

sp Especie

SPAD Contenido de clorofila en hojas

TM Tasa de Multiplicación

tn Tonelada

var. Variedad

v/v Relación volumen/volumen

vs Versus

1. RESUMEN

Uno de los principios de la Agricultura Orgánica es la conservación de la calidad del suelo mediante la aplicación de abonos naturales los cuales son sustancias provenientes de desechos de origen vegetal, animal o mixto, frescos o procesados mediante la fermentación. El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre la elaboración, aplicación y efectos en cultivos de papa, tomate y lechuga de un abono orgánico fresco –abono verde- y 3 abonos procesados – bocashi, compost y lombricompuesto-. Para cumplir con el objetivo planteado se realizó una amplia y actualizada búsqueda bibliográfica utilizando herramientas informáticas. Dicha búsqueda permitió describir los métodos de elaboración de los abonos y establecer dosis y formas de aplicación. Asimismo, permitió resumir información respecto de sus efectos sobre los rendimientos de los cultivos mencionados; su acción antagónica a patógenos fúngicos y microbianos del suelo y como agentes nematocidas naturales; y su importancia sobre la germinación y el crecimiento y desarrollo de las 3 especies citadas. Como corolario, la presente monografía permitió dar accesibilidad a información previamente acreditada con respecto a la diversidad de usos y cualidades de los abonos orgánicos en Horticultura por lo que se recomienda su utilización, a partir de la cual se pueden obtener óptimos resultados productivos, reducciones en los costos de producción y, al mismo tiempo, cumplir con los principios y fundamentos de la conservación de los recursos naturales y de la sostenibilidad de los sistemas productivos que definen y caracterizan a la Agricultura Orgánica.

Palabras clave: Compost, lombricompuesto, bocashi, abono verde, hortalizas.

2. INTRODUCCIÓN

La Agricultura Orgánica involucra mucho más que la no utilización de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (FAO, 2003). Es un sistema de producción que mantiene la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa en los procesos ecológicos, la biodiversidad y el uso de especies adaptadas a las condiciones locales, en lugar de la utilización de insumos con efectos adversos. La Agricultura Orgánica combina tradición, innovación y ciencia en beneficio de un medio ambiente compartido donde se promueven las relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los involucrados (IFOAM, 2008).

Son numerosos los estudios que evidencian las ventajas de la Agricultura Orgánica con relación a la Agricultura Convencional: permite conservar los recursos suelo y agua, mejorar la fertilidad del suelo, promover la biodiversidad y originar productos de calidad, disminuyendo la contaminación ambiental, ya que conlleva un control natural de plagas (Pretty, 1995; Singh, 2000; Altieri, 2002; Rasul y Thapa, 2004; Bengtsson *et al.*, 2005).

En la conservación de la calidad del suelo es esencial la aplicación de fertilizantes naturales ya que éstos garantizan la presencia de microorganismos benéficos que facilitan la fijación de nutrientes y su absorción por las plantas. La adición de materiales orgánicos en suelos cultivables se utiliza, entre otros propósitos, para mejorar la fertilidad y propiedades del suelo tales como la formación de agregados y la capacidad de retención de agua (Muñoz Villalobos *et al.*, 2014).

Los abonos orgánicos pueden ser definidos como sustancias provenientes de desechos de origen animal, vegetal o mixto, frescos o procesados mediante la fermentación aerobia (Medina *et al.*, 2010; Saveyn y Eder, 2014; Vargas *et al.*, 2014)

y cuya función principal es aportar nutrientes a las plantas (Ansorena *et al.*, 2015). Su utilización en la producción hortícola contribuye a una calidad superior de los productos cosechados en contraste con los obtenidos por la Agricultura Convencional (Hernández Rodríguez *et al.*, 2010).

Los abonos orgánicos frescos comprenden a los residuos de cosecha y poda, estiércol de animales y abonos verdes, en tanto los procesados son bocashi, compost y lombricompost, como así también fertilizantes líquidos tales como té de compost y de bocashi (Medina *et al.*, 2010), bioles (Claros Reynaga *et al.*, 2010; Medina *et al.*, 2010; Montesinos González, 2013) y supermagro (Bonillo *et al.*, 2015). Por otro lado, las enmiendas orgánicas son prácticas agronómicas utilizadas fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Ansorena *et al.*, 2015).

El lombricompost y compost son comúnmente empleados como abonos orgánicos, aunque también pueden utilizarse como enmiendas orgánicas al emplearse en grandes cantidades y tener como objetivo mejorar las propiedades del suelo, mientras que los abonos verdes y bocashi entran dentro de la clasificación de abonos orgánicos ya que se utilizan con la finalidad de proveer nutrientes al cultivo (Ansorena *et al.*, 2015; Arévalo de Gauggel y Castellano, 2009). Sin embargo, la continua utilización de abonos verdes a lo largo de los años mantiene o incluso incrementa el contenido de materia orgánica del suelo debido al aporte constante de biomasa (Beltrán Morales *et al.*, 2007).

La República Argentina dispone de 3.600.000 ha destinadas a la Producción Orgánica, de las cuales 217.000 corresponden a la Agricultura y de éstas el 5% -

10.850 ha - se destinan a la Horticultura (SENASA, 2019b). Las principales hortalizas de tubérculo, fruto y hoja, destinadas a consumo interno, clasificadas según los volúmenes promedio ingresados en el Mercado Central de Buenos Aires (MCBA) en el período 2012-2016 fueron: papa 310.822 tn.año⁻¹, tomate 116.635 tn.año⁻¹ y lechuga 22.136 tn.año⁻¹, razón por la cual se definieron como criterio de inclusión en la presente revisión. Si bien en estos cultivos se aplican métodos de abonado, éstos responden a un modelo hortícola convencional basado en el uso de fertilizantes de síntesis.

Con la finalidad de incrementar la utilización de abonos orgánicos y cumplir con los principios y fundamentos de la conservación de la calidad del suelo y de la sostenibilidad que definen y caracterizan a la Agricultura Orgánica, sin descuidar los requerimientos de los cultivos, la presente monografía recopila información sistematizada y validada con respecto a la gran diversidad de usos y cualidades de los abonos orgánicos en Horticultura.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica sobre la elaboración, aplicación y efectos de los abonos orgánicos en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Las principales fuentes de consulta utilizadas en la recopilación de información fueron diferentes bibliotecas electrónicas de publicaciones científicas –SciELO, Elsevier, Clacso-, libros, manuales, artículos de divulgación, tesinas de grado y tesis de posgrado. Para ello se empleó el principal buscador de Internet, Google Académico. Durante la búsqueda bibliográfica se recurrió a los tesauros: Agricultura Sustentable, Buenas Prácticas Agrícolas, Horticultura Orgánica, Prácticas de Conservación, Protección Ambiental y Reducción del Uso de Pesticidas. Las palabras claves, en español e inglés, fueron agricultura orgánica, agroecología, horticultura sustentable, abonos orgánicos, abonos verdes, bocashi, compost, lombricompost, papa, tomate, lechuga.

En la búsqueda se tuvieron en cuenta los trabajos publicados en los últimos 25 años.

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La presente revisión bibliográfica abarca información relevante sobre la elaboración, aplicación y efecto de 4 abonos orgánicos (Abonos verdes, bocashi, compost y lombricompuesto), en capítulos individuales, en cultivos de papa, tomate y lechuga.

El trabajo hace énfasis en el concepto de cada abono y los beneficios que conlleva su utilización, los materiales necesarios para su producción, y sus posibles reemplazos en caso de no contar con ellos, como así también explica los diferentes pasos a seguir en la elaboración de los abonos, al mismo tiempo que brinda aspectos técnicos a tener en cuenta en cada uno de ellos.

Desarrollada la etapa de elaboración, se detallan los posibles usos de los abonos orgánicos y se imparten especificaciones técnicas importantes a llevar a cabo al momento de su aplicación.

Además, se puntualizan ejemplos concretos sobre el efecto de su utilización en los 3 cultivos antes mencionados, los cuales van desde efectos positivos en la preparación de almácigos, en el crecimiento y rendimiento del cultivo, en la calidad del producto cosechado hasta efectos nematocida como así también efectos antagonistas frente a distintos fitopatógenos. Cabe aclarar que la información utilizada en los apartados 'Efectos de su aplicación en cultivos hortícolas' es representativa principalmente para países más septentrionales que Argentina, de forma tal que se recopilan trabajos de 24 países de los continentes americano, asiático y europeo.

Al final de cada capítulo se detalla la bibliografía específica utilizada en la confección del mismo, mientras que la bibliografía general, utilizada en 2 o más capítulos, se

ubica al final de la monografía. Cabe mencionar que aproximadamente un 50% de los trabajos utilizados en la redacción de la presente revisión provienen de Argentina, Colombia, España, Estados Unidos, México y Perú. Esto se debe a la gran abundancia y accesibilidad de trabajos publicados por autores de dichos países sobre la temática en cuestión.

A modo de conclusión, la última sección denominada 'consideraciones finales' resalta los aspectos más importantes del uso de los abonos orgánicos en horticultura descriptos en la presente monografía.

5.1. ABONOS VERDES

5.1.1. CONCEPTO

Los abonos verdes constituyen una práctica agronómica que consiste en la incorporación al suelo de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas, con la finalidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del suelo. En la actualidad se ha ampliado la definición de abonos verdes a aquellas plantas que se siembran como cobertura del suelo para protegerlo de la erosión, controlar malezas y ser utilizadas como alimento animal y humano (Martín y Rivera, 2015). Esto es un aspecto importante para la adopción de esta práctica, puesto que cuanto mayor sea su utilidad en la propiedad, mayores serán sus beneficios potenciales (Beltrán Morales *et al.*, 2007).

Esta práctica es empleada desde civilizaciones antiguas y su uso se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional que posteriormente se incorpora al suelo con la finalidad de incrementar el contenido de materia orgánica rápidamente mineralizable, con incidencia positiva sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y rendimientos de los cultivos siguientes (Prager Mósquera *et al.*, 2012).

La incorporación al suelo de la biomasa de los abonos verdes permite que esta se convierta rápidamente en sustrato y sufra un proceso de mineralización en el suelo gracias a la acción de la biota presente. En un engranaje multifuncional, al inicio actúa principalmente la macro y mesobiota que trozan y consumen los materiales verdes. Acompañando esta actividad y durante todo el proceso, la microbiota degrada y transforma los materiales orgánicos en nutrientes minerales que las

plantas pueden absorber con facilidad (Velazco *et al.*, 2001, Alarcón *et al.*, 2002, Randhawa *et al.*, 2005, Sánchez de Prager *et al.*, 2007).

Los abonos verdes cobran cada día mayor interés como medida de incremento y conservación de la fertilidad de los suelos debido a los altos precios alcanzados por los fertilizantes minerales que los hacen poco accesibles al pequeño agricultor de escasos recursos (García *et al.*, 2000).

5.1.2. BENEFICIOS DE SU UTILIZACIÓN

El uso de abonos verdes contribuye a la recuperación de la fertilidad del suelo (Buciene *et al.*, 2003; Oka, 2010), mejora sus propiedades físicas (Agostini *et al.*, 2003) y permite controlar malezas (Blackshaw *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2009), enfermedades (Oka, 2010), nemátodos (Guerena, 2006) y otras plagas (Alyokhin y Atlihan, 2005), por lo que su uso disminuye la necesidad de utilizar plaguicidas (Suquilanda, 2003). También se han descrito efectos de control sobre varios patógenos presentes en el suelo debido a la producción de isotiocianatos durante la descomposición de abonos verdes de Brasicáceas (Matthiessen y Kirkegaard, 2006).

Los abonos verdes protegen la capa superficial del suelo contra las lluvias de alta intensidad, el sol y el viento; promueven un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo, de manera que mantienen e incluso elevan, a lo largo de los años, el contenido de materia orgánica; atenúan la amplitud térmica y disminuyen la evaporación de agua del suelo, lo que mejora la capacidad de retención para los cultivos siguientes (FAO, 2000; Beltrán Morales *et al.*, 2007).

Las raíces de los abonos verdes contribuyen en la descompactación del suelo al aumentar su porosidad, aireación e infiltración de agua; como así también, mejoran

el drenaje y facilitan la penetración del sistema radicular de los cultivos siguientes (Martín y Rivera, 2015).

Además, el empleo de abonos verdes impide el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo, lo que evita su desagregación y la formación del sellamiento superficial del mismo; aumenta la infiltración y evita la erosión, de esta forma atenúa la velocidad del escurrimiento superficial del agua y disminuye el arrastre de las partículas del suelo (Vallejos *et al.*, 2001).

Otro efecto benéfico de los abonos verdes es el reciclaje de nutrientes cuando se utilizan plantas que expanden su sistema radical a horizontes profundos del suelo y absorben nutrientes de estas capas. Después del corte, la incorporación y la mineralización de las plantas, ocurre la liberación gradual de los nutrientes disponibles para los cultivos en el horizonte superficial (Espíndola *et al.*, 2004).

Si los abonos verdes son inoculados con una cepa efectiva de hongos micorrízicos arbusculares, se incrementa el contenido de inóculos micorrízicos en el suelo y el crecimiento de los cultivos posteriores (Bajwa *et al.*, 2002). La utilización de las micorrizas aumenta la absorción de agua, nutrientes minerales y el crecimiento y desarrollo de los cultivos; esto no implica que se deba dejar de utilizar fertilizantes orgánicos o químicos, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar en rangos de 50-80 % (Martín y Rivera, 2015).

Por último, es ampliamente conocida la importancia de los abonos verdes para aportar nitrógeno mediante el proceso de Fijación Biológica del Nitrógeno (de Resende, *et al.*, 2003; Crews y Peoples, 2004; Perin *et al.*, 2004). La principal

ventaja de esta práctica es el incremento del nitrógeno disponible en el suelo para las plantas no-leguminosas (Singh *et al.*, 2010).

Cabe señalar que la aportación de materia orgánica y muchas de las ventajas de los abonos verdes se presentan después de varios años, por lo que en la mayoría de las ocasiones se prefieren fertilizantes químicos que proporcionan nutrientes de forma inmediata al cultivo (García Hernández *et al.*, 2010). Otra limitante en la adopción de abonos verdes, según algunos productores, es que para producir suficiente biomasa vegetal deben recibir nutrientes y atenciones culturales mientras que en esa etapa el área ocupada por ellos no produce alimentos. Esta es una concepción errónea de su uso ya que el análisis correcto debe ser que al mejorar el suelo se podrán obtener cosechas mayores, con ahorros de fertilizantes, y conservando el principal recurso natural con que se cuenta, el suelo (Martín Alonso, 2009).

5.1.3. ESPECIES APTAS PARA SER UTILIZADAS COMO ABONOS VERDES

El éxito de esta práctica depende del conocimiento de las especies idóneas definidas por hábitos y vigor de crecimiento, así como de su comportamiento en los diferentes sistemas productivos (García *et al.*, 2000).

Algunos requisitos que deben cumplir las especies a utilizar como abonos verdes son: adecuarse al sistema de producción utilizado por el agricultor; presentar bajo costo de implantación y manejo en el campo; ser resistentes a plagas y enfermedades; producir un efecto favorable al aumentar el rendimiento de los cultivos; tener una mayor rentabilidad en relación al sistema tradicional (Sodré Filho *et al.*, 2004); presentar un sistema radicular profundo y bien desarrollado que permita el reciclaje de nutrientes; mostrar tolerancia o resistencia a la sequía y/o heladas;

presentar tolerancia a la baja fertilidad y capacidad de adaptación a suelos degradados; y no comportarse como planta invasora (FAO, 2000). Además, las especies que se seleccionen deben estar adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la región y ser de ciclo corto, permitiendo una cobertura rápida del suelo con abundante biomasa que impida el desarrollo de malezas, conserve la humedad y proteja el suelo contra la erosión (Prager Mósquera *et al.*, 2012).

A pesar de requerir las propiedades mencionadas, esto no significa que cada especie deba cumplir todas ellas. En realidad, de acuerdo a la especie utilizada como abono verde, el sistema de cultivo y la condición del agricultor, algunos de los puntos pueden ser despreciados (FAO, 2000).

En Latinoamérica se han evaluado distintas especies de Fabáceas como abonos verdes en diferentes sistemas de producción agrícola. Dentro de la familia botánica se pueden citar las siguientes especies: *Mucuna pruriens* (L), *Dolichos lablab* (L), *Canavalia ensiformis* (Mart. ex Benth), *Centrosema molle* (Mart. ex Benth), *Clitoria ternatea* (L), *Crotalaria juncea* (L), *Crotalaria ochroleuca* (L), *Desmanthus virgatus* (L), *Indigofera tinctoria* (Jaub. & Spach), *Macroptilium atropurpureum* (DC), *Stylosanthes guianensis* (Aubl), *Teramnus uncinatus* (L) y *Vigna spp* (L) (Cherr *et al.*, 2006).

La ventaja de utilizar especies Fabáceas de rápido crecimiento es su cualidad de establecer 2 tipos de relaciones simbióticas; por un lado, la simbiosis que establecen con bacterias del género *Rhizobium* que permite que el sistema se enriquezca en nitrógeno a través del tiempo mediante la fijación biológica de este elemento. Por otro lado, la simbiosis que generan con hongos micorrízicos arbusculares que las

capacita para absorber con mayor eficiencia el fósforo disponible en el suelo, además de otros nutrientes y beneficios colaterales (Sánchez de Prager *et al.*, 2007).

Tabla I Lista de las principales especies usadas como abonos verdes. Fuente: Elaboración propia

Familia	Nombre científico	Nombre vulgar
Brasicáceas	<i>Brassica alba</i>	Mostaza blanca
	<i>Brassica juncea</i>	Mostaza castaña
	<i>Brassica napus</i>	Colza
	<i>Raphanus sativus</i>	Rábano
Poáceas	<i>Avena bizantina</i>	Avena amarilla
	<i>Avena sativa</i>	Avena blanca
	<i>Avena strigosa</i>	Avena negra
	<i>Lolium multiflorum</i>	Raygrass anual
	<i>Setaria itálica</i>	Moha
	<i>Secale cereale</i>	Centeno
	<i>Sorghum sp.</i>	Sorgo
Fabáceas	<i>Canavalia ensiformis</i>	Canavalia
	<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria, cáñamo de la India.
	<i>Dolichos lablab</i>	Dólicos
	<i>Lupinus albus</i>	Altramuz, lupino
	<i>Lupinus mutabilis</i>	Tarhuí
	<i>Melilotus albus</i>	Trébol de olor blanco
	<i>Melilotus officinalis</i>	Trébol de olor amarillo
	<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna negra
	<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna rayada
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol común
	<i>Pisum sativum</i>	Arveja forrajera
	<i>Trifolium pratense</i>	Trébol rojo
	<i>Trifolium repens</i>	Trébol blanco
	<i>Vicia angustifolia</i>	Arvejilla
	<i>Vicia faba</i>	Haba común
<i>Vicia sativa</i>	Arvejilla común	
<i>Vicia villosa</i>	Arvejilla peluda	
	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupí

En la Tabla I se mencionan, agrupadas por familia botánica, las distintas especies utilizadas como abonos verdes (Prager Mósquera *et al.*, 2012; Beltrán Morales *et al.*, 2007).

5.1.4. ASPECTOS TÉCNICOS

Las especies cultivadas como abonos verdes pueden ser producidas como parte de un programa de rotación o en sistemas de asociación de cultivos; o bien, como un cultivo de protección en contra de la erosión (Singh *et al.*, 2010). En caso de cultivarse junto con las especies presentes dentro de un pastizal ya establecido cumplirán doble función, como mejoradores del suelo y como alimento animal (Florentín *et al.*, 2001). La siembra no es diferente a la de cualquier otro cultivo, pero algunas especies se podrían sembrar al voleo o a mayor densidad (Brechelt, 2004).

La relación C:N del cultivo al momento de su incorporación al suelo cobra gran importancia con el fin de no causar inmovilización de nutrientes (Birbaumer *et al.*, 2000; Sanclemente y Prager, 2009; Gallego Blanco, 2012). La integración se realiza cuando las plantas están en pleno desarrollo, antes de la madurez, cuando el tejido vegetal tiene su mayor concentración de nutrientes o cuando la planta alcanza aproximadamente el 30 % de floración (García Hernández *et al.*, 2010).

Las leguminosas al ser cosechadas e incorporadas en etapas de pre-floración y/o floración hacen un aporte de materia orgánica con una relación C:N media-baja (10 a 20) que las convierte en biomasa rápidamente ciclada por los organismos del suelo, lo que asegura una disponibilidad temprana de nutrientes al cultivo establecido en asociación o rotación, además de aportar al suelo biomoléculas con efectos promotores de crecimiento, dado el estado fenológico en el cual se cortan.

Sin embargo, otra alternativa dentro de esta práctica podría ser prescindir de su incorporación al suelo y manejar el abono verde como cobertura vegetal, dado que su baja relación C:N y las moléculas que lo integran podrían asegurar el suministro de nutrientes al cultivo (Prager Mósquera *et al.*, 2012).

Los abonos verdes son usualmente incorporados mediante alguna práctica mecánica como lo es “labranza óptima” (Morales *et al.*, 2005).

5.1.5. EFECTOS DE SU APLICACIÓN EN CULTIVOS HORTÍCOLAS.

5.1.5.1. PAPA

Se han informado incrementos en el crecimiento y rendimiento de los cultivos sembrados luego de la incorporación de abonos verdes (Sakala *et al.*, 2003). García *et al.* (2000), en el área experimental del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas ubicado en San José de Las Lajas (Cuba) evaluaron el efecto de 3 especies de abonos verdes en rotación con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) var. Desirée a campo, en un suelo ferralítico rojo típico (fertilidad media a baja, pH de 6,74 y 2.94% de MO). Para ello, compararon la efectividad de *Canavalia ensiformis*, *Mucuna aterrimum* y *Crotalaria juncea* con un tipo de fertilización mineral y un testigo sin ningún tipo de fertilización. Las 3 especies de abonos verdes incrementaron los rendimientos del cultivo cuyos valores fueron significativamente superiores a los obtenidos con la variante testigo ($p < 0,05$). De las 3 especies evaluadas *C. ensiformis* mostró el mejor comportamiento al sobrepasar el rendimiento alcanzado con la fertilización mineral ($p < 0,05$). En cuanto al aporte de nutrientes al suelo se destacaron *C. ensiformis* y *C. juncea* con suministros considerables de nitrógeno, fósforo y potasio. De esta forma, con el empleo de *C. ensiformis* como abono verde

además del aumento en el rendimiento del cultivo de papa se observaron mejoras en las características químicas del suelo, debido al incremento significativo en el contenido de fósforo asimilable (484 ppm) y cationes cambiabiles (0,74, 7,22 y 1,82 cmol.kg⁻¹ de potasio, calcio y magnesio respectivamente), con respecto al testigo (288 ppm de fósforo; 0,59, 5,92 y 0,90 cmol.kg⁻¹ de potasio, calcio y magnesio respectivamente) y a la fertilización mineral (395 ppm de fósforo y 0,61 cmol.kg⁻¹ de potasio) ($p < 0,05$).

Una amplia gama de enmiendas orgánicas ha sido utilizada para el manejo de nemátodos entre ellas los abonos verdes (McSorley, 2011). *Nacobbus aberrans* y *Globodera* spp. son los principales nemátodos fitoparásitos que generan los mayores perjuicios económicos en el cultivo de papa en Bolivia (Franco *et al.*, 1999). Iriarte *et al.* (1999), evaluaron el efecto de los abonos verdes sobre la multiplicación de *Globodera* spp. y *N. aberrans* a campo, en sitios naturalmente infestados del departamento de Cochabamba, Bolivia. Los autores hallaron que la incorporación de 5 tn.ha⁻¹ de follaje de haba (*Vicia faba* L.) previo a la siembra de papa cv. Waych'a mostró una disminución del 30% de la población inicial de los nemátodos con una Tasa de Multiplicación (TM= Población en la cosecha/Población en la siembra) de 0.7, indicando que la pérdida superó a la multiplicación de los mismos. Los investigadores atribuyen el efecto del abono verde sobre la población de nemátodos a la liberación de gases tóxicos (NH₃) durante su descomposición lo que afecta la fertilidad de las hembras que generan quistes de menor diámetro con menor cantidad de huevos. A su vez, la presencia del gas amoníaco inhibe la eclosión de los huevos.

Chevez Sanabria junto a Espinoza Treminio (2010) y Curto *et al.* (2012) mencionan que las células epidérmicas de las raíces de sorgo sudangrass (*Sorghum sudanense*) contienen dhurrina, un glucósido cianogénico que luego de incorporarse al suelo y ser degradado enzimáticamente libera cianuro de hidrógeno (HCN) conocido por su efecto tóxico en nemátodos. Kratochvil *et al.* (2004) llevaron a cabo un estudio a campo donde utilizaron sorgo sudangrass como abono verde para conocer su efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita* y *Pratylenchus penetrans*. Su estudio se llevó a cabo en Maryland (Estados Unidos) en un suelo Hapludults típico (franco arenoso) y consistió en una rotación de cultivos donde la papa, susceptible a dichos nemátodos, ocupó el primer lugar en la rotación luego del cultivo de sorgo y su incorporación al suelo. Los resultados mostraron que la rotación de verano con sorgo sudangrass redujo la población de nemátodos tan eficazmente como el tratamiento control, el cual consistió en la rotación con soja (*Glycine max* L.) sin resistencia a nemátodos y una aplicación del nematicida químico Telone II (1,3 dicloropropeno) ($p > 0,1$).

Stark, J. (1995) y Hafez, S. (1998) observaron que las Brasicáceas como la colza, mostaza y rábano tienen un efecto supresor de nemátodos que beneficia al siguiente cultivo en rotación y Guerena, M. (2006) estableció que dicho efecto se atribuye a compuestos de glucosinolato contenidos en sus residuos, los cuales al ser degradados enzimáticamente liberan isotiocianatos y nitrilos que interfieren en su ciclo reproductivo. Fatemy y Sepideh (2016) investigaron la capacidad de algunas especies de Brasicáceas como abonos verdes para reducir el daño causado por los nemátodos del quiste, *Globodera pallida* y *Globodera rostochiensis*, en papa cv. Marfona, bajo invernadero. En su ensayo, el cual se llevó a cabo en macetas con

suelo arcilloso (40% de arena, pH 7,5) infestado con quistes de las plagas, la reproducción de los nemátodos en el cultivo de papa se redujo al utilizar abonos verdes ya que la cantidad de quistes disminuyó entre un 60% cuando se usó rábano (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) cv. Cherry bell y un 33% con coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) cv. Steady. La tasa de multiplicación de *G. rostochiensis* se redujo a menos de 1, y las poblaciones finales de huevos y estados juveniles por gramo de suelo mermó 73% al emplear mostaza blanca (*Brassica alba* L.) cv. Albatross y 92% con rábano. Asimismo, la aplicación química de Metam sodio también disminuyó las tasas de multiplicación por debajo de 1, 42% el número de quistes y 88% los huevos finales por gramo de suelo. En suelos infestados sin ningún tratamiento, el peso fresco aéreo y radicular de la papa se redujo 64%, mientras que el peso total de las plantas se incrementó significativamente entre 21 y 74% en suelos enmendados con Brasicáceas y 76% utilizando Metam sodio ($p < 0,05$).

La evidencia sobre los beneficios de utilizar abonos verdes en el manejo de patógenos transmitidos por el suelo se expande continua y rápidamente, donde las Brasicáceas han demostrado ser las más exitosas para el manejo de enfermedades en un amplio espectro de cultivos (Lazarovits, 2010). Larkin y Griffin (2007) seleccionaron varias especies de esta familia para evaluar su control sobre patógenos de suelo en cultivo de papa cv. Shepody. Al realizar ensayos *in vitro* con las sustancias volátiles liberadas al picar las hojas de las plantas hallaron efecto inhibitorio en *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora erythroseptica*, *Pythium ultimum*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Fusarium sambucinum*. Con mostaza castaña (*Brassica juncea*) se alcanzó una inhibición casi completa de un 80 a 100%. Además, en

pruebas de invernadero llevadas a cabo en macetas con suelo Haplorthods típico (franco limoso, con 33% de arena estéril) inoculado con el *R. solani*, todos los cultivos de Brasicáceas redujeron el inóculo del patógeno, causante de la sarna negra, en un 20 a 56% mientras que el rábano (*R. sativus*), la colza (*Brassica napus*) cv. Dwarf Essex y la mostaza castaña redujeron la enfermedad en un 40 a 83%.

En el ensayo a campo llevado a cabo por Larkin y Griffin (2007) en el estado de Maine (Estados Unidos) en un sitio con presencia de *Spongospora subterranean* (Wallr.) Lagerh. f. sp. *subterranea* Tomlinson causante de la sarna polvorienta, la mostaza castaña, la colza y la canola (*Brassica napus*) cv Hyola 401 empleados como abonos verdes redujeron dicha enfermedad en la siguiente cosecha de papa en un 15 a 40% mientras que la canola y la colza disminuyeron la sarna negra en un 70 a 80% en relación con una rotación estándar de avena (*Avena sativa*). Bernard *et al.* (2014), al realizar un ensayo a campo similar al anterior en el cultivo de papa, realizado en Maine (Estados Unidos) en un suelo Haplorthods típico (franco), encontraron que la rotación con colza cv Dwarf Essex empleada como abono verde redujo entre un 10 y un 52% las enfermedades del suelo causadas por *Rhizoctonia solani* Kühn (Cancro del tallo y Sarna negra), *Helminthosporium solani* Durieu & Mont (Sarna plateada) y *Streptomyces scabiei* Lambert & Loria (Sarna común).

5.1.5.2. TOMATE

Lee *et al.* (2006), en el instituto nacional de investigación hortícola ubicado en Suwon (Korea) no hallaron diferencias significativas para las variables altura de planta y diámetro de tallo en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Seoyoung al comparar la utilización de soja como abono verde vs fertilización mineral bajo

invernadero, en un suelo con pH 7,1 y CE 1,7 dS/m ($p>0,05$). De la misma forma, sus resultados no registraron diferencias para los rendimientos obtenidos siendo de 4,2 tn.ha⁻¹ y 4,4 tn.ha⁻¹ con abono verde y fertilización mineral respectivamente ($p>0,05$). Rendimientos superiores fueron hallados por Garrido Baños (2015) al evaluar el uso de mezclas de abonos verdes en la producción de tomate orgánico cv. Médano bajo invernadero. Sus resultados además de mencionar aportes considerables al suelo de nitrógeno y fósforo luego de incorporar al mismo una mezcla compuesta por Haba (*Vicia faba*) y Lupino (*Lupinus albus*) registraron un rendimiento de 132,6 tn.ha⁻¹.

Por otra parte, en tomate cv. Rutgers, González *et al.* (2001) evaluaron la capacidad nematicida de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Benth), Algodón de seda (*Calotropis procera* Dryand) y Corocillo (*Cyperus rotundus* L.) como abonos verdes sobre diferentes poblaciones iniciales de *Meloidogyne incognita* bajo condiciones de umbráculo. Las plantas de tomate fueron cultivadas en macetas con suelo franco arenoso (pH 7,2, 6,8% de MO) inoculado con nemátodos. Los resultados registraron niveles de control entre 78,3 y 79,1 % al utilizar algodón de seda, valor similar estadísticamente al control químico con Carbofurán que osciló entre 78,3 y 83,6% ($p>0,05$). Además, al analizar los pesos secos aéreos de las plantas 30 días después de la inoculación con nemátodos, los mayores valores fueron presentados por aquellas plantas que recibieron la aplicación de algodón de seda como abono verde para 4 de las densidades poblacionales del nemátodo evaluadas, resultado significativamente superior al tratamiento químico con Carbofurán ($p<0,05$).

5.1.5.3. LECHUGA

Thorup Kristensen (2006), al evaluar el efecto de abonos verdes sobre el rendimiento y la cantidad de nitrógeno absorbido por hortalizas en el Instituto de Ciencias Agrícolas, Arslew (Dinamarca), halló un efecto positivo de esta práctica sobre el rendimiento de todas las hortalizas evaluadas. El rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo, en un suelo Agrudalf típico con pH 7, posterior a la incorporación al suelo de arvejilla peluda (*Vicia villosa* Roth) fue significativamente superior (38 tn.ha⁻¹) al testigo sin abono verde (27 tn.ha⁻¹) (p<0,05). Por otro lado, la cantidad de nitrógeno absorbido luego de la incorporación de *V. villosa* fue de 72 kg.ha⁻¹, superior al testigo cuya absorción fue de 45 kg.ha⁻¹ (p<0,001).

Caliskan *et al.* (2014), en la Universidad de Mustafa Kemal (Turquía) compararon el efecto de utilizar arvejilla común (*Vicia sativa* L.) como abono verde versus fertilización mineral sobre la calidad, el rendimiento y el contenido mineral de lechuga cv. Marco a campo. El suelo del ensayo presentó un pH de 7,8, una CE de 1 dS/m y 1,73% de MO. La calidad de las plantas y su contenido mineral fue significativamente superior con el empleo de abono verde al presentar mayor altura y peso de cabezas y valores más altos de cobre, hierro y manganeso en relación a las plantas bajo fertilización mineral (p<0,01). Por otro lado, los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas en el rendimiento entre ambas modalidades de producción, sin embargo, mostró una tendencia superior con la utilización de abono verde (60,8 tn.ha⁻¹) comparado con la fertilización mineral (52,3 tn.ha⁻¹) (p>0,05). Efectos similares fueron hallados por Sarmiento *et al.* (2019) en el Centro de Ciencias y Tecnología Agroalimentaria de la Universidad Federal de Campina Grande (Brasil), quienes compararon el desempeño productivo a campo de lechuga cv. Babá de

Verão sometidas a fertilización mineral y abono verde con Dolichos (*Dolichos lablab*), en un suelo Luvisol cromático órtico típico. Las plantas cultivadas luego de la incorporación del abono orgánico presentaron los mayores pesos frescos y secos, aéreos y radiculares, con un rendimiento de 27,91 tn.ha⁻¹ significativamente superior al tratamiento con fertilización mineral de 16,57 tn.ha⁻¹ (p<0,05).

En lechuga cv. Montello, bajo invernadero, Viaene y Abawi (1998) evaluaron la capacidad nematocida de phacelia cv. Angelina (*Phacelia tanacetifolia*), rábano oleaginoso cv. Renova (*Raphanus sativus* var. *Oleífera*), moztaza amarilla cv. Martigena (*Brassica hirta*), avena cv. Porter (*Avena sativa*), centeno (*Secale cereale*) y sorgo sudangrass cv. Trudan 8 (*Sorghum sudanense*) como abonos verdes sobre el control de *Meloidogyne hapla* en macetas. El sorgo sudangrass cv. Trudan 8 demostró ser no hospedero del nemátodo ya que no permitió su multiplicación. Además, la incorporación al suelo de su biomasa antes de la siembra de lechuga fue la más eficaz para reducir la producción de huevos. Por otro lado, en el ensayo a campo, el peso de las cabezas de lechuga fue significativamente mayor (p<0,01) y la multiplicación de *M. hapla* fue significativamente menor (p<0,05) en las parcelas abonadas con sorgo sudangrass en comparación con aquellas que se dejaron en barbecho entre cultivos de lechuga.

Por su parte Gilardi *et al.* (2016), evaluaron el efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre el marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* en Lechuga cv. Crispilla bajo invernadero. Las plantas crecieron en macetas con una mezcla de turba de musgo *Sphagnum* rubia (pH 6,1 y 32,4% de MO) y suelo franco arenoso (pH 7,1 y 2,4% de MO) en una relación 30:70 (v/v). Los resultados obtenidos mostraron una reducción de 36 a 70% en la severidad de la enfermedad al

emplear como abono verde mostaza castaña (*Brassica juncea*) cv ISCI99 en comparación con un testigo, el cual no recibió enmienda orgánica, pero fue inoculado con el patógeno al igual que el tratamiento con abono verde.

5.1.6. BIBLIOGRAFÍA

Agostini, F., Sparvoli, E. y De Siena, C. (2003). Improving the physical properties of soil from the Biancana Badlands, Tuscany, Italy, by the use of amendment materials. *Soil Use and Management*, 19, 270-272.

Alarcón, A., Davies, F. T., Eguilla, J. N., Fox, T. C., Estrada Luna, A. A. y Ferrera Cerrato, R. (2002). Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 44(1), 31-37.

Alyokhin, A., Atlihan, R. (2005). Reduced fitness of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on potato plants grown in manure-amended soil. *Environmental entomology*, 34(4), 963-968.

Bajwa, R., Aslam, N., Javaid, A. (2002). Comparison of Three Green Manures for Growth and VA Mycorrhizal Colonization in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Biological Sciences*, 2(8), 512-517.

Birbaumer, G y. (2000). *Cultivar sin arar labranza mínima y siembra directa en los Andes*. Colombia: Alberto de la Rosa Cortés.

- Blackshaw, R. E., Moyer, J. R., Doram, R. C. y Boswell, A. L. (2001). Yellow sweetclover, green manure and its residues effectively suppress weeds during fallow. *Weed Science*, 49(3), 406-413.
- Bučienė, A., Šlepetienė, A., Šimanskaitė, D., Svirskienė, A. y Butkutė, B. (2003). Changes in soil properties under high- and low-input cropping systems in Lithuania. *Soil use and management*, 19, 291-297.
- Caliskan, S., Yetisir, H. y Karanlik, S. (2014). Combined Use of Green Manure and Farmyard Manure Allows Better Nutrition of Organic Lettuce. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1), 248-254.
- Cherr, C. M., Scholberg, J. M. S., & McSorley, R. (2006). Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agronomy journal*, 98(2), 302-319.
- Chevez Sanabria, E., & Espinosa Treminio, A. (2010). Efecto de cuatro densidades de siembra y niveles de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de biomasa seca del sorgo forrajero. Variedad INTA forrajero en el período comprendido 2008-2009. Tesina de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, Facultad de Ciencias y Tecnología. Nicaragua.
- Crews, T. E., & Peoples, M. B. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, ecosystems & environment*, 102(3), 279-297.
- Curto, G., Dallavalle, E., De Nicola, G. R., & Lazzeri, L. (2012). Evaluation of the activity of dhurrin and sorghum towards *Meloidogyne incognita*. *Nematology*, 14(6), 759-769.

- Delgado, H., Navas, G. E., Salamanca, C. R., & Chacón, A. (2009). Barbechos mejorados con leguminosas: una promisoría alternativa agroecológica para el manejo alelopático de malezas y mejoramiento del cultivo de arroz y maíz en los Llanos de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 227-235.
- De Resende, A. S., Xavier, R. P., Quesada, D. M., Urquiaga, S., Alves, B. J., & Boddey, R. M. (2003). Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. *Biology and Fertility of Soils*, 37(4), 215-220.
- Espíndola, J. D. A., de Almeida, D. L., & Guerra, J. G. M. (2004). Estrategias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. *Embrapa Agrobiología-Documentos (INFOTECA-E)*.
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma, Italia: FAO.
- Fatemy, S., & Sepideh, A. (2016). Adverse effects of brassica green manures on encysted eggs, infective second-stage juveniles and the reproduction of *Globodera rostochiensis*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 123(5), 225-233.
- Florentín, M. A., Peñalva, M., Calegari, A., & Derpsch, R. (2001). Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. San Lorenzo, Paraguay: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Franco, J., Ramos, J., Oros, R., Maín, G., & Ortuño, N. (1999). Pérdidas Económicas Causadas por *Nacobbus aberrans* y *Globodera spp.* en el Cultivo de la Papa en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la papa*, 11(1), 40-66.

- Gallego Blanco, J. M. (2012). Efectos de dos abonos verdes sobre la mineralización del nitrógeno y la dinámica de las bacterias oxidantes del amoníaco y del nitrito en un ciclo de cultivo de maíz *Zea maíz* L. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Colombia.
- García, M., Treto, E., Álvarez, M. (2000). Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. I. Estudio comparativo de diferentes especies. *Cultivos Tropicales*, 21(1), 5-11.
- García Hernández, J. L., Murillo Amador, B., Nieto Garibay, A., Fortis Hernández, M., Márquez Hernández, C., Castellanos Pérez, E., Quiñones Vera, J., Avila Serrano, N. Y. (2010). Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 28(4), 391-399.
- Garrido Baños, S. A. (2015). Evaluación de diferentes mezclas de abonos verdes como fuentes complementarias en la fertilización del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill.) orgánico en invernadero. Tesina de grado. Universidad de Talca, Facultad de Agronomía. Chile.
- González, K., Crozzoli, R., & Greco, N. (2001). Utilización de enmiendas orgánicas en el control de *Meloidogyne incógnita*. *Nematología mediterránea*, 29,41-45.
- Guerena, M. (2006). Nematodes: Alternative control. USA. *ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service*. Url: <https://attra.ncat.org/product/nematodes-alternative-controls/>

- Hafez, S. L. (1998). Management of Sugarbeet Cyst Nematode. *University of Idaho Cooperative Extension. CIS 1071, 2*.
- Iriarte, L., Franco, J., & Ortuño, N. (1999). Efecto de abonos orgánicos sobre las poblaciones de nematodos y la producción de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa, 11(1)*, 149-163.
- Kratochvil, R. J., Sardanelli, S., Everts, K., & Gallagher, E. (2004). Evaluation of Crop Rotation and Other Cultural Practices for Management of Root-Knot and Lesion Nematodes. *Agronomy Journal, 96(5)*, 1419-1428.
- Larkin, R. P., & Griffin, T. S. (2007). Control of soilborne potato diseases using Brassica green manure. *Crop Protection, 26(7)*, 1067-1077.
- Lazarovits, G. (2010). Managing Soilborne Disease of Potatoes Using Ecologically Based Approaches. *American Journal of Potato Research, 87(5)*, 401-411.
- Lee, I. B., Park, J. M., Lim, J. H., & Hwang, K. S. (2006). Growth and yield response of the following tomato crop according to incorporation of green manures into soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture, 25(4)*, 346-351.
- Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales, 36*, 34-50.
- Martín Alonso, G. M. (2009). Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, la *Canavalia ensiformis* y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivadas sobre suelos Ferralíticos Rojos de La Habana. Tesis de Doctorado. Universidad Agraria de la Habana. Cuba.

- Matthiessen, J. N., & Kirkegaard, J. A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *Critical reviews in plant sciences*, 25(3), 235-265.
- Mcsorley, R. (2011). Overview of organic amendments for management of plant-parasitic nematodes, with case studies from Florida. *Journal of Nematology*, 43(2),69-81.
- Morales A., Hernández, J., Cepeda, R., Amador, B., Dieguez, E., Mayoral, J., Espinoza, F., Larios, L., y Rodríguez, F. (2005). Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde en la recuperación de la fertilidad de un suelo areno-migajoso. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 381-387.
- Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—a review. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 101-115.
- Perin, A., Santos, R. H. S., Urquiaga, S., Guerra, J. G. M., & Cecon, P. R. (2004). Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(1), 35-40.
- Prager Mósquera, M., Sanclemente Reyes, O. E., Sánchez de Prager, M., Miller Gallego, J., & Ángel Sánchez, D. I. (2012). Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*, 7(1), 53-62.
- Randhawa, P. S., Condrón, L. M., Di, H. J., Sinaj, S., & McLenaghan, R. D. (2005). Effect of green manure addition on soil organic phosphorus mineralization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73(2-3), 181-189.

- Sakala, W. D., Kumwenda, J. D., & Saka, A. R. (2003). The potential of green manures to increase soil fertility and maize yields in Malawi. *Biological agriculture & horticulture*, 21(2), 121-130.
- Sánchez de Prager, M., Gómez López, E. D., Muñoz Flores, J. E., Barrios, E., Prager Mosquera, M., Bravo Otero, N., ... & Cadavid, L. F. (2007). *Las Endomicorrizas: Expresión bioedáfica de importancia en el trópico*. Cali, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Sanclemente, O., & Prager, M. (2009). Efecto del cultivo de cobertura y abono verde: *Mucuna pruriens* en las propiedades biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz dulce (*Zea Mays* L.) en la zona de ladera del Municipio de Palmira Valle del Cauca, Colombia. *Revista Brasileira de Agroecología*, 4(2), 4133-4138.
- Sarmiento, J. J., dos Santos, J. J., Costa, C. C., & Bomfim, M. P. (2019). Agronomic performance of lettuce subjected to green manure with different leguminous species. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(2), 114-118.
- Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R. S., Singh, A. K., & Patra, D. D. (2010). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Industrial Crops and Products*, 31(2), 289-293.
- Sodré Filho, J., Nunes Cardozo, A., Carmona, R., Moreira de Carvalho, A. (2004). Fitomassa e cobertura do solo de cobertura de sucessão ao milho na Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(4), 327-334.

- Stark, J. C. (1995). Development of Sustainable Potato Production Systems for the Pacific North west. Estados Unidos. *Sustainable Agriculture Research & Education (SARE)*.
- Suquilanda, M. B. (2003). *Manejo integrado de plagas en el cultivo de arroz*. Quito, Ecuador: Organización mundial de la salud.
- Thorup Kristensen, K. (2006). Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil use and management*, 22(1), 29-38.
- Vallejos, F., Kliever, I., Florentín, M., Casaccia, J., Calegari, A., Derpsch, R. (2001). *Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Sistemas de producción tractorizados*. San Lorenzo, Paraguay: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Velazco Velazco, J., Ferrera Cerrato, R., Almaraz Suárez, J. J. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasiliense* en tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 241-248.
- Viaene, N. M., & Abawi, G. S. (1998). Management of *Meloidogyne hapla* on lettuce in organic soil with sudangrass as a cover crop. *Plant disease*, 82(8), 945-952.

5.2. BOCASHI

5.2.1. CONCEPTO

El vocablo “bocashi” es traducido del japonés como “materia orgánica fermentada”. Los agricultores japoneses lo utilizan como abono orgánico desde hace varios años. Su principal función es incrementar la actividad y cantidad de microorganismos en el suelo y proveer al cultivo de nutrientes (Shintani *et al.*, 2000). El bocashi se obtiene del proceso de descomposición de diferentes materiales que pueden ser utilizados y sustituidos según la disponibilidad que exista en la región, dentro de los que se encuentran los rastrojos y la cascarilla de café entre otros. Esto lo convierte en una actividad práctica y de gran beneficio para el agricultor a partir del aprovechamiento de los recursos disponibles en el campo (Cabrera, 2011).

5.2.2. COMPONENTES

No existe una receta exclusiva o fórmula única para la elaboración del bocashi. La composición de este abono se ajustará a las condiciones y materiales existentes en las comunidades (Restrepo Rivera y Hensel, 2009). A continuación, se describen los materiales comúnmente utilizados en su elaboración, sus funciones y sus posibles reemplazos en caso de no contar con alguno de ellos:

- **Suelo:** Puede ocupar hasta una tercera parte del volumen total del abono que se desea elaborar. Entre otros aportes tiene la función de darle una mayor homogeneidad física como así también lograr una distribución de humedad uniforme en la pila de materiales al momento de su preparación. Con su volumen aumenta el medio propicio para el desarrollo de la actividad microbiológica y, consecuentemente, se obtiene una buena fermentación. Por otro lado, funciona como una esponja al tener la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente

los nutrientes a las plantas de acuerdo con las necesidades de éstas (Brechelt, 2004). Dependiendo de su origen puede aportar variados tipos de arcillas, microorganismos inoculadores y otros elementos minerales indispensables para el desarrollo normal de los vegetales. Es conveniente cernir la tierra con la finalidad de liberarla de piedras, grandes terrones y maderas. Las mejores tierras para la elaboración de estos abonos son las de origen arcilloso, porque las mismas facilitan la formación de complejos silicatados y arcillo húmicos junto con la materia orgánica (Portillo *et al.*, 2011).

- **Estiércol:** Es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de los abonos orgánicos fermentados. Su función consiste en mejorar las características vitales y la fertilidad del suelo aportando algunos nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. Según la especie de la cual provenga puede proporcionar inóculo microbiológico y otros materiales orgánicos en mayor o menor cantidad, los cuales mejorarán las condiciones biológicas, químicas y físicas del terreno donde se aplicarán los abonos. Algunos agricultores han venido experimentando con éxito la utilización de estiércol de conejos, caballos, ovejas, cabras, cerdos, vacas o gallinas (Restrepo Rivera y Hensel, 2009).
- **Carbonato de calcio o cal agrícola:** Su función principal es regular la acidez que se presenta durante todo el proceso de fermentación. Este ingrediente puede ser sustituido por cenizas, las que presentan excelentes resultados debido al aporte de otros elementos minerales para los cultivos (Portillo *et al.*, 2011). La ceniza provee altas cantidades de potasio y puede ser obtenida de los

fogones o estufas caseras que funcionan con leña (Restrepo Rivera y Hensel, 2009).

- **Melaza:** La melaza de caña es un subproducto de la industria azucarera que se recomienda como sustrato ya que con él se logra incrementar el desarrollo microbiano de bacterias ácido-lácticas (Ossa *et al.*, 2010). Además de servir como fuente de energía para los microorganismos, proporciona cierta cantidad de boro, calcio y otros nutrientes (Brechelt, 2004). Puede ser sustituida por azúcar morena o panela (Briceño Torres, 2002; Portillo *et al.*, 2011).
- **Residuos vegetales:** Anualmente se genera una cantidad considerable de residuos de cosecha. Como los productores no aplican alternativas para darles un uso apropiado, frecuentemente se convierten en una molestia, más aún cuando por manejo inadecuado o falta de conciencia ambiental generan problemas de contaminación (Villalba *et al.*, 2011). Al contar los residuos de cosecha con un alto contenido de materia orgánica son importantes para su uso en el compostaje. Además, como residuos generados de parcelas de cultivo, forman parte importante de las acciones para la sostenibilidad del agroecosistema, obteniendo un insumo dentro de la misma unidad de producción que se reincorpora al suelo una vez procesado (Farré, 2006). Se ha elaborado bocashi a partir de residuos agrícolas de la producción de plátano (Ramos Agüero *et al.*, 2014), de desechos de mercado como son los restos de frutas, vegetales y hojas secas (Sánchez Bravo, 2018) y también con cascarilla o pulpa de café seca, pajas bien secas y trituradas o rastrojos y aserrín (Portillo *et al.*, 2011).

- ❖ **Cascarilla de arroz:** La cascarilla de arroz puede ocupar, en muchos casos, hasta un tercio del volumen total de los ingredientes de los abonos orgánicos. Este ingrediente mejora las características físicas del abono facilitando la aireación y la absorción de humedad. Además, es una fuente rica en silicio, lo que favorece a los vegetales pues los hace más resistentes a temperaturas extremas, al vuelco y a los ataques de insectos y enfermedades (Brechelt, 2004; Caicedo y Chavarriaga, 2007). Se recomienda su uso para controlar los excesos de humedad cuando se están preparando los abonos fermentados. En caso de no disponer de cascarilla de arroz puede ser reemplazada por aserrín. Sin embargo, hay que evitar el uso de aserrín proveniente de *Eucalyptus globulus*, *Quercus rubra* y *Pinus sp* debido a que contienen sustancias tóxicas, principalmente taninos y sustancias aromáticas, capaces de paralizar la actividad microbiológica de la fermentación (Domingo y Brea, 2003; Pérez Díaz, 2007; Portillo *et al.*, 2011).
- ❖ **Salvado de arroz o afrecho:** Es uno de los ingredientes que favorecen en alto grado la fermentación de los abonos, la cual se incrementa por la presencia de vitaminas complejas presentes en el afrecho de arroz. Aporta activación hormonal, nitrógeno y es muy rico en otros nutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio. En algunos casos, dado la dificultad de obtenerlo, puede sustituirse por salvados de maíz o trigo (Portillo *et al.*, 2011).
- **Suero o ácido láctico:** El lacto-suero ácido es un derivado de la elaboración del queso. Su acción para mejorar la descomposición de la materia orgánica e

incrementar la disponibilidad de nutrientes está dada por una alta actividad de bacterias lácticas (Arias Vega, 2007) como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* y *Streptococcus lactis*. El bocashi elaborado con 100% de lacto-suero ácido representa una buena alternativa para reemplazar el uso de agua ya que se obtienen mejores resultados en términos productivos (Sequeira Lezama, 2019).

- **Levadura:** constituye la principal fuente de inoculación microbiológica. En la primera elaboración de bocashi es recomendable utilizar levadura para pan en barra o en polvo. Luego, ya con la experiencia, seleccionar una buena cantidad del mejor abono curtido tipo bocashi (fermento madre) para utilizarlo constantemente como principal fuente de inoculación (Portillo *et al.*, 2011). La levadura de pan puede sustituirse por microorganismos de montaña (MM). Estos son principalmente colonias de hongos, bacterias y levaduras benéficas que se encuentran de manera natural en diferentes ecosistemas; bosques mixtos, bosques latifoliados, dormideros de vacas. La incorporación de MM en la elaboración de bocashi también favorece la presencia de microorganismos benéficos que controlarán enfermedades y descompondrán otras materias orgánicas en el suelo (Suchini Ramírez, 2012).
- **Carbón vegetal:** Mejora las características físicas del suelo como su estructura, la aireación y la absorción de humedad y calor. Su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica del suelo y facilita una mejor distribución de las raíces (Brechelt, 2004). Al permitir una buena oxigenación del abono evita que existan limitaciones en el proceso aeróbico de la fermentación. Otra propiedad que posee este elemento es la de funcionar como un regulador

térmico del sistema radicular de las plantas, haciéndolas más resistentes contra las bajas temperaturas nocturnas que se registran en algunas regiones (Portillo *et al.*, 2011). Para facilitar la fermentación, el material debe ser picado hasta obtener un tamaño de 2 cm aproximadamente (Brechelt, 2004).

- **Agua:** Favorece la creación de condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad y reproducción de los microorganismos durante la fermentación. El exceso de humedad, al igual que la falta de esta, afecta la obtención de un abono de buena calidad (Ramos Agüero y Terry Alfonso, 2014). La forma más práctica de medir la humedad es por medio de la Prueba del puño que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua (Román *et al.*, 2013). Si bien este método es sencillo, rápido y directo, para obtener un mayor grado de precisión lo recomendable es corroborar el procedimiento tomando una alícuota de la muestra para determinar el contenido de humedad por gravimetría (Torti *et al.*, 2019).

5.2.3. EJEMPLOS DE FORMULACIONES

A pesar de no existir una receta única para la elaboración de bocashi, a continuación, se presentan 7 tablas con ejemplos de formulaciones recomendadas por diferentes autores.

Tabla II *Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi.* Adaptado de Portillo et al., 2011.

Material	Unidad	Cantidad
Rastrojos verdes: malezas (sin semillas), follaje de leguminosas, desperdicios de frutas y hortalizas.	kg	300
Rastrojos secos de: maíz, arroz, cascarilla de arroz, maleza seca (sin semillas), aserrín, carbón en partículas pequeñas, etc.	kg	400
Estiércol fresco de ganado	kg	100
Gallinaza (seca)	kg	100
Cal o ceniza	kg	4,5
Melaza	l	3,8
Afrecho de arroz seco	kg	100
Levadura de pan / suero de leche sin cocer	g / l	100 / 3,8-7,6
Agua	Realizar una única aplicación de acuerdo a la Prueba del puño	

g/l = Hay que optar por una sola opción

Tabla III *Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi.* Adaptado de Escobar Olán, 2014.

Material	Unidad	Cantidad
Gallinaza	kg	225
Cascarilla de café o arroz	kg	225
Tierra	kg	225
Carbón molido	kg	70
Salvado de arroz	kg	45
Cenizas vegetales	kg	4,5
Melaza	l	4
Levadura	g	500
Agua	l	100

Tabla IV *Materiales para la fabricación de 568 kg de bocashi.* Adaptado de Sequeira Lezama, 2019.

Material	Unidad	Cantidad
Estiércol de cerdo	kg	136,3
Estiércol de vaca	kg	113,6
Gallinaza	kg	136,3
Aserrín	kg	181,8
Levadura	g	150
Melaza	l	5
Suero	l	80

Tabla V *Materiales para la fabricación de 1000 kg de bocashi.* Adaptado de Ramos Agüero *et al.*, 2014.

Material	Unidad	Cantidad
Tierra	kg	113
Aserrín	kg	113
Estiércol de cerdo	kg	115
Desechos de plátano	kg	590
Carbón vegetal triturado	kg	45
Salvado de arroz	kg	24
Levadura	kg	0,22
Melaza o miel de caña	l	4

Tabla VI *Materiales para la elaboración de bocashi.* Adaptado de Brechelt, 2004.

Material	Unidad	Cantidad
Tierra	kg	200
Cascarilla de arroz o café	kg	200
Gallinaza	kg	200
Carbón	kg	100
Carbonato de calcio	kg	4,5
Bocashi	kg	4,5
Melaza	l	1
Levadura	g	100
Agua	Realizar una única aplicación de acuerdo a la Prueba del puño	

Tabla VII *Materiales para la fabricación de 130 kg de bocashi.* Adaptado de Niño Garay, 2018.

Material	Unidad	Cantidad
Tierra	kg	67,4
Cascarilla de arroz	kg	36
Estiércol bovino	kg	10
Ceniza	kg	5
Melaza	kg	4
Cal dolomita	kg	2,6
Levadura	kg	5
Agua	l	12

Tabla VIII *Materiales para la fabricación de 80 kg de bocashi.* Adaptado de Niño Garay, 2018

Material	Unidad	Cantidad
Tierra	kg	35
Cascarilla de arroz	kg	15
Estiércol bovino	kg	15
Ceniza	kg	8
Melaza	kg	2,4
Cal dolomita	kg	2,6
Levadura	kg	2
Agua	l	8

5.2.4. MÉTODO DE ELABORACIÓN

La elaboración de este tipo de abono dependerá del lugar y tipo de terreno donde va a ser empleado, de los materiales disponibles en la zona y de los cultivos que serán fertilizados (Bertolí Herrera *et al.*, 2015).

Los pasos para la elaboración de bocashi son los siguientes:

- 1) Elegir un sitio aislado de animales domésticos protegido del sol y la lluvia y que sea plano (Gómez y Vásquez, 2011). Se recomienda preparar el bocashi bajo techo y en piso de cemento, lo que facilita la rotación de los materiales, aunque también es posible prepararlo al aire libre protegiéndolo con una capa de pajas secas o alguna lona de plástico (Portillo *et al.*, 2011). En cuanto a las medidas del espacio necesario para elaborar el abono, de forma general, se considera de 1.0 a 1.30 m² de área por cada m³ de materia prima que se desea preparar o compostar (Restrepo Rivera, 2007). En caso de optar por un lugar al aire libre se debe limpiar el lugar con pala o azadón antes de empezar la preparación del bocashi, sacando las hierbas y retirando las piedras (Claros Reynaga *et al.*, 2010). Luego de la elección y limpieza del lugar se deben acopiar todos los materiales necesarios para fabricar el abono y picar los residuos verdes y secos en trozos de 2 a 3 cm (Portillo *et al.*, 2011).
- 2) Diluir la melaza en una relación 1:100 en una parte del volumen del agua que se utilizará al inicio de la elaboración del bocashi. Posteriormente se agrega la levadura y se mezcla hasta diluirla (Escobar Olán, 2014), cabe aclarar que la temperatura del agua no debe exceder los 34°C para no dañarla (Suárez Machín *et al.*, 2016). Otra opción es espolvorearla sobre los materiales que se van agregando al abono en pequeñas cantidades (Portillo *et al.*, 2011).
- 3) Colocar los materiales en capas de 10 cm de espesor en el siguiente orden (Claros Reynaga *et al.*, 2010):
 - 1^{ro}: Rastrojo (Cebada, avena, trigo, haba). Mejor si está picado.
 - 2^{do}: Suelo
 - 3^{ro}: Estiércol

- 4^{to}: Ceniza
- 5^{to}: Carbón
- 6^{to}: Salvado de arroz, harina de cebada, avena, trigo y maíz

Sobre las capas anteriores se pueden repetir exactamente los pasos desde el 1ro hasta el 6to con las mismas cantidades (Gómez y Vásquez, 2011).

- 4) Una vez armada la pila con los diferentes materiales en capas se debe aplicar la mezcla de levadura, agua y melaza.
- 5) Mezclar los ingredientes y agregar agua hasta alcanzar el nivel adecuado de humedad realizando la primera rotación (Gómez y Vásquez, 2011). Los materiales ubicados en la parte superior deben quedar por debajo de la pila, y los que se encuentran en los estratos bajos por encima de esta (Portillo, 2011). Para lograr una pila homogénea las capas deben mezclarse 2 o 3 veces (Suchini Ramírez, 2012). Se debe conseguir entre 50-60% de humedad en la mezcla. Para ello se recomienda agregar el agua por partes, de forma que quede siempre algo de mezcla seca por si hay exceso de agua. Para saber si se alcanzó la humedad adecuada se recomienda realizar la Prueba del puño mencionada en el apartado 5.2.2 (Escobar Olán, 2014). Hay que tener en cuenta que el agua se utiliza una sola vez en la preparación; no es necesario agregar más en la etapa de fermentación ni tampoco en los volteos (Gómez y Vásquez 2011).
- 6) Una vez lograda la mezcla homogénea de los materiales elaborar una cama de 50 cm de altura. Utilizar plástico para proteger la abonera de la lluvia y el sol cuando se ha elaborado al aire libre (Bertolí Herrera *et al.*, 2015). Además de su función protectora, la cubierta plástica permite acelerar el proceso de

fermentación (Escobar Olán, 2014). Es importante sostener la cubierta con piedras pequeñas con el fin de evitar que el viento la destape (Claros Reynaga *et al.*, 2010).

Remover la mezcla durante los primeros 4 o 5 días, 2 veces al día, por la mañana y por la tarde, para evitar que la temperatura alcance valores mayores a 50°C (Escobar Olán, 2014). Luego bastará con voltearlo una vez al día hasta que la temperatura no exceda los 45°C, con el propósito de mantener una temperatura adecuada para el crecimiento de las levaduras (Suárez Machín *et al.*, 2016). Una forma práctica de verificar la temperatura es introduciendo un machete dentro de los materiales durante 5 minutos. Al sacarlo se toca con la mano, si quema tiene demasiado calor y será necesario voltearlo inmediatamente (Portillo *et al.*, 2011). En caso contrario (demasiado frío) se debe aumentar la altura de la cama hasta 75 cm (Gómez y Vásquez, 2011) ya que si la altura es baja el calor generado por los microorganismos se pierde fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran no se conservan (Román *et al.*, 2013).

Cabe destacar que la fermentación del abono pasará por 2 etapas. La primera es la estabilización donde la temperatura puede llegar a alcanzar entre 70 a 75°C si no se controla adecuadamente, debido al incremento de la actividad microbiana. Posteriormente, la temperatura del abono comenzará a bajar dada la disminución de la fuente energética que retroalimentaba el proceso. En esta etapa solamente sobresalen los materiales que presentan una mayor dificultad para su degradación a corto plazo. La segunda etapa es la maduración, que se caracteriza por una temperatura constante, en la cual la degradación de los

materiales orgánicos que aún permanecen es más lenta (Portillo *et al.*, 2011; Jiménez *et al.*, 2017).

Cuando en el interior de la pila se haya alcanzado la temperatura ambiente y ésta comience a mantenerse estable en el tiempo, se dejará de voltear (etapa de maduración) (Escobar Olán, 2014).

7) Se considera que el abono está listo cuando no se distinguen los residuos que fueron incorporados, la mezcla es uniforme y tiene un aspecto similar a tierra negra y esponjosa (Ramos Agüero *et al.*, 2014).

Una de las características más importantes del Bocashi es la rapidez de su proceso de elaboración. Según Barchuk *et al.* (2018) al noveno día el abono reúne las condiciones para ser utilizado, a diferencia del compost y el lombricompost que demoran incluso meses.

8) Inmediatamente el abono bocashi debe ser trasladado a un sector bajo sombra y seco, sin humedad; o en su defecto, puede ser utilizado en alguna parcela directamente (Claros Reynaga *et al.*, 2010). El producto reúne características adecuadas para ser utilizado hasta los 150 días de su elaboración (Ramos Agüero *et al.*, 2014).

5.2.5. APLICACIÓN DE BOCASHI

Una vez completada la etapa final de la fermentación y el abono ha logrado su estabilidad, está listo para ser usado (Restrepo Rivera, 2007).

A continuación, se mencionan algunas de las etapas del cultivo en las que comúnmente se utiliza bocashi (Brechelt, 2004):

- Obtención de plantines: para la realización de almácigos en vivero se utiliza una mezcla de tierra cernida con bocashi curtido (bocashi añejado que se ha

guardado entre 2 y 3 meses) y carbón pulverizado. Las proporciones pueden variar desde un 90% de tierra cernida con un 10% de bocashi curtido hasta un 60% de tierra cernida con un 40% de bocashi curtido.

- Trasplante: a la hora de realizar esta práctica se puede optar por aplicar el abono puro en la base del surco donde va a ser colocado el plantín o a ambos lados de este.
- Siembra: Abonado directo con bocashi puro en el surco donde se irá a establecer el cultivo a sembrar.

Recomendaciones

Para la realización de almácigos debe utilizarse bocashi curtido ya que tiene la ventaja de no quemar los plantines, riesgo que se corre cuando se utiliza bocashi fresco (Restrepo Rivera, 2007). En caso de aplicarlo al momento del trasplante debe colocarse en el fondo del surco y luego cubrirlo con una pequeña capa de suelo para evitar posibles quemaduras al no estar en contacto con las raíces del plantín (Boudet Antomarchi *et al.*, 2015). Además, de esta forma se protege al abono de la pérdida de propiedades causadas por la exposición al sol (Claros Reynaga *et al.*, 2010).

La cantidad recomendada a aplicar depende del cultivo, el clima y el suelo. Brechelt (2004) recomienda las siguientes dosis: 30 g.planta⁻¹ en el caso de hortalizas de hoja, 80 g.planta⁻¹ en hortalizas de cabeza y tubérculos y hasta 100 g.planta⁻¹ en tomate y pimiento. Según Portillo *et al.* (2011) en hortalizas puede realizarse una sola aplicación de 1,8 kg.m⁻², 15 días antes de la siembra o trasplante.

5.2.6. TÉ DE BOCASHI

El abono fermentado tipo bocashi también se puede aplicar en forma líquida, denominado Té de bocashi. En primer lugar, se mezclan dentro de un saco 9 kg de bocashi con 9 kg de gallinaza. Este saco se introduce en un bidón plástico de 220 l con 100 l de agua, 2 l de leche y 2 l de melaza. Luego, se deja fermentar por 5 días. El té de Bocashi se utiliza en altas concentraciones, como fórmula arrancadora, a razón de 4 l por mochila pulverizadora de 18 l (Gómez y Vásquez, 2011).

Recomendaciones

- Remover la boquilla de aspersion para que la solución pueda ser aplicada en forma de chorro.
- Preferiblemente aplicar en el suelo o cerca de las raíces de las plantas.
- Si se planea aplicar a las hojas hacer la prueba en una planta. Si después de 2 horas no hay daño comenzar a aplicar al cultivo.

5.2.7. EFECTOS DE SU APLICACIÓN EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

5.2.7.1. PAPA

En la mayoría de los estudios que tratan acerca del uso de bocashi en el cultivo de papa, el abono orgánico es utilizado de manera conjunta con fertilizantes químicos o diferentes tipos de estiércol, sobrepasando los alcances de la presente monografía. Mena Herrera, F. (2005), es el autor del único trabajo hallado acerca del empleo de bocashi en papa. El autor evaluó la fertilización orgánica utilizando Bocashi vs la fertilización mineral con urea y superfosfato triple de forma conjunta en el cultivo de papa variedad Imilla Negra, a campo, en la provincia de Aroma (Bolivia). El bocashi fue elaborado con 300 kg de suelo virgen, 300 kg de suelo de cultivo, 300 kg de

estiércol, 300 kg de rastrojo, 22,7 kg de salvado de cebada, 22,7 kg de ceniza, 16,3 kg de cal agrícola, 500 g de levadura, 1 kg de panela y 80 l de agua. Si bien el tratamiento con fertilización mineral presentó una emergencia de plantas significativamente más rápida comparada con la utilización de bocashi, las plantas que crecieron bajo el efecto del abono orgánico tuvieron mayor altura a cosecha, número de brotes por planta y número de tubérculos por planta, superando estadísticamente a la fertilización mineral ($p < 0,05$). El rendimiento de las parcelas con bocashi fue de $12,47 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ seguido de las parcelas con fertilización mineral con $12,04 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$. El autor aclara que los rendimientos alcanzados son alentadores si se tiene en cuenta el rendimiento promedio de $3,5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la comunidad en la cual se desarrolló la investigación. Además, al analizar los beneficios netos de la producción, el tratamiento con bocashi logró una ganancia de $938,15 \text{ Bs}\cdot\text{ha}^{-1}$ superando a la fertilización mineral con $358,09 \text{ Bs}\cdot\text{ha}^{-1}$.

5.2.7.2. TOMATE

El bocashi también ha sido valorado como componente de sustratos en la obtención de plantines. Garbanzo León y Vargas Gutiérrez (2017), evaluaron diferentes mezclas de sustratos sobre el crecimiento de plántulas de tomate var. Hayslip bajo condiciones de invernadero. De todas las mezclas evaluadas se destacaron aquellas formadas por 50% de bocashi + 25% de compost + 25% de fibra de coco y 50% de compost + 25% de bocashi + 25% de fibra de coco, ya que las plántulas que crecieron en ellas presentaron valores significativamente superiores para las variables peso seco aéreo y radicular, grosor de tallo, número de hojas y tasa de crecimiento en relación a las plántulas que crecieron en el tratamiento testigo de turba de musgo *Sphagnum* ($P \leq 0,01$). En este estudio el bocashi fue elaborado con

estiércol vacuno, gallinaza, cascarilla de arroz, ceniza de cascarilla de arroz, salvado de arroz, melaza, microorganismos eficientes y agua, mientras que el compost utilizado fue una mezcla de 50% de compost a base de estiércol vacuno y 50% de compost a base de residuos de plantas de ananá. Garbanzo León y Vargas Gutiérrez (2014), en un ensayo previo y similar realizado en invernadero, mencionan que las plántulas con mayor longitud de tallo fueron aquellas que crecieron en las 2 mezclas mencionadas, diferenciándose del mismo sustrato comercial ($p < 0,01$). El bocashi fue elaborado con los mismos ingredientes del ensayo realizado en 2017, a los que se sumó suelo solarizado (las proporciones utilizadas fueron iguales en todos los componentes). A su vez, el compost resultó de la mezcla de un compost semicomercial con un compost proveniente de residuos de ananá. Los autores concluyeron que los abonos orgánicos citados reúnen condiciones adecuadas para su utilización en almácigos de tomate.

Por su parte, Montenegro y Martínez Blandón (2012) en el Centro de Desarrollo Tecnológico del Valle del Sébaco, INTA (Nicaragua) estudiaron el efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de bocashi sobre el cultivo de tomate variedad Valle de Sébaco, a campo. Todas las formulaciones de bocashi superaron en rendimiento al testigo sin aplicación de abono orgánico ($4.234 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que la mayor diferencia la mostró la formulación número 5 cuyo rendimiento fue de $9.387 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($p < 0,0001$). Los materiales utilizados en la misma fueron 60 kg de suelo, 60 kg de estiércol vacuno, 40 kg de cascarilla de arroz, 30 kg de carbón de cascarilla de arroz, 10 kg de afrecho, 3 kg de mantillo de bosque, 2 l de melaza y agua. Además, esta formulación presentó los valores más altos en altura de planta comparado con el testigo a los 15 y 45 días post trasplante ($p < 0,0001$). Boudet

Antomarchi *et al.* (2017) en la provincia de Granma (Cuba) también mencionan valores significativamente superiores de racimos y frutos por planta, diámetro ecuatorial y polar del fruto y un rendimiento de 54,47 tn.ha⁻¹ en tomate variedad Vyta en condiciones de campo, al utilizar una dosis de 2,99 tn.ha⁻¹ de bocashi en un suelo Fluvisol (pH 5,1 y 1,70% de MO) en relación al control sin abono orgánico cuyo rendimiento fue de 41,72 tn.ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). En este caso el bocashi empleado se elaboró a partir de 45,3 kg de suelo fértil, 45 kg de estiércol vacuno, 45,3 kg de carbón vegetal, 23 kg de afrecho, 23 kg de cascarilla de arroz, 3 kg de cal agrícola, 2 l de melaza, 50 g de levadura y agua.

5.2.7.3. LECHUGA

Resultados superiores a favor del abono orgánico son mencionados por Agredo España, D. (2014), en el municipio de Jamundí (Colombia) quién comparó la eficiencia y viabilidad económica de la utilización de bocashi y un fertilizante químico en la producción de lechuga var. Lisa a campo, en un suelo franco arenoso proveniente de 30 años de ganadería extensiva (pH 5 y 2,7% de MO). Al momento de la cosecha, las lechugas tratadas con bocashi presentaron valores de altura, peso de planta, longitud de hoja y de raíz superiores estadísticamente a aquellas que recibieron la fertilización química ($p < 0,05$). En relación a la viabilidad económica se llegó a la conclusión de que el costo de producción con bocashi es 48,39 % menor que el costo de utilizar el fertilizante químico. La formulación utilizada en este ensayo consistió en 100 kg de cascarilla de arroz, 100 kg de suelo, 75 kg de gallinaza, 36 kg de carbón vegetal, 25 kg de cal agrícola, 25 kg de afrecho, 25 kg de harina de rocas, 3,8 l de melaza, 1 kg de levadura y agua.

Por otro lado, Briceño Torres (2002), en Intibucá (Honduras) evaluó 4 fuentes de nitrógeno en la elaboración de bocashi y su posterior utilización en el cultivo de lechuga cv. "Simpson Elite" comparada con la aplicación de urea como fertilizante convencional. El estudio fue realizado a campo en un suelo con pH de 6,6 y 3,84% de MO. La elaboración del abono incluyó los siguientes materiales: suelo virgen, una fuente nitrogenada, rastrojo de maíz, salvado de trigo, cal agrícola, levadura, panela y agua. Las fuentes nitrogenadas fueron el frijol Dolichos (*Dolichos lablab*), el frijol Choreque (*Lathyrus nigrivaldis*) y una mezcla de gallinaza y frijol Choreque contra el bocashi testigo hecho a base de gallinaza. En términos de rendimiento no se halló diferencia significativa entre aplicar bocashi elaborado con frijol Dolichos (31.388,9 kg.ha⁻¹), frijol Choreque (30.555,55 kg.ha⁻¹), mezcla de gallinaza y Choreque (34.555,55 kg.ha⁻¹), gallinaza (39.722 kg.ha⁻¹), y el tratamiento con urea (36.200 kg.ha⁻¹) (p>0,05). Sin embargo, los análisis foliares de las plantas abonadas con bocashi mostraron un bajo porcentaje de nitrógeno con valores entre 3,34 % y 3,83 %, siendo el tratamiento con urea el único que obtuvo una concentración normal de este elemento en las hojas con un valor de 4,75 % (p<0,05). Este resultado podría explicarse debido a la lenta liberación de nutrientes que presenta el bocashi en contraste con un fertilizante convencional de liberación rápida como la urea. El bocashi había sido aplicado en 2 fracciones a los 8 y 23 días postrasplante, lo que causó una desincronización entre el aporte de nutrientes y la demanda del cultivo. Debido a esto se recomienda la aplicación de bocashi previo al trasplante.

Sequeira Lezama, J (2019) en la Unidad de Agricultura Orgánica de Zamorano, (Honduras) menciona rendimientos de 22,6 t.ha⁻¹ en lechuga cv. Tropicana al utilizar bocashi elaborado con 100 % lacto-suero, en remplazo del agua en su elaboración,

bajo condiciones de campo en un suelo con pH de 7,08 y 3,48% de MO. Este resultado fue superior estadísticamente en comparación a los obtenidos a partir de otros tipos de elaboración que consistieron en la sustitución incremental de agua por lacto-suero en un 0, 25, 50 y 75% y al testigo sin fertilización, el cual presentó 15 t.ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). Además, con dicha formulación se obtuvieron los valores más altos de peso fresco foliar y radicular. El bocashi fue elaborado a partir de 136,3 kg de estiércol porcino, 136,3 kg de gallinaza, 113,6 kg de estiércol vacuno, 181,8 kg de aserrín, 150 g de levadura, 5 l de melaza y agua y/o lacto-suero dependiendo del tratamiento.

5.2.8. BIBLIOGRAFÍA

- Agredo España, D. (2014). Comparación de la eficiencia en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) en un suelo rehabilitado con abono orgánico *bocashi* y el mismo suelo con fertilizante químico N-P-K. Tesina de Grado. Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ciencias Básicas. Colombia.
- Arias Vega, C. A. (2007). Estudio de 2 grupos de microorganismos como agentes aceleradores de descomposición de los desechos sólidos orgánicos originados en los comedores de ESPOL. Tesina de grado. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Ecuador.
- Barchuk A. H., Suez L. S., Locati, L., Guzman, M. L., Silbert V. (2018). Manual para la transición agroecológica: guía para agricultoras y agricultores agroecológicos. Córdoba, Argentina: Brujas.

- Bertolí Herrera, M. P., Terry Alfonso, E., Ramos Agüero, D. (2015). *Producción y uso del abono orgánico tipo Bocashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y la calidad de los suelos*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Boudet Antomarchi, A., Boicet Fabrè, T., Durán Ricardo, S. & Meriño Hernández, Y. (2017). Effect on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) of different doses of organic fertilizer bocashi under agroecological conditions. *Centro Agrícola*, 44(4), 37-42.
- Boudet Antomarchi, A., Chinchilla Calderón, V. E., Boicet Fabrè, T. y González Gómez, G. (2015). Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola*, 42(4), 5-9.
- Briceño Torres, M. C. (2002). *Determinación del contenido de nitrógeno del bocashi hecho con frijol Dolicos (Dolichos lablab) y el frijol Choreque (Lathyrus nigrivaldis) como sustituto de la gallinaza y su efecto en la fertilización del cultivo de lechuga (Lactuca sativa)*. En FHIA. *Proyecto FHIA, La Esperanza - Informe Técnico 2001* (pp. 48-58). San Pedro Sula, Honduras: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Cabrera, P. (2011). *Colección "Buenas prácticas": Aboneras tipo Bocashi*. FAO/Unión Europea. Guatemala: Serviprensa.
- Caicedo, L. M., Chavarriaga Montoya, W. (2007). Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agron.* 15(1), 27-37.

- Domingo, D., & López Brea, M. (2003). Plantas con acción antimicrobiana. *Revista española de quimioterapia*, 16(4), 385-393.
- Escobar Olán, J. (2014). El método Bocashi como alternativa para el manejo de los residuos orgánicos agrícolas. Tesina de grado. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. México.
- Farré, F. X. M. (2006). Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. *Equipamiento y servicios municipales*, 125, 38-48.
- Garbanzo León, G., & Vargas Gutiérrez, M. (2014). Determinación fisicoquímica de diez mezclas de sustratos para producción de almácigos, Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, 15(30), 151-168.
- Garbanzo León, G., & Vargas Gutiérrez, M. (2017). Actividad microbial en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 159-169.
- Jiménez, J. M., Lemus, A. C., del Rosario Reyes, V. M., & Valiente, A. C. (2017). Evaluación del efecto de la formulación y los parámetros de proceso sobre el desempeño de un abono orgánico tipo Bocashi modificado con residuos de percolación de café (*Coffea arabica* L.) en el desarrollo metabólico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 1(15), 47-55.
- Mena Herrera, F. C. (2005). Producción ecológica de papa (*Solanum tuberosum* spp. *Andigenum*) var, Imilla Negra con la aplicación de abono bocashi en el Altiplano Central de La Paz. Tesina de grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Bolivia.

- Montenegro, E. J., & Martínez Blandón, D. O. (2012). Efecto de la aplicación del abono tipo bocashi sobre el rendimiento productivo en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill), bajo riego, San Isidro, I semestre, 2012. Tesina de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad Regional Multidisciplinaria Matagalpa. Nicaragua.
- Niño Garay, D. A. (2018). Estandarización de la producción de bocashi y compost como fertilizantes para aplicar a las huertas caseras de pequeños agricultores de Facatativá - Cundinamarca. Tesina de grado. Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Colombia.
- Ossa, J. A., Vanegas, M. C., & Badillo, Á. M. (2010). Evaluación de la Melaza de caña como sustrato para el crecimiento de *Lactobacillus plantarum*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1),97-104.
- Pérez Díaz, N. (2007). Compostaje de corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en la obtención de compost como fuente de sustrato para viveros forestales. Tesis doctoral. Universidad Pinar del Río, Cuba.
- Portillo, N., Morataya, E., Santos, E., & Cáramo, F. (2011). *Elaboración y uso del bocashi*. San Salvador, El Salvador: FAO.
- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F. & Cabrera Rodríguez, J.A. (2014). Bocashi: organic manure elaborated starting from residuals of bananas production in Bocas del Toro, Panama. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97.

- Ramos Agüero, D. & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.
- Restrepo Rivera, J. (2007). El ABC de la agricultura orgánica y harinas de roca. Managua, Nicaragua: SIMAS.
- Restrepo Rivera, J., & Hensel, J. (2009) Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra. Cali, Colombia: Feriva S.A.
- Sánchez Bravo, G. V. (2018). Elaboración de abono Bocashi a partir de residuos orgánicos del mercado Juan Velasco Alvarado para el cultivo de *Spinacia oleracea* bajo el marco de economía verde en el distrito de Villa El Salvador – Lima 2018. Tesina de grado. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Sequeira Lezama, J. P. (2019). Uso de lacto-suero ácido en la elaboración de bocashi y su efecto en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Tropicana. Proyecto especial de graduación. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Shintani, M., Leblac, H., Tábora, P. (2000). *Bocashi (abono orgánico fermentado). Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Guía para uso práctico*. Limón, Costa Rica: EARTH.
- Suárez Machín, C., Garrido Carralero, N. A., & Guevara Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.

Suchini Ramírez, J. G. (2012). Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

Villalba, D. K., Holguín, V. A., Acuña, J. A., & Piñeros Varón, R. (2011). Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1):48-49.

5.3. COMPOST

5.3.1. CONCEPTO

Una estrategia que se ha utilizado desde la antigüedad para convertir los desechos orgánicos y poder utilizarlos posteriormente en agricultura es el proceso de compostaje (Cegarra Rosique y Paredes Gil, 2008).

La FAO define como compostaje al proceso natural de descomposición de la materia orgánica en condiciones aeróbicas cuyo producto final es el compost, el cual se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

Se trata de un proceso de descomposición controlada de materiales biodegradables bajo condiciones dirigidas que son predominantemente aerobias y que permiten el desarrollo de temperaturas adecuadas para las bacterias termofílicas, como resultado del calor producido biológicamente (Saveyn y Eder, 2014).

También es posible interpretar el compostaje como la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido con menos carbono y nitrógeno, pero más estable que es llamado compost (Román *et al.*, 2013).

El compost es el resultado de la descomposición de restos orgánicos como ramas, hojas, césped, plantas adventicias, cáscaras de frutas, hortalizas, etc. Con la aplicación de compost al suelo estamos ayudando a la regeneración de su vida microbiana y, además, mejorando su textura y composición química (Montoya Gurumendi, 2018).

5.3.2. FASES DEL COMPOSTAJE

Al descomponer la materia orgánica, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso se reconocen 3 fases principales y una etapa de maduración, cuya duración es variable; todas deben cumplirse para obtener un compost de calidad (Román *et al.*, 2013). Estas fases comienzan luego de un período de latencia, cuya duración es de 2 a 4 días, en el cual los microorganismos se adaptan a su nuevo medio y la temperatura del proceso es similar a la temperatura ambiente (MARM, 2008; Rodríguez Silva y Llenque Díaz, 2016; Martínez Véliz *et al.*, 2019). A continuación, se describen las fases del proceso de compostaje:

- **Fase Mesófila:** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días e incluso en horas la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura se debe a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno generando calor (Román *et al.*, 2013). Esta fase se denomina acidogénica, ya que se caracteriza por la liberación de ácidos orgánicos que provocan un descenso de pH (Álvarez de la Puente, 2008). Los ácidos orgánicos son el producto de la descomposición de compuestos solubles como azúcares. Esta fase dura entre 2 y 8 días y el pH puede bajar hasta cerca de 4.0 o 4.5.
- **Fase Termófila o de Higienización:** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C y cercanas a los 60°C, los microorganismos mesófilos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados por aquellos que

crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, que actúan en la degradación de fuentes más complejas de carbono como la celulosa y la lignina (Román *et al.*, 2013). Estos microorganismos actúan en la degradación de aminos procedentes de proteínas y bases nitrogenadas causando la liberación de amoníaco y el aumento del pH (Álvarez de la Puente, 2008).

Esta etapa también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye semillas de malezas, esporas de hongos fitopatógenos, bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* y huevos de parásitos como *Ascaris lumbicoides* que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses según el material de partida y las condiciones climáticas entre otros factores (Román *et al.*, 2013). Cabe aclarar que en el Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost del SENASA (2019a) se detalla la duración y temperatura que debe alcanzar esta etapa para no sobrepasar los valores máximos admisibles de cada uno de los patógenos antes mencionados.

- **Fase de Enfriamiento o Mesófila II:** Agotadas las fuentes de carbono y, en especial, el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C (Román *et al.*, 2013). Al situarse la temperatura alrededor de los 40 °C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación como son la celulosa y lignina restante en las pilas. En esta fase el pH del medio desciende ligeramente (Carrasco Luna, 2009).

- **Fase de Maduración:** Es un período durante el cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de las sustancias húmicas (Tortarolo *et al.*, 2008). El nivel de oxígeno consumido declina al punto en que el compost puede almacenarse sin volteos (Foley y Cooperband, 2002).

Es necesario mencionar la diferencia entre los términos estabilidad y madurez de un compost los cuales hacen referencia a distintos conceptos. La estabilidad está relacionada con la disminución del carbono degradable y la actividad microbiana (a mayor estabilidad, menor degradabilidad y actividad microbiana), mientras que la madurez se refiere a la finalización efectiva del proceso de compostaje en un producto sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal (Torti *et al.*, 2019)

Los indicadores de estabilidad incluyen: disminución de la temperatura del centro de la pila a temperatura ambiente (Cooperband, 2002), olor a tierra mojada y color oscuro. Además de estos, existen indicadores más precisos como la producción de CO₂, test Solvita, carbono soluble en agua, entre otros. Los indicadores de madurez se basan en estudios de fitotoxicidad directos como el Índice de germinación e indirectos como la medición de amonio u otros productos potencialmente fitotóxicos (Mazzarino y Satti, 2012; SENASA, 2019a).

5.3.3. SISTEMAS DE ELABORACIÓN DE COMPOST

Las técnicas de elaboración de compost se dividen generalmente en sistemas abiertos y cerrados. Los sistemas abiertos o pilas de compostaje son aquellos que se hacen al aire libre y los cerrados son los que se hacen bajo techo o en recipientes.

Sistemas abiertos o Pilas de compostaje

El sistema de compostaje en pilas con volteo a campo ha sido adoptado ampliamente en Argentina y se utiliza con éxito en todo el mundo para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del sistema agroalimentario y agroindustrial (Orden y Rodríguez, 2018).

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos se puede llevar a cabo este tipo de compostaje, ya que el volumen mínimo que debe tener una pila para conservar el calor generado por los microorganismos es de 1m³ (Román *et al.*, 2013).

La eficiencia del proceso depende de la combinación de varios factores, como la forma y tamaño de las pilas, la cantidad de oxígeno, la temperatura, la humedad de los residuos utilizados, el tamaño de partículas, la actividad microbiana y el tipo de microorganismos involucrados. Sin embargo, se tiende a utilizar parámetros de seguimiento del proceso que sean sencillos y económicos, por lo que los indicadores más adecuados para monitorear el proceso de compostaje son la humedad y la temperatura (Mazzarino *et al.*, 2012).

Dentro de las tareas a realizar en la formación y manejo de la pila se encuentran:

- Elección del lugar de compostaje: Es preferible un área protegida de vientos fuertes, de poca pendiente (< 4 %) para evitar problemas de lixiviados y erosión. De ser posible debe ser cercana al área de producción de residuos y al lugar donde se aplicará el compost final.
- Dimensión de la pila de compostaje: La determinación de la dimensión puede hacerse en base a la cantidad de material a compostar, la necesidad de compost

final o el área disponible para realizar el compostaje. Normalmente se hacen pilas de 1,5 a 2 m y de 1,5 a 3 m de alto y ancho respectivamente para facilitar las tareas de volteo (Román *et al.*, 2013). Al igual que se describe en el apartado 5.2.4 para bocashi, las pilas de compostaje de baja altura y de base ancha no conservan el calor generado por los microorganismos. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo. También hay que tener en cuenta, al momento de estimar las dimensiones de la pila, que durante la descomposición biológica se logra una disminución del 50 al 65 % del volumen inicial debido a la compactación y pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂) (Ozores Hampton *et al.*, 1998).

- Picado del material y amontonamiento: El material a compostar se debe picar en fragmentos de 10 a 15 cm. Se debe amontonar en una misma pila antes de que empiece la fase termófila o de higienización y así evitar la contaminación con material fresco. Las pilas deben ser cubiertas con plástico de doble membrana para su protección frente a posibles lluvias y para mantener la temperatura y humedad (Iliquín Fernández, 2014).
- Volteo: Los volteos de las pilas resultan imprescindibles para permitir el control de distintas variables físico-químicas. Este proceso facilita la difusión del oxígeno, acelera la degradación física de las materias primas y proporciona una oportunidad para ajustar al nivel óptimo del contenido de humedad (Díaz *et al.*, 2005). Normalmente se hace un volteo semanal durante las 3 o 4 primeras semanas, para luego ser quincenal (Román *et al.*, 2013). Es conveniente llevar al día un registro de las temperaturas; de esta forma se pueden observar las subidas y bajadas de la misma e incorporar los volteos en los momentos

precisos. Estos se realizan al inicio de la bajada de la temperatura, tras haberse logrado los máximos valores en la fase termófila (Álvarez de la Puente, 2008).

- Controles de temperatura, humedad, pH y oxígeno: La medición de la temperatura se puede llevar a cabo con un termómetro digital situado en el extremo de una lanza de 1 a 1,5 m de longitud, que permita obtener sus valores en diferentes lugares y profundidades (Álvarez de la Puente, 2008). Si no se dispone de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal o de madera e introducirla en distintos puntos de la pila durante 5 minutos y manualmente comprobar de forma aproximada, de acuerdo al calor que se siente al tocar la barra, la temperatura según la fase de compostaje. El contenido de humedad puede determinarse por gravimetría o bien realizar la prueba del puño, explicada en el apartado 5.2.2. En caso de existir un exceso de humedad se debe voltear la pila. En cambio, si la pila está muy seca se debe añadir agua. Los valores de humedad de la masa de residuos durante todo el proceso deben mantenerse alrededor del 50-60 % (Leconte *et al.*, 2009). La medición del pH se puede determinar con un papel indicador de pH, tipo “serpentina”. Basta cortar una porción de esta cinta, humedecerlo en el sustrato y observar el cambio de coloración para luego compararlo con la escala de color impresa en la caja, que indica la presencia de una determinada acidez o alcalinidad en el medio (Capistran *et al.*, 2001). Por último, cabe mencionar que concentraciones superiores al 10 % de oxígeno en la pila se considera ideal para el proceso de compostaje (Chen *et al.*, 2011). En el mercado existen equipos que miden la concentración de oxígeno, pero al presentar un precio elevado su uso puede

reemplazarse al monitorear la temperatura, la humedad y evitando el olor a amoníaco (NH_3), indicador de exceso de humedad (Cooperband, 2002).

- Comprobación de finalización del compostaje: En fase de maduración, el compost adquiere olor a mantillo de bosque, su humedad será mucho menor y ya no se reconocerán los materiales iniciales; en cambio, un compost inmaduro es aquel que permanece caliente, tiene un olor similar al del amoníaco y se pueden observar los componentes orgánicos de los cuales se partió en un principio (Álvarez de la Puente, 2008). Para comprobar que el compost ha entrado en esta fase, el material no debe aumentar de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo. Otra opción es tomar 3 muestras de 100 g de material compostado, introducirlas en bolsas plásticas y dejarlas por 2 días en un lugar fresco y seco. Si al cabo de este tiempo la bolsa aparece hinchada (llena de aire) y con condensación de humedad puede ser indicativo de que el proceso aún no ha finalizado y el compost está inmaduro (Román *et al.*, 2013). Si bien estas técnicas son prácticas, la madurez puede ser determinada con alguno de los indicadores mencionados en el apartado 5.3.2.
- Tamizado: Una vez comprobado que el compost está maduro se realiza un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros contaminantes (metales, vidrios, cerámicas, piedras). El material grueso que no pasa a través de la malla del tamiz, en su mayoría, es material lignocelulósico (maderas) y volverá a una nueva pila de compostaje para cumplir una doble función; seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras (Román *et al.*, 2013).

Sistemas cerrados o en recipiente

Este método es frecuentemente utilizado a nivel familiar donde es común el uso de bidones plásticos de 220 l como recipientes. Éstos pueden reutilizarse como contenedor de compostaje con algunas pequeñas modificaciones, como ser múltiples orificios que permitan la oxigenación del proceso.

Hay 2 modalidades básicas de disposición del recipiente: vertical o continuo y horizontal o discontinuo. La disposición vertical es aquella donde el recipiente descansa sobre su base. Se le llama continuo porque el material fresco entra de forma continua y el producto compostado sale también consecutivamente por la parte inferior. En la disposición horizontal el recipiente descansa sobre su eje longitudinal. Se le llama discontinuo porque es un proceso “por cargas”; una vez que se llena la compostera se debe dejar que el proceso de compostaje finalice para extraer el material antes de introducir una nueva carga.

Dentro de las tareas a realizar en el compostaje en recipiente se encuentran:

- Elección del lugar y tipo de compostera: Se debe tener en cuenta el espacio disponible, que sea de fácil acceso y preferiblemente cubierto y ventilado. De acuerdo a la cantidad de material a añadir se elige una compostera vertical u horizontal.
- Picado del material y llenado del recipiente: Es importante que el material tenga un tamaño entre 5 y 20 cm para un proceso de descomposición óptimo.
- Control de la humedad y aireación, volteo, extracción del material y tamizado. Se aplican las mismas técnicas y conceptos que en el sistema de compostaje en pilas. En el sistema vertical, se puede mezclar el material dentro del recipiente

usando una barra; mientras que el sistema horizontal presenta una mayor facilidad para el volteo al contar con una manivela que gira el recipiente (Román *et al.*, 2013).

Independientemente del sistema de compostaje, el compost requiere de mucha mano de obra para su elaboración, sobre todo porque hay que voltear múltiples veces durante todo el proceso que dura aproximadamente 3 meses. De ahí la necesidad de valorar con cuánta mano de obra se cuenta en la familia o en la finca para poder realizar este tipo de abono (Montoya Gurumendi, 2018).

5.3.4. MATERIALES

Una de las primeras tareas para desarrollar con éxito una actividad de compostaje es lograr la correcta combinación de los materiales iniciales. Dos parámetros son particularmente importantes en este aspecto: el contenido de humedad y la relación C:N (Álvarez de la Puente, 2008).

Tabla IX Composición Carbono:Nitrógeno de los materiales compostables. Adaptado de Román *et al.*, 2013.

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

La mezcla de materiales a compostar debe tener una relación C:N de 25:1 a 35:1, tanto para el sistema en pilas como en recipientes (Román *et al.*, 2013). Con relaciones por debajo de 25:1 se emite amoníaco y también se impide la actividad biológica. Con valores de relación más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante (Castillo Pastor y Quispe Benites, 2019).

La Tabla IX brinda información sobre la relación C:N de diferentes materiales disponibles para compostar que pueden ir en una mezcla. A partir de ella se puede

determinar las proporciones necesarias de cada componente para obtener una mezcla con relación C:N dentro del rango 25:1 a 35:1.

La materia prima a utilizar debería ser una mezcla de diferentes tipos de residuos orgánicos, ya que ésta es responsable de la riqueza en nutrientes del compost y del correcto desarrollo de la descomposición (Brechelt, 2004).

Como se puede observar en la tabla IX para la elaboración del compost se puede emplear una gran diversidad de materiales orgánicos con la condición de que no se encuentren contaminados. Generalmente, estas materias primas proceden de:

- Restos de poda de árboles frutales: Es preciso triturarlos antes de su incorporación al compost ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- Restos de cosechas: Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos y tubérculos son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos y ramas tienen un menor contenido de nitrógeno.
- Complementos minerales: Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- Estiércol de animal: Se destaca el estiércol vacuno, aunque otros de gran interés son la gallinaza, el estiércol equino y de ovino.
- Hojas secas: Pueden tardar de 6 meses a 2 años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.
- Restos urbanos: Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de la cocina como pueden ser restos de frutas y hortalizas (Cajahuanca, 2017; Reynoso Domínguez, 2018), alimentos estropeados o caducados, cáscaras de

huevo (preferiblemente trituradas) y de frutos secos, restos de café, de té e infusiones, cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas) y papas estropeadas o brotadas.

- Virutas de aserrín en capas finas.
- Papel y cartón, no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico (Román *et al.*, 2013).

Las cáscaras de cítricos deben utilizarse de manera cuidadosa y sin exagerar en la preparación del compost ya que las mismas suelen aportar valores bajos de pH pues son ricos en ácidos orgánicos. De manera que es importante controlar la cantidad de estos restos que se incorporan para no excederse y volver así más lento el proceso de compostaje. Se recomienda dejar secar las cáscaras y cortarlas en trozos pequeños que favorecen la aireación antes de agregar al compost (De La Cruz, 2017).

Los materiales que no debemos incluir en el compost son los restos de pescado, carne y huesos, estiércol de animales domésticos, revistas ilustradas, aserrín de madera tratada y otros materiales no orgánicos (Castillo Pastor y Quispe Benites, 2019).

5.3.5. OTROS MÉTODOS DE COMPOSTAJE

Los métodos Takakura y Em-compost permiten obtener con mayor rapidez - aproximadamente 2 meses - un compost maduro y de calidad (Iliquín Fernández, 2014).

El **método Takakura** requiere de 2 soluciones:

- Solución salada: incluye sal, agua, residuos de hortalizas y cáscaras de frutas. El objetivo de esta solución es capturar los microorganismos que viven en las superficies de las verduras, hortalizas y frutas en las que existe ácido láctico y levaduras. Estas bacterias eficaces tienen resistencia contra la sal, en cambio los microorganismos patógenos no resisten la alta concentración de sal debido a que altera su actividad fisiológica, capacidad metabólica y reproducción. La aplicación de esta solución permite cultivar solo los microorganismos eficaces.
- Solución dulce: incluye levadura, yogurt, melaza y agua. Su uso tiene como objetivo capturar los microorganismos eficaces que viven en los alimentos fermentados como el yogurt y la levadura, ya que el azúcar genera un ambiente apto para su cultivo.

Ambas soluciones, una vez preparadas, deben reposar durante 8 días (Hernández Ocampo *et al.*, 2015). Luego del tiempo correspondiente se procede a mezclarlas armando una pila con cascarilla de arroz, afrecho, harina de trigo, aserrín, hojarasca, entre otras; para crear el germen de compostaje (Rodríguez Núñez, 2017; Rivera Monzón, 2018; Rivadeneira Suárez, 2018). Esta mezcla se deja actuar durante 7 días propiciando la destrucción de microorganismos patógenos y la multiplicación de microorganismos benéficos encargados de la descomposición de los residuos. Durante este período, en forma diaria, se realiza la mezcla de los materiales; y de encontrarla seca, se agrega agua (Hernández Ocampo *et al.*, 2015). El resultado de este proceso es el núcleo de compostaje que, posteriormente, se mezcla con los materiales orgánicos en una relación 1:1 (Iliquín Fernández, 2014).

La producción de compost a partir del **método Em-compost** se basa en la utilización de microorganismos eficientes (ME) como inoculante del material en la

fase inicial y durante el proceso. La solución a utilizar contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos; bacterias fotosintéticas, levaduras, bacterias de ácidos lácticos y hongos, los cuales tienen diferentes funciones (Huayllani Hilario, 2017).

Los microorganismos eficientes pueden adquirirse del mercado o prepararse a partir de microorganismos de montaña (Gómez y Vásquez, 2011). Este producto formado por microorganismos concentrados en un medio de cultivo necesita ser activado para su uso, para lo cual se debe agregar 1 l de melaza (miel de caña) y 18 l de agua por cada litro de ME. Luego se deja reposar herméticamente por un período de 7 días al término del cual adquiere una coloración café-naranja y un olor agridulce, lo que indica que está listo para aplicarse a los materiales orgánicos (Iliquín Fernández, 2014).

Algunos beneficios de usar microorganismos eficientes incluyen: Las bacterias del ácido láctico suprimen los microorganismos nocivos y mejoran la descomposición de la materia orgánica; El género *Lactobacillus* promueve la fermentación y la rotura de la lignina y la celulosa, lo que permite una descomposición más rápida de los materiales vegetales, además de prevenir enfermedades (Gómez y Vásquez, 2011).

5.3.6. USO DEL COMPOST

Es fundamental que antes de la aplicación del compost, el mismo haya completado la fase de maduración. Según Román *et al.* (2013), la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como:

- **Fitotoxicidad:** un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables, como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas. Además, el nitrógeno se encuentra en la forma amonio en lugar de nitrato. El amonio puede resultar tóxico para las plantas (Dejoux *et al.*, 2000; Miller y Cramer, 2004), más aún cuando se encuentra en altas concentraciones ya que su absorción causa una disminución del pH de la rizósfera y afecta el balance anión/catión dentro del vegetal (Britto y Kronzucker, 2002), causa clorosis en las hojas, disminución del crecimiento y del rendimiento y en casos extremos, la muerte de la planta (Rivera Espejel *et al.*, 2014).
En condiciones de calor y humedad, el amonio se transforma en amoníaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores.
- **Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como “hambre de nitrógeno”:** Cuando se aplica al suelo un material con alta relación C:N los microorganismos consumen el carbono presente en este y rápidamente incrementan el consumo de nitrógeno, agotando las reservas del mismo en el suelo. Esto se debe a que el contenido de nitrógeno en el material aplicado es insuficiente para realizar la degradación. Por lo tanto, este proceso implica que se produzca una disminución temporal del nitrógeno disponible en el suelo que, en caso de coincidir con el cultivo siguiente, origina el fenómeno llamado “hambre de nitrógeno”.
- **Reducción de oxígeno radicular:** Cuando se adiciona al suelo un material que aún está en fase de descomposición, los microorganismos utilizarán el oxígeno

presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.

- **Exceso de amonio en el suelo y nitratos en las plantas, y contaminación de fuentes de agua:** Un material con exceso de nitrógeno tiende a perderlo por infiltración o volatilización y contribuye a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Igualmente, puede ser extraído por las plantas del cultivo, generando una acumulación excesiva de nitratos con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (ablandamiento, corta vida poscosecha) y la salud humana (sobre todo en el consumo de las hortalizas de hoja).

Para evitar estos inconvenientes se usa tradicionalmente la relación C:N del compost como índice para determinar la madurez de la materia orgánica (Masaguer Rodríguez y Benito Capa, 2008). Una relación C:N menor a 20 es un valor propuesto para considerar el final del proceso de compostaje (Orden y Rodríguez, 2018).

En el ámbito de la Horticultura doméstica y profesional, el compost puede usarse en diversas aplicaciones (Ansorena *et al.*, 2015):

- **Sustratos o soportes de cultivo:** Materiales distintos al suelo que permiten el crecimiento del sistema radicular de las plantas. El suelo natural es sustituido por sustratos obtenidos a partir de mezclas de diversos materiales; arena, turba, compost, entre otros.
- **Enmiendas orgánicas:** utilizadas fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las enmiendas añadidas al suelo suelen resultar beneficiosas en todo tipo de texturas; en suelos arenosos permite incrementar la

retención de agua y nutrientes y en los arcillosos aumentar la porosidad, la aireación y la permeabilidad.

- Abonos orgánicos: productos cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, lo que permite sustituir total o parcialmente a los fertilizantes minerales. Al mismo tiempo aportan al suelo materia orgánica humificada que, como las enmiendas orgánicas, mejora sus propiedades físicas y biológicas (efecto supresor de enfermedades).

La mayoría de los autores coinciden en que el compost de biorresiduos de alimentos debe aplicarse al suelo como enmienda o abono orgánico para mejorar sus propiedades físicas y/o aportar nutrientes minerales. En caso de emplear compost como componente de sustratos solo debe hacerse dentro de ciertos límites -máximo 30 %- por su elevado contenido en nutrientes y porque no posee la estructura adecuada para el cultivo en contenedor (Ansorena *et al.*, 2015). Para elaborar el sustrato se suele mezclar el compost con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz (Román *et al.*, 2013). Puede además ser utilizado como acolchado ayudando así al control de la erosión (Ozores Hampton *et al.*, 2003).

El contenido de agua del compost al momento de la aplicación es un aspecto a considerar ya que por debajo de 35 % de humedad se considera demasiado seco, el cual puede ser polvoriento e irritante en su manipulación; mientras que el compost muy húmedo, con más de 60% de humedad, puede ser pesado, con tendencia al apelmazamiento y de difícil aplicación (Miyashiro Noborikawa, 2014).

La aplicación del compost, generalmente, se realiza en otoño o primavera. Su dosificación dependerá en cada caso concreto del tipo de cultivo, de la naturaleza

del suelo receptor y de las características específicas del producto a utilizar. Para ello se debe tener en cuenta:

- Los requerimientos de nutrientes del cultivo.
- La distribución en el tiempo de las necesidades.
- El estado físico-químico del suelo.

Por ello, antes de proceder a su cálculo, será preciso disponer de datos analíticos de suelo y compost (Álvarez de la Puente, 2008), ya que el contenido de nutrientes del producto a aplicar es variable por depender de los contenidos iniciales en los materiales de partida y de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del proceso (Zaccheo *et al.*, 2002). Ante la imposibilidad de realizar los análisis, la cantidad media recomendada es de 4 a 5 kg de compost por cada m² de huerto (Román *et al.*, 2013).

Por otro lado, una de las formas de utilizar el compost durante el ciclo del cultivo es a partir de los extractos acuosos o del Té de compost. Se trata de formas líquidas que permiten suministrar los nutrientes al cultivo ya sea por aspersión o riego por goteo. En particular, el uso del Té de compost está ganando popularidad en la agricultura orgánica para mejorar la fertilidad biológica del suelo (Diver, 2002; Hargreaves *et al.*, 2009).

Se conoce como Té de compost al producto obtenido luego de poner en remojo el compost en agua por un periodo de 1 a 2 días, en condiciones estrictamente aeróbicas, con la finalidad de transferir la materia orgánica soluble, microorganismos benéficos y macro y micronutrientes a la solución (NOSB, 2004; Choque Cuno, 2013). Además, para estimular y favorecer el crecimiento de los microorganismos en

el té, se agregan fuentes de nutrientes, como melaza, harina de pescado, extractos de algas marinas, polvo de roca, ácidos húmicos, entre otros (Riegel, 2008).

Los efectos de la aplicación del Té de compost en el crecimiento vegetal y en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo han sido poco estudiadas en Argentina (Rodríguez *et al.*, 2012).

5.3.7. EFECTOS DE SU APLICACIÓN EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

5.3.7.1. PAPA

La utilización de compost, fuente rica en nutrientes y materia orgánica que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, aumenta el rendimiento de los cultivos (Sarwar *et al.*, 2007). Kimpinski *et al.* (2003), estudiaron el efecto de la aplicación de compost sobre la productividad de papa cv. Kennebec a campo, en la Isla del Príncipe Eduardo (Canadá) en un suelo franco arenoso (pH de 5,2-6,2 y 2,8% de MO). El compost consistió principalmente en papas desechadas, aserrín y estiércol vacuno en una proporción 3:3:1 respectivamente. El rendimiento total promedio de tubérculos durante 7 años de estudio fue aproximadamente un 27% más alto (44,4 tn.ha⁻¹) en las parcelas tratadas con compost en comparación con las parcelas sin tratar (35 tn.ha⁻¹). Además, los rendimientos en tubérculos de calidad n° 1 de Canadá (57 a 89 mm de diámetro) fueron aproximadamente un 10% más altos (25 tn.ha⁻¹) en las parcelas tratadas con compost en relación con las no tratadas (22,3 tn.ha⁻¹). Los autores concluyen que las enmiendas orgánicas además de mejorar la salud del suelo y aumentar la biodiversidad de su flora y fauna, también incrementan los rendimientos de los cultivos.

Mkhabela y Warman (2005) en Nueva Escocia (Canadá) compararon la fertilización química y orgánica en el cultivo de papa cv Superior (Elite IV) bajo condiciones de campo en un suelo Podsol órtico (franco arenoso y pH 5,8). Mediante la fertilización química el rendimiento obtenido fue de 35,3 tn.ha⁻¹ siendo similar estadísticamente a los rendimientos registrados de 28,6; 29,2 y 31,3 tn.ha⁻¹ aplicando diferentes dosis de compost proveniente de residuos sólidos urbanos ($p < 0,05$). Además, el suelo luego de la aplicación del abono orgánico tuvo un incremento significativo del pH siendo el promedio de 6,2 mientras que el valor de pH luego de la fertilización química fue de 5,86 ($p < 0,05$). Estos resultados demuestran la capacidad de los abonos orgánicos para corregir el pH del suelo, en este caso la acidez, siendo una de muchas ventajas que tienen sobre los fertilizantes inorgánicos ya que es bien sabido que la mayoría de los nutrientes en el suelo están disponibles más fácilmente a un pH de alrededor de 6,5, especialmente el fósforo (Osorio, 2012).

Incrementos del orden de 9 a 15% en el rendimiento también son mencionados por Bernard *et al.* (2014), quienes utilizaron compost sobre el cultivo de papa a campo en 2 sitios de Maine, Estados Unidos. El compost empleado se elaboró a partir de estiércol vacuno, residuos de arándanos, corteza de árboles, turba de *Sphagnum* y cal agrícola. Cabe destacar que el efecto positivo del abono orgánico sobre el rendimiento del cultivo se halló en ambos sitios, Bridgewater con un suelo Eutrudepts distrital (franco) y Presque Isle con un suelo Haplorthods típico (franco), a pesar de su historial productivo, ya que el primero de ellos contaba con 35 años de prácticas orgánicas mientras que el segundo tenía décadas bajo producción convencional. Si bien la textura del suelo que presentaban ambos sitios eran similares, las características químicas fueron notablemente diferentes, con un

contenido total de carbono, nitrógeno y calcio mucho más alto en Bringewater debido a su largo historial de enmiendas orgánicas y prácticas de manejo sostenible.

En relación a la eficacia fungicida y antimicrobiana del compost, Arslan *et al.* (2008), postulan que contiene una gran variedad de microorganismos aerobios como los actinomicetos. Estos microorganismos son útiles en el biocontrol de fitopatógenos debido a su capacidad de producir compuestos antimicrobianos (Whipps, 2001; Ezziyyani *et al.*, 2004). Pérez Rojas *et al.* (2015), trabajaron con muestras de compost a partir de las cuales aislaron y evaluaron mediante cultivos *in vitro* la capacidad antagonista de 85 actinomicetos frente a fitopatógenos que afectan al cultivo de papa. De la totalidad de actinomicetos aislados, 65 cepas mostraron tener actividad antagonista al menos frente a un fitopatógeno, de las cuales 20 cepas resultaron efectivas contra *Ralstonia solanacearum* (Marchitez bacteriana), 14 frente a *Pectobacterium carotovorum* (Pudrición blanda y Pie negro), 22 contra *Fusarium sp.* (Marchitez y punta seca), 52 contra *Rhizoctonia solani* (Sarna negra) y 36 contra *Phytophthora infestans* (Tizón tardío). Además, de los actinomicetos evaluados, 4 cepas mostraron amplio espectro de actividad antagonista a los 5 fitopatógenos; 10 a los 3 patógenos fúngicos y 12 a las 2 bacterias patógenas. Este estudio demuestra la riqueza de actinomicetos presentes en el compost que poseen un relevante antagonismo contra importantes fitopatógenos fúngicos y bacterianos de la papa, contribuyendo de esta forma al control biológico y la sanidad del cultivo.

5.3.7.2. TOMATE

Rodríguez Dimas *et al.* (2009), al comparar el efecto de utilizar té de compost y fertilizantes inorgánicos en la producción de tomate cultivares Granitio y Romina, en

macetas con arena bajo invernadero, no hallaron diferencias en el rendimiento, peso individual del fruto y su diámetro ecuatorial para ambos tratamientos ($p > 0,05$). Los rendimientos alcanzados con té de compost fueron 219,5 y 179,8 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ y los obtenidos con fertilizantes inorgánicos 248,9 y 206,9 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los cultivares Granitio y Romina respectivamente. Sin embargo, al utilizar té de compost el jugo del tomate registró 4.7° Brix promedio de ambas variedades, valor significativamente superior al tratamiento con fertilizantes inorgánicos con 3.7° Brix ($p < 0,01$). Cabe destacar que el compost utilizado se obtuvo a partir de estiércol vacuno. En un ensayo previo y similar realizado en invernadero por Figueroa Viramontes *et al.*, (2007) se trabajó con los cultivares Bosky, PX 01636262 y Romina, los cuales al crecer en macetas con arena + solución nutritiva presentaron un rendimiento significativamente superior (218 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) en relación a los tratamientos en los cuales las plantas recibieron nutrientes a partir de Té de compost (182 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) siendo estos valores promedios de las 3 variedades ($p \leq 0,05$). En este ensayo, los frutos alcanzaron para el primer tratamiento mencionado un promedio entre las 3 variedades de 3,71°Brix, valor por debajo de los 4°Brix que propone Hernández Simón (2003) como necesario para que el tomate pueda ser procesado y consumido en fresco. En cambio, los tratamientos con arena + té de compost fueron significativamente superiores (4,41°Brix) ($p \leq 0,05$). En este trabajo el compost provino de estiércol vacuno y paja de cereales. Los autores concluyen que los abonos orgánicos representan una opción para producir tomate en invernadero y que los rendimientos pueden ser similares a los obtenidos con el manejo convencional, sin afectar la calidad del fruto y con una reducción significativa en el costo de producción por el ahorro de fertilizantes químicos.

Por su parte, Vázquez *et al.* (2015), compararon el efecto de emplear compost y té de compost en la producción de tomate perita var. Hermosa bajo invernadero. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas para las variables número de frutos por planta, diámetro ecuatorial y polar del fruto y Grados Brix al aplicar 4 dosis diferentes de compost previo al trasplante versus aplicaciones semanales de 5 diluciones de té de compost ($p>0,05$). De esta forma el té de compost puede ser considerado como un fertilizante alternativo para la producción orgánica de tomate bajo invernadero generando frutos de igual calidad que los obtenidos con la utilización de compost.

Leitón Ibijés (2020) comparó la utilización de compost comercial INSPA CIA. LTDA® (Eco-Abonaza) y la fertilización química en tomate redondo var. Pietro en un suelo franco (pH 6,58 y 7,1% de MO) bajo invernadero. El ingrediente principal del abono Eco-Abonaza es la cama de pollo. Los rendimientos obtenidos fueron de 80,64 y 72,51 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la fertilización química y orgánica respectivamente, valores que no presentan diferencias significativas. Además, tampoco halló diferencias para las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de frutos por planta entre ambos tipos de fertilización ($p<0,05$). Guamán Moposa (2019) en un ensayo previo y similar realizado en un suelo Molisol (franco, pH 7,62 y 1,3% de MO) bajo invernadero, no encontró diferencias significativas en el diámetro ecuatorial del fruto entre la fertilización orgánica y química trabajando con la misma variedad de tomate y dosis del mismo compost comercial como fertilización orgánica y una dosis más elevada de fertilización química ($p>0,05$).

Por otra parte, Abbasi *et al.* (2002), en Ohio (Estados Unidos) mencionan que la incidencia de Antracnosis en tomate, causada por *Colletotrichum coccodes*, cultivado

a campo se vio significativamente reducida a un 9% en las parcelas enmendadas con compost en comparación con una incidencia de 15,5% alcanzada en el control no enmendado ($p < 0,05$). A su vez, encontraron que el rendimiento comercial -frutos totalmente libres de enfermedades- al utilizar compost fue de $51 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$, un 33% superior al control sin aplicación de abono, mientras que el rendimiento total fue de un 16% superior al control ($70,8 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$), cabe aclarar que dichos tratamientos fueron diferentes estadísticamente ($p < 0,05$). La formulación utilizada en la fabricación del compost fue: 40% de subproductos del procesamiento de tomate, 20% de estiércol de pato, 20% de desechos de jardín municipal y 20% de paja de alpiste.

5.3.7.3. LECHUGA

Okur *et al.* (2008) en la Facultad de Agricultura, Universidad del Egeo (Turquía) utilizaron residuos de tabaco, obtenidos de una fábrica de producción de cigarrillos, para elaborar compost y estudiaron el efecto del mismo sobre la actividad microbiana del suelo y el rendimiento a campo de lechuga mantecosa. El suelo bajo estudio era franco, con un pH de 7,5 y 1,16% de MO. La aplicación de compost resultó en un incremento significativo del rendimiento ($60 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) comparado con el control ($50 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) el cual no recibió ninguna fertilización ($p < 0,05$). Por otro lado, la incorporación del abono incrementó los valores de carbono orgánico, nitrógeno total y respiración del suelo (CO_2 producido por el suelo) como así también la actividad de las enzimas deshidrogenasa, ureasa y fosfatasa alcalina ($p < 0,05$). Estos resultados sugieren que el compost como enmienda orgánica es una alternativa para mejorar los parámetros químicos y biológicos del suelo, así como el rendimiento de los cultivos.

Resultados similares fueron obtenidos por Ramírez *et al.* (2016) en Santa María de Guácimo (Costa Rica) al evaluar el uso de distintos tipos de compost elaborados con diferentes técnicas (Takakura, Microorganismos de Montaña y marca comercial Juan Viñas) en el cultivo de lechuga cv Verónica versus un testigo sin ningún tipo de abonado, bajo condiciones de campo en un suelo franco arcilloso. En este estudio se halló que, con el compost de residuos sólidos urbanos, obtenido a partir del método Takakura, se obtuvieron los valores más altos en peso y diámetro de planta ($p < 0,05$) además de lograr un color de planta verde oscuro, tonalidad más adecuada para la variedad Verónica. Estos resultados superaron significativamente a los obtenidos en el resto de los tratamientos.

En relación al potencial antagonista frente a patógenos que presenta el compost, Gilardi *et al.* (2016) llevaron a cabo una serie de ensayos con el fin de evaluar el efecto de diferentes enmiendas orgánicas (abonos verdes y pellets de Brasicáceas, compost y estiércol) sobre el marchitamiento causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* en Lechuga cv. Crispilla, bajo invernadero. Las plantas crecieron en macetas con una mezcla de turba de musgo *Sphagnum* rubia (pH 6,1 y 32,4% de MO) y suelo franco arenoso (pH 7,1 y 2,4% de MO) en una relación 30:70 (v/v). Al utilizar compost de residuos sólidos urbanos la severidad de la enfermedad se vio significativamente reducida entre un 49 a 67% en comparación con un testigo que no recibió enmienda orgánica pero que fue inoculado con el patógeno al igual que los tratamientos con compost ($p < 0,05$).

5.3.8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, P. A., Al-Dahmani, J., Sahin, F., Hoitink, H. A. J. & Miller, S. A. (2002). Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in organic and conventional production systems. *Plant disease*, 86(2), 156-161.
- Álvarez de la Puente, J. M. (2008). *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica*. España: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- Arslan, E., Öbek, E., Kirbag, S., Ipek, U., Topal, M. (2008). Determination of the effect of compost on soil microorganisms. *International Journal of Science and Technology* 3(2), 151-159.
- Britto, D. T., Kronzucker, H. J. (2002). NH₄⁺ toxicity in higher plants a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6): 567-584.
- Cajahuanca Figueroa, S. A. (2017). Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp., *Lactobacillus* sp.) en el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla. Tesina de grado. Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Carrasco Luna, N. (2009). Evaluación de tres diferentes tipos de sustratos (bagacillo, aserrín e ichu picado) en la producción de EM-Compost. Tesina de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. Perú.
- Castillo Pastor, W.A., Quispe Benites, E. D. (2019). Efecto de dos tipos de compost en el rendimiento de lechuga arropollada (*Lactuca sativa* L.) en el distrito de

- Marcabalito, provincia de Sánchez Carrión. Tesina de grado. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química. Perú.
- Cegarra Rosique, J., Paredes Gil, C. (2008). *Residuos agroindustriales*. En J. Moreno Casco y R. Moral Herrero (Eds.), *Compostaje* (pp. 520-551). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A., & Falen, C. (2011). The composting process. *Dairy Manure Compost Production and Use in Idaho*, 2, 513-532.
- Choque Cuno, D. J. (2013). Efecto de bioinsumos “Zeolita natural” y “Té de compost” en la producción de perejil crespo (*Petroselinum crispum* Mill) con manejo orgánico. Tesina de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Perú.
- Cooperband, L. (2002). The art and science of composting. Universidad de Wisconsin-Madison. *Center for Integrated agricultural systems*.
- De La Cruz, A. (2017). Efecto del uso de cascarras de cítricos sobre el aislamiento y cuantificación de *Pseudomonas* spp. en suelo bajo ensayo experimental. *Centros: Revista Científica Universitaria*, 6(2), 31-42.
- Dejoux, J. F., Recous, S., Meynard, J. M., Trinsoutrot, I., Leterme, P. (2000). The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. *Plant and Soil*, 218(1-2), 257-272.
- Díaz, L., Savage, G., & Goldstein, N. (2005). Windrow turner equipment review. *Biocycle*, 46(3), 36-40.

- Diver, S. (2002). Notes on compost teas: a supplement to the ATTRA publication: compost teas for plant disease control. *Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA), National Sustainable Agriculture Information Service, AR. (National Center for Appropriate Technology, Montana).*
- Ezziyyani, M., Sánchez, C. P., Requena, M. E., Rubio, L., & Castillo, M. E. C. (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* – *ziyani*, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología*, 26, 69-78.
- Foley, B. J., & Cooperband, L. R. (2002). Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 2086-2095.
- Guamán Moposa, A. R. (2019). Evaluación bajo invernadero de fuentes de fertilización química y orgánica en tomate riñón (*Solanum lycopersicum* Mill.), en Salcedo. Tesina de grado. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Ecuador.
- Hargreaves, J. C., Adl, M. S., & Warman, P. R. (2009). Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 390-397.
- Hernández Ocampo, R. V., Torres Gutiérrez, R., Bolívar Ramírez Armijos, Y. (2015). Implementación del método de compostaje Takakura para el reciclaje de desechos en la ciudad de Loja, Ecuador. *Centro de Biotecnología*, 4(1),36-41.
- Huayllani Hilario, K. O. (2017). Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de

- aguas residuales, Concepción, 2016. Tesina de grado. Universidad Continental, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Iliquín Fernández, R. E. (2014). Elaboración de compost utilizando residuos orgánicos aplicando los métodos takakura y em-compost. *Agroindustrial Science*, 4(2), 109-118.
- Kimpinski, J., Gallant, C. E., Henry, R., Macleod, J. A., Sanderson, J. B., & Sturz, A. V. (2003). Effect of Compost and Manure Soil Amendments on Nematodes and on Yields of Potato and Barley: A 7-Year Study. *Journal of Nematology* 35(3), 289-293.
- Leconte, M. C., Mazzarino, M. J., Satti, P., Iglesias, M. C., & Laos, F. (2009). Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. *Waste Management*, 29(9), 2446-2453.
- Leitón Ibujés, Y. M. (2020). Evaluación bajo invernadero de fuentes de fertilización orgánica y química en tomate riñón (*Solanum lycopersicum* Mill.), en Pichincha. Tesina de grado. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Ecuador.
- Martínez Véliz, E. J., Rodríguez Reyes, J. C., Marín Real, Y. C., López, P. (2019). Efecto de la temperatura y el pH sobre bacterias indicadoras de contaminación fecal y actinomicetes durante el compostaje de arribazones de macroalgas marinas. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 36(3), 188-208.

- Masaguer Rodríguez, A., & Benito Capa, M. (2008). *Evaluación de la calidad del compost*. En J., Moreno Casco, & R., Moral Herrero (Eds.), *Compostaje* (pp. 285-304). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Mazzarino, M. J & Satti, P. (2012). *Compostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso*. Universidad Nacional de Río Negro. Orientación Gráfica Editora.
- Mazzarino, M. J., Satti, P., Laos, F., Roselli, L., Crego, M. P., Kowaljow, E., Fernández, H., & Poulsen, L. (2012). *Compostaje de biosólidos: 12 años de la Planta de Bariloche*. En: M. J. Mazzarino, & P. Satti, P. (Eds.), *Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso* (pp. 99-106). Buenos Aires, Argentina: Orientación Gráfica Editora.
- Miller, A. J., Cramer, M. D. (2004). Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil*, 274: 1-36.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). (2008). *Manual de Compostaje*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Miyashiro Noborikawa, I. (2014). *Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas*. Tesina de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. Perú.
- Mkhabela, M. S., & Warman, P. R. (2005). The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 106(1), 57-67.

- Montoya Gurumendi, N. A. (2018). Comportamiento agronómico del fréjol *Vigna unguiculata* bajo aplicaciones de bioestimulantes ecológicos, en la zona de Babahoyo. Tesina de grado. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
- NOSB (National Organic Standards Board). (2004). *Compost tea task force Report*. The Agricultural Marketing Service - USDA <http://www.ams.usda.gov/nosb/meetings/CompostTeaTaskForceFinalReport.pdf>.
- Okur, N., Kayikçioğlu, H. H., Okur, B., & Delibacak, S. (2008). Organic Amendment Based on Tobacco Waste Compost and Farmyard Manure: Influence on Soil Biological Properties and Butter-Head Lettuce Yield. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2), 91-99.
- Orden, L., Rodríguez, R. A. (2018). *Herramientas tecnológicas en la transformación de residuos para la fertilización orgánica*. En J., Ullé, & B., Díaz (Eds.), *El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas* (pp. 195-211). Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4.
- Ozores Hampton, M. P., Obreza, T. A., & Hochmuth, G. (1998). Composted municipal solid waste use on Florida vegetable crops. *HortTechnology*, 8, 10-17.

- Ozores Hampton, M., Riffo, M. O., Ryan, J. O. (2003). Curso internacional de compostaje: Producción, control de calidad y usos de compost. *Pharos*, 10(2), 129-133.
- Pérez Rojas, F., León Quispe, J., & Galindo Cabello, N. (2015). Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. *andigena* Hawkes). *Revista mexicana de fitopatología*, 33(2), 116-139.
- Ramírez Ramírez, F., Campos Rodríguez, R., Jiménez Morales, M.F, & Brenes Peralta, L. (2016). Evaluación técnica, ambiental y económica de tres tipos de tratamiento para el cultivo de lechuga en huertas caseras de Guácimo, Limón, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(Suppl. 5), 14-24.
- Reynoso Domínguez, M. F. (2018). Análisis comparativo del tratamiento de compost añadiendo estiércol de animales (gallina, oveja y cuy) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), localidad de Acomayo, febrero–mayo 2018. Tesina de grado. Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Riegel, P. (2008). Té de compost, una nueva herramienta para revitalizar el potencial biológico del suelo. Valencia, España. *DOCPLAYER*.
<https://docplayer.es/22060653-Te-de-compost-un-nueva-herramienta-para-revitalizar-el-potencial-biologico-del-suelo.html>
- Rivadeneira Suárez, J. M. (2018). Compostaje de residuos sólidos orgánicos provenientes de los mercados municipales de la ciudad de Macas, mediante la técnica de Takakura. Tesina de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Ecuador.

- Rivera Espejel, E. A., Sandoval Villa, M., Rodríguez Mendoza, M., Trejo López, C., & Gasga Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 57-70.
- Rivera Monzón, S. A. (2018). Evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Chiquimula, Guatemala 2018. Tesina de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala.
- Rodríguez Dimas, N., Cano Ríos, P., Figueroa Viramontes, U., Favela Chávez, E., Moreno Reséndez, A., Márquez Hernández, C., Ochoa Martínez, E y Preciado Rangel, P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 319-327.
- Rodríguez Núñez, I. Y. (2017). Influencia del uso de residuos orgánicos de domicilios, mercados y jardinería, en la calidad y eficiencia del compost Takakura, Laredo - Tesina de grado. Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería. Perú.
- Rodríguez, R. A., Miglierina, A. M., Ayastuy, M. E., Lobartini, J. C., Dagna, N., Greco, N., Van Konijnenburg, A., Egea, C., Fernández, J. A. (2012). The effect of different organic fertilization on garlic (*Allium sativum* L.) in Bahía Blanca region. *Acta Hortic.*, 933,187-194.
- Rodríguez Silva, L. A., & Llenque Díaz. L. (2016). Aislamiento y selección de bacterias celulolíticas a partir de compost de residuos orgánicos. *Rebiol*, 36(1), 19-28.

- Sarwar, G., Hussain, N., Schmeisky, H., Muhammad, S., Ibrahim, M., & Safdar, E. (2007). Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice-wheat production in Pakistan. *Pak. J. Bot*, 39(5), 1553-1558.
- SENASA. (2019a). Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Buenos Aires, Argentina. http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/resolucion_conjunta_scyma_y_senasa_1-2019_anexo_i.pdf
- Tortarolo, M. F., Pereda, M., Palma, M., Arrigo, N. M. (2008). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del suelo* (Argentina), 26(1), 41-50.
- Vázquez Vázquez, P., García López, M. Z., Navarro Cortés, M. C., García Hernández, D. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1351-1356.
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interaction and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52(1), 487-511.
- Zaccheo, P., Ricca, G., & Crippa, L. (2002). Organic matter characterization of composts from different feedstock's. *Compost science & utilization*, 10(1), 29-38.

5.4. LOMBRICOMPUESTO

5.4.1. CONCEPTO

Usualmente a las lombrices se les ha reconocido como mejoradoras de la estructura del suelo. Aristóteles las llamó “el intestino del mundo” y Charles Darwin permaneció varios años observando la influencia que éstas tenían en la formación de humus y en el transporte de suelo (Ríos, 2003).

El humus de lombriz es uno de los mejores abonos orgánicos. Posee un alto contenido de elementos esenciales para el desarrollo de las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Además, contiene valiosas poblaciones de microorganismos benéficos que previenen el desarrollo de microorganismos causantes de enfermedades, y posee un elevado nivel de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas (Brechelt, 2004).

El vermicompostaje es un bioproceso que se considera como una alternativa viable para el compostaje de residuos orgánicos (Hait y Tare, 2011; Vig *et al.*, 2011). Se trata de un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado (Vargas Machuca, 2010; Vargas *et al.*, 2014).

En el vermicompostaje, los microorganismos son responsables de la degradación y estabilización bioquímica de la materia orgánica; mientras que, las lombrices actúan como conductoras del proceso mediante la fragmentación, aireación, mezcla y

acondicionamiento del sustrato para la actividad microbiológica (Domínguez, 2004; Aira *et al.*, 2008).

El lombricompuesto como materia prima proporciona una serie de beneficios, entre los que destacan: poseer un tamaño fino de partículas, una elevada porosidad y por ende una adecuada aireación y drenaje, alta capacidad de retención de agua, elevados niveles de actividad microbiana y un alto contenido de ácidos húmicos totales (Babaj *et al.*, 2009). Gracias a estas características, el lombricompuesto tiene un gran potencial comercial en la industria hortícola donde es utilizado como fertilizante orgánico, enmienda de suelos y como componente de sustratos para la producción de almácigos (Bachman y Metzger, 2007).

5.4.2. LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida* Savigny)

El número de especies de lombrices de tierra descritas hasta el momento es muy elevado. En la actualidad existen aproximadamente 8302 especies conocidas; y cada año se describen una media de 68 especies nuevas (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

Los 3 principales grupos, de acuerdo a las estrategias de vida son: epigeas, anécicas y endógenas (Ríos, 2003). Las especies epigeas viven en el horizonte orgánico, cerca de la superficie del suelo, alimentándose de materia orgánica en descomposición. Presentan altas tasas reproductivas y metabólicas que les permiten adaptarse a las condiciones ambientales tan variables de la superficie del suelo. Presentan una tasa alta de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

Las especies endógenas pasan toda su vida en el interior del suelo. Se alimentan de productos que eliminan las raíces y materia orgánica arrastrada hacia la profundidad por las lluvias o por otros insectos. Al evolucionar en un medio más estable, su tasa de reproducción es baja (García Pérez, 2006).

Por último, las especies anécicas construyen sus galerías en forma vertical y tienen la característica de solo emerger del suelo en climas húmedos o en la noche para obtener pequeñas partes de hojarasca que arrastran hacia las madrigueras para luego cubrir la entrada a sus guaridas con una ligera porción de hojas (Díaz Zúñiga, 2011). Dentro de este grupo se encuentra la lombriz común (*Lumbricus terrestris*) (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

Tradicionalmente las especies epigeas han sido las más utilizadas en vermicompostaje debido a su capacidad de colonizar residuos orgánicos de forma natural, su alta tasa de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica, su capacidad para tolerar un amplio rango de condiciones ambientales y su alta tasa reproductiva. En este grupo se incluyen especies como *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei* (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

La lombriz roja californiana (*E. foetida* Savigny) no se aleja de sus alojamientos, salvo en el caso de que surjan condiciones muy desfavorables. En cambio, la lombriz común (*L. terrestris*) no es apta para explotarla en cautividad ya que requiere instalaciones muy costosas, pues tiene una tendencia natural de abandonar el lugar donde inicialmente ha sido instalada. Además, su rendimiento en humus es muy escaso, debido a su poca prolificidad (Fuentes Yagüe, 2010).

La lombriz *E. foetida* Savigny presenta las siguientes características (Brechelt, 2004):

- Puede vivir hasta 16 años.
- Pesa 1 g y puede alcanzar un tamaño de 6 a 10 cm.
- Tiene 5 corazones, 6 pares de riñones y 182 conductos excretores.
- Respira por la piel.
- Se alimenta de todo tipo de desechos orgánicos.
- El aparato digestivo de la lombriz humifica en pocas horas lo que se tarda años en la naturaleza.
- Expulsa el 60% de la materia orgánica después de su digestión.
- Es hermafrodita insuficiente.
- Madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida.
- Se aparea y deposita cada 7 a 14 días una cápsula conteniendo de 2 a 20 huevos que eclosionan pasados los 21 días. Una lombriz adulta es capaz de tener 1500 crías en un año.

5.4.3. ETAPAS PARA LA OBTENCIÓN DE LOMBRICOMPUESTO

Crianza: Las lombrices se crían en camas de 1 m de ancho, 40 cm de alto y longitudes variables que se adapten a su distribución en el terreno. Se debe dejar un espacio mínimo de 1 m de ancho entre las camas para el uso y circulación de carretillas (Capistran *et al.*, 2001). Pueden colocarse al aire libre, sin necesidad de estar protegidos por ningún tipo de cubierta. Las camas consisten simplemente en un cúmulo de sustancias orgánicas colocadas directamente sobre el terreno, procurando que estén alineadas. No es necesario colocarlas sobre cajas de madera

o depósitos de hormigón, hecho que encarece notablemente los gastos de instalación (Fuentes Yagüe, 2010). Las camas deben ser colocadas en sentido de la dirección de los vientos dominantes, con una pendiente del 2 % para drenar los excedentes de agua de lluvia y de riego (González Rosales *et al.*, 2012).

Una alternativa a la fabricación de camas para la elaboración de lombricompost a pequeña escala es la utilización de contenedores plásticos de 200 l. Estos deben ser cortados verticalmente, de tal manera que se obtengan 2 mitades de 1 m de largo, 0,6 m de ancho y 0,3 m de profundidad. Posteriormente ambas mitades deben unirse formando un tanque horizontal y sostenerse mediante bases de madera u otro material disponible. Este sistema debe tener una pendiente del 2 % para drenar los lixiviados y estos poder ser utilizados cuando se requieran (González Rosales *et al.*, 2012).

Alimentación: Para alimentar a las lombrices se puede utilizar un sustrato a base de residuos orgánicos vegetales (desechos de cosechas, residuos sólidos urbanos o de la agroindustria), o su combinación con residuos animales (estiércol) en una relación 1:3 (Brechelt, 2004).

Los tipos de residuos utilizados y las proporciones de cada uno en la formación del sustrato influyen sobre las características químicas y la calidad del lombricompost obtenido. Es aconsejable el empleo de una mezcla diversa de residuos orgánicos, responsable de la riqueza en nutrientes del lombricompost (Brechelt, 2004; Hernández *et al.*, 2010; Rivas Pérez, 2018).

La lombriz se alimenta básicamente de compuestos orgánicos; si el sistema de explotación es de pequeña escala en una zona urbana o rural, se las puede

alimentar con los residuos orgánicos domésticos que se muestran en la tabla X (González Rosales *et al.*, 2012).

Tabla X Listado de materiales orgánicos domésticos que se pueden emplear como alimento para la lombriz. Adaptado de González Rosales *et al.*, 2012.

Restos de frutas	Restos de hortalizas	Otros
Plátano, manzana, pera, melón, sandía, mango, durazno, uvas, granadas, ciruela, cereza, etc.	Repollo, brócoli, lechuga, berenjena, coliflor, calabaza, tomate, pimiento (en todas sus variedades), zanahoria, espárrago, apio, cáscara de papa, perejil, etc.	Césped, hierbas cortadas (malezas), residuos de café, cáscara de huevo triturada etc.

Aunque algunos productores de lombricompostado recomiendan alimentar a las lombrices con materiales parcialmente descompuestos (precompostaje) para evitar la producción excesiva de calor al descomponerse la materia orgánica, la práctica ha demostrado que las lombrices pueden ser alimentadas con materia fresca si se procura una relación C:N entre 25:1 y 40:1 y se evitan los residuos de origen animal (Acosta Durán *et al.*, 2013; Prado García, 2013).

Si el sistema de explotación es de mayor tamaño se requerirá de otras fuentes de alimentos como es el caso de estiércol de aves, caprino, bovino, ovino, equino, porcino y conejo. Sin embargo, estos materiales tienen que ser previamente compostados para poder ser suministrados como alimentos a las lombrices (González Rosales *et al.*, 2012) pues cuando el estiércol está en fase de fermentación, su temperatura puede alcanzar los 70 u 80°C, o incluso más. Estas temperaturas tan elevadas, así como el grado de acidez y los gases que se desprenden durante la fermentación, provocan la muerte de las lombrices (Fuentes Yagüe, 2010).

Debido a lo anterior, previo a colocar el sustrato en las camas se debe realizar la Prueba de acidez o de supervivencia de la lombriz recomendada por Ferruzzi (2001), que consiste en colocar 20 lombrices adultas en 1 kg de sustrato y luego evaluar su supervivencia a las 24, 48 y 72 horas. Esta prueba se lleva a cabo para saber con exactitud si el sustrato es óptimo para el consumo de las lombrices, observando que las mismas se adapten fácilmente al alimento suministrado (Sánchez Mendoza, 2018). Si alguna lombriz se escapa del sustrato o muere, es señal de que el sustrato no reúne las condiciones adecuadas, por lo que habrá que esperar más tiempo para la correcta fermentación o maduración del mismo (Fuentes Yagüe, 2010).

Además de la Prueba de supervivencia, la acidez o alcalinidad del medio se puede determinar con un papel indicador de pH (Capistran *et al.*, 2001) como se indica en el apartado 5.3.3.

Una vez preparadas las camas y realizada la Prueba de supervivencia, la incorporación de las lombrices debe efectuarse a primeras horas de la mañana con la finalidad de que la incidencia de los rayos solares obligue a las lombrices a introducirse rápidamente en el sustrato (Ferruzzi, 2001).

Manejo: hay que observar permanentemente la humedad, el pH y la temperatura de la cama para controlar la fuga de las lombrices (Brechelt, 2004).

El alimento deberá tener un pH comprendido entre 6 y 8, considerando ideal el neutro o cercano a 7, siendo la humedad óptima de 75-80 % (Martínez Cerdas y Ramírez Farías, 2000). La temperatura más propicia para el desarrollo óptimo de las lombrices se encuentra alrededor de los 20°C (Capistran *et al.*, 2001). Cuando la temperatura desciende por debajo de 14°C se debe aumentar la capa de alimento

aportado en la superficie de las camas con el fin de aislarlas de la temperatura del exterior. El calor excesivo también perjudica a la lombriz. El riego y la utilización de una malla extendida sobre las camas genera sombra y baja la temperatura del medio durante los días calurosos (Fuentes Yagüe, 2010).

Cosecha: Lo primero que se debe hacer es dejar unos días sin proporcionar alimentos a las lombrices, con una semana es suficiente e incluso hasta dos; posteriormente se coloca una malla de plástico con orificios del diámetro de la lombriz y sobre esta malla se coloca una capa de 10 a 15 cm de alimentos (González Rosales *et al.*, 2012). También es recomendable dejar de regar las camas 10 días previos a la cosecha para facilitar el posterior tamizado (Mendoza, 2018).

Las lombrices, ante la falta de comida, subirán a la superficie donde permanecerán durante una semana para que consuman una parte de este alimento. Al cabo de este tiempo se retira la capa superficial que estará llena de lombrices. Esta operación se repite 1 o 2 veces más, con lo cual se consigue retirar la mayor parte de las lombrices (Fuentes Yagüe, 2010).

Al momento de retirar el humus formado, este cuenta con alrededor de un 80 % de humedad. Para cribarlo y seleccionarlo, la humedad debe ser cercana al 50 % siendo necesaria una etapa previa de secado (Fuentes Yagüe, 2010). Esta puede llevarse a cabo en un piso recubierto con plástico sobre el cual se deposita el humus obtenido de las camas de producción en capas de 10 cm de altura. Posteriormente se realizan volteos diarios utilizando un rastrillo con el fin de obtener un secado homogéneo (Prado García, 2013).

Al ser un producto estable puede permanecer almacenado mucho tiempo sin sufrir alteraciones (Fuentes Yagüe, 2010).

5.4.4. APLICACIÓN

En los últimos años, y debido a la creciente demanda de productos de agricultura ecológica en el mercado, se ha producido un incremento considerable en la producción y aplicación de este tipo de abonos orgánicos (Domínguez *et al.*, 2010).

El humus de lombriz se puede utilizar prácticamente en todos los cultivos. La cantidad que se recomienda aplicar es aproximadamente 1 kg.m⁻² (Brechelt, 2004). La cantidad a incorporar dependerá, en todo caso, de los análisis químicos del suelo y del humus (Fuentes Yagüe, 2010). Es importante mencionar que el material se puede utilizar directamente sin el cernido (González Rosales *et al.*, 2012).

Los lixiviados del lombricompost son abonos líquidos que contienen nutrientes, microorganismos y ácidos húmicos por lo que se han usado principalmente como fertilizantes orgánicos en diferentes cultivos. Los lixiviados se deben diluir al menos al 50 % antes de aplicarlos ya que pueden causar problemas de toxicidad por el alto contenido de sales (Ferruzi 2001; García Gómez *et al.*, 2008; Gutiérrez Miceli *et al.*, 2008; Fortis Hernández *et al.*, 2009; Garg y Gupta, 2009, Nath *et al.*, 2009; Arauz, 2011; Preciado Rangel *et al.*, 2011).

Según Litterick *et al.* (2004), los lixiviados se pueden utilizar para el combate de plagas y enfermedades puesto que tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos. Asimismo, contienen sustancias antimicrobianas que inhiben el crecimiento de hongos patógenos (Gutiérrez Miceli *et al.* 2008).

5.4.5. EFECTOS DE SU APLICACIÓN EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

5.4.5.1. PAPA

Ramírez Guerrero y Meza Figueroa (2014) en el estado de Lara (Venezuela) al evaluar el efecto de 3 fertilizantes orgánicos comerciales sobre el desarrollo del cultivo de papa var. Atlantic a campo, encontraron mayor biomasa seca de flores y estolones al utilizar lombricompuesto de estiércol vacuno que el testigo sin fertilización ($p \leq 0,05$). Los autores atribuyen la mayor biomasa seca de estolones al alto contenido de hormonas promotoras del crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas que son secretadas por los microorganismos presentes en el lombricompuesto. Estos resultados pueden explicar los aumentos en rendimiento que ocurren al utilizar lombricompuesto debido a que cada uno de los estolones se transformará posteriormente en un tubérculo, principal componente del rendimiento en el cultivo de papa. Además, la concentración foliar de fósforo y calcio de plantas abonadas con lombricompuesto de estiércol vacuno fueron de 0,47% y 2,64% respectivamente, dichos valores representan un estado nutricional superior al testigo con 0,35% y 1,82% para las variables mencionadas ($p \leq 0,05$).

Respuestas agronómicas similares a la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes químicos fueron halladas por Murillo *et al.* (2016), en la provincia de Cotopaxi (Ecuador) quienes evaluaron el efecto de ambos tipos de fertilización sobre el cultivo de papa variedades Libertad y Rosita bajo condiciones de campo. Sus resultados no mostraron diferencias significativas para la altura de planta a los 60, 90 y 120 días luego de la siembra, diámetro de tubérculos, cantidad de tubérculos por planta y peso total de planta al utilizar lombricompuesto y 2 tipos diferentes de fertilización

química ($p > 0,05$). De esta forma, los autores concluyen que la papa es un cultivo que responde favorablemente a la aplicación de abonos orgánicos y que su utilización constituye una buena opción para reducir el uso de fertilizantes químicos y una alternativa transformadora de los sistemas agrícolas en modos de producción más sostenible desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social.

Ansari, A. (2008) en Lucknow (India) estudió el proceso de estabilización de un suelo sódico (pH 9, CE de 0,82 dS/m y 57% de PSI) mediante la aplicación de lombricompuesto y su lixiviado e investigó el efecto de diferentes dosis en hortalizas cultivadas a campo. El lombricompuesto fue elaborado a partir de paja de arroz y estiércol vacuno. Al utilizar una dosis de 6 tn.ha⁻¹ de lombricompuesto en el cultivo de papa obtuvo rendimientos de 12,98 tn.ha⁻¹ y un peso promedio de los tubérculos de 84,43 g siendo superior significativamente al testigo el cual presentó un rendimiento de 4,02 tn.ha⁻¹ y un peso promedio de tubérculos de 52,51 g ($p < 0,05$). El autor atribuye estos resultados a una mayor biodisponibilidad de fósforo en el suelo debido a la aplicación del abono orgánico. Además, la aplicación de 6 tn.ha⁻¹ de lombricompuesto de forma solitaria o conjunta con 1000 l.ha⁻¹ de lixiviado mejoraron todas las variables de suelo estudiadas, ya que disminuyeron el pH ($p < 0,01$), la conductividad eléctrica y la sodicidad, además de incrementar el porcentaje de carbono orgánico y el nitrógeno disponible ($p < 0,05$).

Kmeťová *et al.* (2013), en Velký Krtíš (Eslovaquia) al evaluar el efecto de la utilización de lombricompuesto, obtenido de estiércol ovino y hojarasca, en papa var. Sorento, cultivada a campo en un suelo Fluvisol (franco y pH de 7,05) demostraron que dosis crecientes del abono orgánico aumentaron significativamente el rendimiento de tubérculos, de tal forma que con una dosis de 19,8 tn.ha⁻¹ de

lombricompuesto obtuvieron un rendimiento de 25,57 tn.ha⁻¹ y peso fresco promedio de tubérculos de 101,95 g, valor significativamente superior al control (sin lombricompuesto) el cual presentó 18,37 tn.ha⁻¹ y 76,33 g respectivamente (p=0,05).

5.4.5.2. TOMATE

Valenzuela y Gallardo (1997) compararon el crecimiento de plantines de tomate cv. Platense en sustratos con diferentes proporciones de lombricompuesto derivado de residuos de conejeras y suelo agrícola Argiudol ácuico. Los plantines provenientes del sustrato con 20% de lombricompuesto y 80% de suelo fueron los primeros en alcanzar el estado de trasplante con 4 hojas verdaderas y presentaron los valores más altos de altura de plantín (p<0,01), diámetro de tallo, longitud de la primer hoja desarrollada y peso fresco y seco de plantín, resultados significativamente superiores al resto incluyendo al testigo sin abono orgánico (p<0,001). Además, hallaron que al aumentar la proporción del lombricompuesto en el sustrato aumenta el tenor de materia orgánica, los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio y la conductividad eléctrica (CE), mientras que la densidad aparente disminuye. Por otro lado, estimaron el “nivel salino tóxico” que corresponde a un valor de CE= 2,07 dS/m por arriba del cual existe un efecto significativamente perjudicial para el desarrollo normal de plantines de tomate cv Platense. Los autores establecieron que el nivel salino tóxico se alcanza con la incorporación de 40% de lombricompuesto a la mezcla con suelo.

Quesada Roldán y Méndez Soto (2005) obtuvieron plantines de tomate variedad Hayslip bajo invernadero con valores estadísticamente superiores de altura, diámetro de tallo, área foliar, peso seco aéreo y radicular utilizando un sustrato a base de 40%

de lombricompuesto derivado de borra de café, 40% de compost obtenido a partir de bagazo de caña de azúcar, ceniza del mismo bagazo y borra de café y 20% de cascarilla de arroz, en relación al sustrato comercial comúnmente utilizado por los agricultores formado por 66,6 % de Turba y 33,3% de perlita ($p \leq 0,05$).

Resultados positivos también fueron obtenidos por Arouiee *et al.* (2009), quienes estudiaron la influencia de diferentes niveles de lombricompuesto y arena sobre la velocidad de germinación y el crecimiento de tomate var. Súper Strain en invernadero. Las plantas que crecieron en un sustrato con 25% de lombricompuesto proveniente de estiércol porcino + 75 % de arena (v/v) presentaron una germinación y emergencia significativamente más rápida que el resto de los tratamientos (sustratos con 0, 10, 50 y 100% de lombricompuesto y sus respectivos porcentajes complementarios de arena) ($p \leq 0,01$), además de presentar el mayor índice de área foliar ($p \leq 0,01$), el menor tiempo al trasplante y los mayores pesos secos de parte aérea ($p \leq 0,05$). El tratamiento con 100% de lombricompuesto tuvo un comportamiento totalmente opuesto ya que registró los valores más bajos en peso seco de parte aérea y raíz ($p \leq 0,05$), su germinación fue la más lenta ($p \leq 0,01$) y el tiempo al trasplante fue superior al resto de los tratamientos ($p \leq 0,05$).

Por su parte, Ullé, J. (2002) en Buenos Aires (Argentina) comparó la respuesta postrasplante en producción a campo ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), de 3 diferentes mezclas de sustratos utilizadas en la obtención de plantines de tomate variedad Platense INTA. Estos fueron lombricompuesto, turba y perlita, en el citado orden, en diferentes proporciones de volumen en las mezclas M1 (33%, 33%, 33%), M2 (50%, 25%, 25%), y M3 (75%, 12,5%, 12,5%). La mayor producción ($1,054 \text{ kg/m}^2$) ocurrió en

aquellas plantas que provenían de la M1, siendo significativamente superior a la M3 (0,676 kg/m²) ($p=0,05$).

Por otra parte, Figueroa Viramontes *et al.* (2007) realizaron un ensayo con el objetivo de desarrollar un paquete tecnológico que permitiera producir tomate cv. Andre de forma orgánica bajo invernadero. Al cultivar las plantas en macetas y utilizar como sustrato de crecimiento 12,5 % de lombricompuesto y 87,5% arena sin ninguna fuente adicional de nutrientes el rendimiento obtenido fue de 171 tn.ha⁻¹ siendo similar estadísticamente al testigo (solución nutritiva con N, P, K, Ca y Mg) con 151 tn.ha⁻¹. Los tratamientos antes mencionados tampoco presentaron diferencias en el peso promedio de fruto y Grados Brix ($p>0,05$).

Wang *et al.* (2017) estudiaron el impacto de reemplazar la utilización de fertilizantes minerales por lombricompuesto de estiércol vacuno sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de tomate var. Gold Crown N°9 bajo condiciones de invernadero, cultivados en maceta en un suelo con pH de 8,14 y una CE de 0,13 dS/m. Las macetas fueron llenadas con 15 kg de suelo y 196,5 g de lombricompuesto. Las plantas que crecieron bajo el efecto del abono orgánico presentaron mayor diámetro de tallo, mayor altura de planta y mayor contenido de clorofila en hojas (SPAD) que el tratamiento con fertilización mineral y el control (sin fertilizante) ($p<0,001$). Por otro lado, el empleo de lombricompuesto condujo al mayor rendimiento (1,64 kg.planta⁻¹), resultado significativamente superior al obtenido con fertilización mineral (1,27 kg.planta⁻¹) y sin fertilización (0,96 kg.planta⁻¹) ($p<0,05$). En cuanto a la calidad del fruto, el tratamiento con lombricompuesto tuvo mayor relación azúcar/ácido y menor concentración de nitratos comparado con la

fertilización mineral, mientras que el contenido de vitamina C fue similar en ambos tratamientos y superiores al control ($p < 0,05$).

5.4.5.3. LECHUGA

Ullé, J. (2000), en un ensayo previo y similar al detallado en el apartado 5.4.5.2 publicado en 2002, encontró que plantas de lechuga cv. Divina cultivadas a campo tuvieron mayor peso fresco medio a cosecha cuando sus plantines crecieron en la mezcla M2 y M3 con mayor proporción de lombricompuesto, 50% y 75% respectivamente, con relación a la M1 ($p = 0,05$). Debido a esto, el autor concluye que los resultados demuestran la importancia de no exceder en algunas hortalizas la cantidad de lombricompuesto en la mezcla de sustrato, indicando que cada hortaliza debe ser estudiada hasta encontrar la interacción más beneficiosa entre la mezcla de sustrato y la respuesta post trasplante.

Pérez Lathrop, H. (2011), estudió el efecto de diferentes fórmulas de sustratos a base de lombricompuesto en la calidad de plantines de lechuga cv. Winterhaven, bajo invernadero. Si bien los valores de área foliar, volumen radical y número de hojas por plantín al momento del trasplante fueron mayores con el sustrato elaborado con 70% de lombricompuesto y 30% de perlita no presentaron diferencias significativas en relación a los valores alcanzados con la fórmula basada en 56% de lombricompuesto, 14% de turba y 30% de perlita ($p \leq 0,05$). Sin embargo, con la primera fórmula mencionada los plantines no presentaron un cepellón bien formado provocando estrés radical y lento establecimiento a campo. En cambio, la fórmula basada en 56% de lombricompuesto, 14% de turba y 30% de perlita registró un excelente resultado como mezcla de sustratos debido a su alto contenido de

lombricompuesto y a la presencia de turba, la cual otorgó un efecto aglutinante que permitió la formación del cepellón, lo que evita el estrés radical y permite un crecimiento continuo de la planta. Además, cabe destacar que con esta fórmula los plantines presentaron valores significativamente mayores de número de hojas por plantín y peso aéreo post trasplante comparado con el testigo a base de 70% de turba y 30% de perlita ($p \leq 0,05$).

Tombion *et al.* (2016) analizaron las modificaciones producidas en el sustrato al adicionar distintas dosis de lombricompuesto (Lombriscomp, Bertinat®) y su efecto sobre la calidad del plantín de lechuga mantecosa cv. Tizona, bajo invernadero. Los plantines que crecieron en el sustrato con 20% de lombricompuesto y 80% de mezcla comercial Bertinat® (turba + perlita) presentaron valores de peso seco aéreo y de planta entera superiores estadísticamente con respecto al sustrato comercial ($p < 0,05$). Además, al utilizar una proporción de 20% de lombricompuesto, el número de hojas por plantín, el peso fresco y seco de la parte aérea, radicular y planta entera fueron significativamente superiores que al utilizar una proporción de 40% ($p < 0,05$). Por otra parte, su incorporación incrementó el contenido de todos los elementos nutritivos analizados de forma tal que superó a la mezcla comercial en cada uno de ellos y elevó el pH de 4,47 (mezcla comercial) a 5,98 ($p < 0,05$); estando este valor dentro del rango adecuado para sustratos indicado por Noguera *et al.* (2003), de 5,2 a 6,3. Por último, a pesar de que la incorporación de un 20% de lombricompuesto condujo a un incremento de la conductividad eléctrica (1,36 dS/m), este valor estuvo dentro del rango de tolerancia de 1,0 a 1,4 dS/m para lechuga indicado por Carranza *et al.* (2009).

Pagani, J. (2017) en un ensayo bajo invernadero similar al anterior menciona que al utilizar 20% de lombricompuesto junto con 80% de mezcla comercial (turba y perlita) los plantines de lechuga mantecosa cv. Lores al estado de 4 hojas presentaron valores significativamente superiores de peso seco aéreo, radicular y de planta entera y de longitud de raíz y parte aérea que la mezcla comercial sola ($p \leq 0,05$). El autor atribuye la mejor calidad de los plantines al aumento del contenido de nutrientes en el sustrato debido a la incorporación de lombricompuesto, dado que la disponibilidad de nutrientes es determinante para la acumulación de materia seca. Además, al igual que en el trabajo anterior, la incorporación de lombricompuesto mejoró las condiciones de pH, con un valor de 6 mientras que la mezcla de turba y perlita presentaron un pH de 3,9.

Papathanasiou *et al.* (2012) compararon el efecto de utilizar lombricompuesto producido con estiércol vacuno y fertilización inorgánica en el crecimiento y rendimiento de varios cultivares de lechuga bajo invernadero en macetas con suelo franco arcillo arenoso (pH de 6,2, CE de 1,31 dS/m y 1,52% de MO). Las plantas que crecieron bajo la aplicación de lombricompuesto en sustitución del suelo superficial de las macetas en una proporción de 20% (p/p) mostraron valores significativamente superiores para las variables peso fresco y seco de raíz ($p \leq 0,05$) y peso seco de hoja ($p < 0,01$) en relación a aquellas que recibieron aplicaciones semanales de un fertilizante soluble N-P-K (20-20-20) incluyendo también micronutrientes aplicados mediante fertirriego. Además, el rendimiento en peso fresco de hojas fue estadísticamente superior al utilizar lombricompuesto ($198,31 \text{ g.planta}^{-1}$) en relación a la fertilización inorgánica ($151,5 \text{ g.planta}^{-1}$) ($p < 0,001$). Demir, Z. (2019), obtuvo rendimientos similares ($178,7 \text{ g.planta}^{-1}$) en lechuga var. *crispa* producidas en

macetas bajo invernadero al aplicar al suelo franco arcillo arenoso (pH de 7,75, CE de 1,59 dS/m y 0,31% de MO) una dosis de 5% (p/p) de lombricompuesto, significativamente superior al control sin el abono orgánico (100 g.planta⁻¹) (p<0,001). Por su parte, Ullé, J (2004) bajo condiciones de campo en un suelo Argiudol (3,5% de MO) de Buenos Aires (Argentina) registró pesos medios de plantas de lechuga mantecosa cv Marianella de 283 g y 271 g al utilizar lombricompuesto elaborado a partir de estiércol de aves y equino respectivamente. Estos valores superan significativamente los 212 g del peso medio de plantas del testigo sin la aplicación del abono orgánico (p=0,05).

5.4.6 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Durán, C.M., Solís Pérez, O., Villegas Torres, O.G. & Cardoso Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127-139.
- Aira, M., Sampedro, L., Monroy, F., Domínguez, J. (2008). Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10), 2511-2516.
- Ansari, A. A. (2008). Effect of Vermicompost and Vermiwash on the Productivity of Spinach (*Spinacia oleracea*), Onion (*Allium cepa*) and Potato (*Solanum tuberosum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 554-557.
- Arauz, L. F. (2011). *Fitopatología un Enfoque Agroecológico*. (2^{da} ed.) San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

- Arouiee, H., Dehdashtizade, B., Azizi, M. y Davarinejad, G. H. (2009). Influence of Vermicompost on the Growth of Tomato Transplants. *Acta Horticulturae*, 809, 147-154.
- Babaj, I. S., Kaçiu, S. K, Sallaku, G. L. y Balliu, A. (2009). The influence of different substrate composition on growth parameters and dry mass partitioning of cucumber (*Cucumis sativum* L.) seedlings. *Acta Horticulturae* 830, 419-424.
- Bachman, G. R., & Metzger, J. D. (2007). Physical and Chemical Characteristics of a Commercial Potting Substrate Amended with Vermicompost Produced from Two Different Manure Sources. *HortTechnology hortte*, 17(3), 336-340.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(1), 41-48.
- Demir, Z. (2019). Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(17), 2151-2168.
- Díaz Zúñiga, M. P. (2011). Influencia de la lombriz de tierra *Pontoscolex corethrurus* en el establecimiento de plantones de *Eucalyptus globulus* L. bajo condiciones de vivero. Tesina de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Perú.
- Domínguez, J. (2004). *State of the art and new perspectives on vermicomposting research*. En C. A. Edwards (Ed.), *Earthworm ecology* (2^{da.} ed), (pp. 401-424). USA: CRC Press.

- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE2), 359-371.
- Ferruzzi, C. (2001). *Manual de Lombricultura*. 3^{ra} reimpresión. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Fortis Hernández, M., Leos Rodríguez, J. A., Preciado Rangel, P., Orona Castillo, I., García Salazar, J. A., García Hernández, J. L., & Orozco Vidal, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 329-336.
- Fuentes Yagüe, J. L. (2010). *La crianza de la lombriz roja*. Madrid, España: Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García Gómez, C. R., Dendooven, L., Gutiérrez Miceli, F. A. (2008). Vermicomposting leachate (Word Tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal for Plant Sciences*, 7(4), 360-367.
- García Pérez, R. E. (2006). *La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura*. México: Chapingo.
- Garg, V. K., & Gupta, R. (2009). *Vermicomposting of agro-industrial processing waste*. En P. S., Nigam & A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilization* (pp. 431-456). Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- González Rosales, G., Nieto Garibay, A., Murillo Amador, B., Ramírez Serrano, R., Villavicencio Floriani, E. A., Hernández Medina, J. D., Aguilar Murillo, X.,

- Guerrero Medrano, Z. E. (2012). *Guía técnica para la producción de lombricomposta*. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Gutiérrez Miceli, F. A., García Gómez, R. C., Rosales, R. R., Abud Archila, M., Angela, O. L. M., Cruz, M. J. G, Dendooven, L. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource technology*, 99(14), 6174-6180.
- Hait, S., & Tare, V. (2011). Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresource Technology*, 102(3), 2812-2820.
- Hernández, J., Mármol, L., Guerrero, F., Salas, E., Bárcenas, J., Polo, V., & Colmenares, C. (2010). Caracterización química, según granulometría, de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera *Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(4), 491-520.
- Kmeťová, M., Kováčik, P., & Renčo, M. (2013). The effect of different doses application of dry granulated vermicompost on yield parameters of maize and potatoes. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 16(1), 5-11.
- Litterick, A. M., Harrier, L., Wallace, P., Watson, C. A., & Wood, M. (2004). The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and Horticultural crop production—a review. *Critical reviews in plant sciences*, 23(6), 453-479.

- Martínez Cerdas, C., & Ramírez Farías, L. (2000). *Lombricultura y Agricultura Sustentable*. México: Claudia Martínez Cerdas y Leonel Ramírez Farías.
- Mendoza, E. L. (2018). Efecto de tres dosis de sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) con estiércol bovino y aserrín descompuesto en Sapecho, Alto Beni. *Apthapi*, 4(2), 1128-1138.
- Murillo, R. L., Cunuhay, K. E., Trávez, R. T., Méndez, C. U., Coronel, A. E., & Albornoz, A. B. (2016). Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(1), 11-16.
- Nath, G., Singh, K., & Singh, D. K. (2009). Chemical analysis of vermicomposts/vermiwash of different combinations of animal, agro and kitchen wastes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 3671-3676.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4), 593-605.
- Pagani, J. I. (2017). Influencia del uso de lombricompuesto en el sustrato de siembra y la forma de inoculación con *Azospirillum brasilense* sobre el crecimiento de plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesina de grado. Universidad Nacional de Luján. Argentina.
- Papathanasiou, F., Papadopoulos, I., Tsakiris, I., & Tamoutsidis, E. (2012). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of

lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2), 677-682.

Pérez Lathrop, A. H. (2011). Humus de lombriz como materia prima en la elaboración de sustratos para la producción de plantines de hortalizas. Tesina de grado. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Chile.

Prado García, J. (2013). *Manual de lombricompostaje de pulpa del café para los cafecultores de la región Otomí – Tepehua de Hidalgo*. Coyoacán, México: Innova y Renueva, Asociación para el desarrollo A. C.

Preciado Rangel, P., Fortis Hernández, M., García Hernández, J. L., Rueda Puente, E., Esparza Rivera, J. R., Lara Herrera, A., Segura Castruita, M. A., Orozco Vidal, J. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.

Quesada Roldán, G., Méndez Soto, C. (2005). Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 171-183.

Ramírez Guerrero, H., & Meza Figueroa, C. (2014). Fortalecimiento de la producción de papa y su transición ecológica con el uso de fertilización orgánica. *Rev. Fac. Agron*, (Supl 1), 1-11.

Ríos, Y. (2003). Importancia de las lombrices en la agricultura. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". *Sistemas integrados de producción con no rumiantes*, 47-52.

Rivas Pérez, A. (2018). Evaluación de compuestos de humus obtenidos a partir de diferentes sustratos usando lombriz *Eisenia fétida* (Edwards y Bholen 1995)

para producción de Nopal verdura. Tesina de grado. Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Agronomía. México.

Sánchez Mendoza, J. J. (2018). Evaluación del proceso de elaboración de vermicompost con dos especies de lombriz, *Eisenia foetida* y *Lumbricus sp.*, en la provincia de Arequipa. Tesina de grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía. Perú.

Tombion, L., Puerta, A. V., Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., Sangiacomo, M. A., Garbi, M. (2016). Características del sustrato y calidad de plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) según dosis de lombricompost. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 32(2), 110-116.

Ullé, J. A. (2000). *Comportamiento post-trasplante de hortalizas de hojas y brassicáceas, provenientes de diferente volumen de contenedor y mezclas de sustratos, a base de vermicompost, turba, perlita*. En J. A., Ullé, P., Davies, O., Bazzigalupi, H., Martí, E., Torr  (Eds.). *Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica. Informe Técnico 2009 del Centro Regional Buenos Aires Norte* (pp. 37-40). Buenos Aires, Argentina: INTA.

Ull , J. A. (2002). *Comportamiento post-trasplante de tomates y berenjenas, provenientes de diferentes volúmenes de contenedor y mezclas de sustratos, a base de vermicompost, turba, perlita*. En J. A., Ull , P., Davies, O., Bazzigalupi, H., Martí, E., Torr  (Eds.). *Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica. Informe Técnico 2009*

del Centro Regional Buenos Aires Norte (pp. 41-43). Buenos Aires, Argentina: INTA.

Ullé, J. A. (2004). Evaluación analítica de vermicompost de estiércoles y residuos de cereales y su efecto como fertilizante orgánico en el cultivo de lechuga mantecosa. En J. A., Ullé, P., Davies, O., Bazzigalupi, H., Martí, E., Torrá (Eds.). *Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica. Informe Técnico 2009 del Centro Regional Buenos Aires Norte* (pp. 73-76) Buenos Aires, Argentina: INTA.

Valenzuela, O. R., & Gallardo, C. S. (1997). Uso de lombricompost como medio de crecimiento para plantines de tomate (cv. Platense). *Revista Científica Agropecuaria*, 1, 15-21.

Vargas Machuca, R. N. (2010). Vermicompostaje en el reciclado de residuos agroindustriales. In *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo, Ecuador (pp. 17-19).

Vargas, R., Taboada, E., Gómez, M. (2014). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Vig, A. P., Singh, J., Wani, S. H., & Dhaliwal, S. S. (2011). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bioresource technology*, 102(17), 7941-7945.

Wang, X. X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y., & Yang, L. (2017). Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study. *Frontiers in plant science*, 8, 1-11.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La elaboración de bocashi, compost y lombricompost presentan 2 cualidades complementarias importantes. La primera de ellas es constituirse en alternativa para la gestión de residuos sólidos orgánicos al reducir la contaminación que éstos generan cuando no reciben tratamiento alguno y; la segunda es convertir dichos residuos en abonos orgánicos de alto valor agronómico sin requerir alta inversión para elaborarlos. Como se ha comprobado en la presente revisión los 3 tipos de enmiendas son capaces de cubrir las necesidades nutricionales de los cultivos y devolverle al suelo una cantidad de nutrientes considerable bajo un sistema de producción agroecológica.

Por otro lado, la incorporación al suelo de abonos verdes no solo consiste en una alternativa frente al uso de fertilizantes minerales sino que su utilización lleva, además, a una serie de beneficios tales como la protección del suelo frente a la erosión, el control de malezas, el reciclaje de nutrientes y un efecto antagonista sobre nemátodos y patógenos del suelo. Por lo tanto, el tiempo que los abonos verdes demoran en crecer no debe ser considerado improductivo ya que su inclusión en la rotación aportará más de un beneficio al cultivo siguiente.

En la presente monografía se han descrito varios estudios indicando que el uso de abonos orgánicos permite lograr incrementos en los rendimientos de papa, tomate y lechuga donde se pueden alcanzar valores similares y en algunos casos superiores con relación a la fertilización química. En muchos de los trabajos su uso se considera una alternativa de fertilización sustentable que no solo aumentaría la productividad sino que, además, mejoraría la calidad de los productos cosechados y

regeneraría las propiedades físico-químicas y enriquecería la condición biológica del suelo.

También han demostrado su potencialidad como componentes de sustratos en la elaboración de almácigos que evidencia una mejor aptitud respecto a sustratos comerciales convencionales a base de turba y perlita. No obstante, es necesario estudiar cada especie de hortaliza de forma individual para hallar la mejor interacción entre cantidad de abono orgánico utilizado en el sustrato y calidad del plantín obtenido.

Por otro lado, en el presente trabajo se ha señalado el efecto nematicida que presentan específicamente los abonos verdes debido a la liberación de isotiocianatos, cianuro de hidrógeno o amoníaco, compuestos nocivos para los nemátodos. Este efecto en algunos casos fue capaz de lograr controles similares a los tratamientos químicos. Del mismo modo, se ha descrito el aporte que hacen los abonos verdes y los microorganismos presentes en el compost sobre el control biológico de hongos y bacterias patógenas presentes en el suelo en beneficio de la sanidad de los cultivos de papa, tomate y lechuga.

Como corolario, luego de la búsqueda bibliográfica, que contó con un total de 290 artículos leídos de los cuales se seleccionaron 222 que están detallados en la bibliografía, la presente monografía permitió dar accesibilidad a información previamente acreditada con respecto a la gran diversidad de usos y cualidades de los abonos orgánicos en Horticultura por lo que se recomienda su utilización, a partir de la cual se pueden obtener óptimos resultados productivos, reducciones en los costos de producción del orden del 48% y, al mismo tiempo, cumplir con los

principios y fundamentos de la conservación de la calidad del suelo y de la sostenibilidad que definen y caracterizan a la Agricultura Orgánica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. A. (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, ecosystems & environment*, 93(1-3), 1-24.
- Ansorena, J., Batalla, E. y Merino, D. (2015). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. *Laboratorio Agroambiental Fraisoro*, 1, 1-67.
- Arévalo de Gauggel, G., Castellano, M. (2009). Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p.
- Armenta, V. R. (2006). Transformación de la materia orgánica por la lombriz (*Eisenia fetida*) en suelos enmendados con lodo residual. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Química. México.
- Beltrán Morales, F. A., García Hernández, J. L., Valdez Cepeda, R. D., Murillo Amador, B., Troyo Diéguez, E., Larrinaga Mayoral, J. Á., & Beltrán Morales, L. F. (2006). Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablab purpureus* L) sobre la respiración edáfica en un yermosol háplico. *Interciencia*, 31(3), 226-230.
- Beltrán Morales, F. A., Ruiz Espinoza, F. H., García Hernández, J. L., Fenech Larios, L., Troyo Dieguez, E., Amador, B. M, Salgado, S. Z. (2007). *Producción agroecológica de frijol y albahaca mediante sistemas de labranza y abonos verdes*. En E., Salazar Sosa *et al.*, (Eds.), *Uso y Aprovechamiento de Abonos*

Orgánicos e Inocuidad (pp. 342-385). Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED.

Bengtsson, J., Ahnström, J. y Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261-269.

Bernard, E., Larkin, R. P., Tavantzis, S., Erich, M. S., Alyokhin, A. y Gross, S. D. (2014). Rapeseed rotation, compost and biocontrol amendments reduce soilborne diseases and increase tuber yield in organic and conventional potato production systems. *Plant Soil*, 374, 611-627.

Bonillo, M., Filippini, M., Lipinski, V. (2015). Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompost y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Memorias del V congreso latinoamericano de Agroecología. La Plata, Argentina.

Brechelt, A. (2004). *Manejo Ecológico del Suelo*. República Dominicana: Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA).

Capistran, F., Aranda, E., Romero, J. C. (2001). *Manual de Reciclaje, Compostaje y Lombricompostaje*. Veracruz, México: Xalapa. Instituto de Ecología.

Claros Reynaga, J., Chungara Atalaya, A., Zeballos Flores, G. (2010). Manual de elaboración de productos naturales para la fertilidad de suelos y control de plagas y enfermedades. Experiencias en la zona biocultural subcentral Waca Playa, Tapacarí. Cochabamba, Bolivia: AGRUCO.

- De Luna, V. A., & Vázquez, A. E. (2009). Elaboración de abonos orgánicos. *Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara (México): Universidad de Guadalajara*, 4-12.
- Domínguez, J., & Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE2), 309-320.
- FAO. (2003). ¿Qué es la agricultura orgánica? <http://www.fao.org/3/ad818s/ad818s03.htm#TopOfPage>
- Figuroa Viramontes, U., Cano Ríos, P., Márquez Hernández, C., Ochoa Martínez, E., Rodríguez Dimas, N., Moreno Resendez, A. (2007). *Uso de compostas como sustrato orgánico en la producción de tomate en invernadero*. En: E., Salazar Sosa et al. (Eds.), *Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad* (pp. 274-291). México: Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED.
- Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M.L & Garibaldi, A. (2016). Effect of different organic amendments on lettuce fusarium wilt and on selected soilborne microorganisms. *Plant Pathology*, 65, 704-712.
- Gómez, D., & Vásquez, M. (2011). *Abonos orgánicos*. Tegucigalpa Honduras: PYMERURAL Y PRONAGRO.
- Hernández Rodríguez, O. A., Ojeda Barrios, D. L., López Díaz, J. C., & Arras Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 1-6.

- Hernández Simón, I. A. (2003). Evaluación de rendimiento y calidad de 18 genotipos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en la comarca lagunera. Tesina de grado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- IFOAM. (2008). Definition of organic agriculture. Alemania. *IFOAM Organics Internationals*. <https://www.ifoam.bio/why-organic/organic-landmarks/definition-organic>
- Medina, L. A., Monsalve, Ó. I., & Forero, A. F. (2010). Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 109-125.
- Moneva Roca, J. (2020). Análisis y evaluación actual del abono tipo bocashi como alternativa ecológica ante los agroquímicos. Trabajo Final de Máster. Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. España.
- Montesinos González, D. G. (2013). Uso de lixiviado procedente de material orgánico de residuos de mercado para la elaboración de biol y su evaluación como fertilizante para pasto. Trabajo final de Magister. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador.
- Muñoz Villalobos, J. A., Velásquez Valle, M. A., Osuna Ceja, E. S., Macías Rodríguez, H. (2014). El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(1):27-32.

- Patil, S., Reidsma, P., Shah, P., Purushothaman, S., & Wolf, J. (2012). Comparing conventional and organic agriculture in Karnataka, India: Where and when can organic farming be sustainable? *Land use policy*, 37, 40-51.
- Pretty, J. N. (1995). *Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-reliance*. Londres, Reino Unido: Earthscan Publications.
- Rasul, G., & Thapa, G. B. (2004). Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. *Agricultural systems*, 79(3), 327-351.
- Román, P., Martínez, M. M., Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile, Chile: FAO.
- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Sevilla, España: European Union.
- SENASA. (2019b). Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2018. Buenos Aires, Argentina.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/situacion_de_la_po_en_la_argentina_2018.pdf
- Singh, R. B. (2000). Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture, ecosystems & environment*, 82(1-3), 97-103.
- Soto, G. (2001). *Abonos orgánicos: Producción y uso de compost*. En: G., Meléndez & E., Molina (Eds.), *Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en*

Costa Rica (pp. 45-63). Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Torti, M. J., Butti, M., Fain Binda, V. (2019). Evolución de los indicadores de madurez y estabilidad biológica en compost de residuos de incubación. *Biotransformación Compost*, 10(39), 73-75.