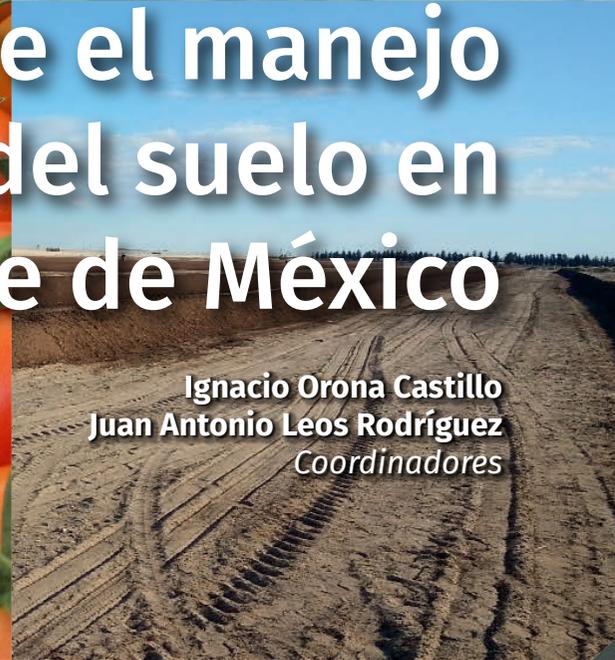




# Reporte de investigación

# 97

Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial  
diciembre 2020 / Núm. 97



## Estudios sobre el manejo orgánico del suelo en el norte de México

Ignacio Orona Castillo  
Juan Antonio Leos Rodríguez  
Coordinadores

Universidad Autónoma Chapingo

Reporte de Investigación

97

Estudios sobre el manejo  
orgánico del suelo  
en el norte de México

## Universidad Autónoma Chapingo

### Administración Central

Dr. José Solís Ramírez

RECTOR

Dr. Artemio Cruz León

DIRECTOR GENERAL ACADÉMICO

Dr. Arturo Hernández Montes

DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

M.C. Buenaventura Reyes Chacón

DIRECTOR GENERAL DE PATRONATO UNIVERSITARIO

QFB. Hilda Flores Brito

DIRECTORA GENERAL DE ADMINISTRACIÓN

M.C. Miguel Hernández Alva

DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES

Dr. Jorge Aguilar Ávila

DIRECTOR DEL CUESTAAM

ESTA INVESTIGACIÓN, ARBITRADA POR PARES ACADÉMICOS,  
SE PRIVILEGIA CON EL AVAL DE LA INSTITUCIÓN EDITORA.

### Comité Editorial

Dr. Jorge Aguilar Ávila

Dr. Vinicio Horacio Santoyo Cortés

Dr. Manrubio Muñoz Rodríguez

Dra. María Isabel Palacios Rangel

Dr. Jorge Gustavo Ocampo Ledesma

Los coordinadores de esta edición se responsabilizan por la publicación  
de los artículos incluidos en esta obra.

Cuidado editorial: Gloria Villa Hernández con la colaboración de Carlos Uziel Porras Carrasco

Diseño de portada: Álvaro Luna Castillejos

Ilustración de portada: Carlos de la Cruz

Formación: Gloria Villa Hernández

---

Para citar esta publicación se sugiere el formato APA:

Orona C., I., & Leos R., J.A. (coords.). (2020). Estudios sobre el manejo orgánico del suelo en el norte de México.

*Reporte de Investigación núm. 97.* México: Universidad Autónoma Chapingo, CUESTAAM.

---

Reporte de Investigación

97

**Estudios sobre el manejo  
orgánico del suelo  
en el norte de México**

Ignacio Orona Castillo  
Juan Antonio Leos Rodríguez  
(coordinadores)



MÉXICO

ESTUDIOS SOBRE EL MANEJO ORGÁNICO DEL SUELO  
EN EL NORTE DE MÉXICO.  
REPORTE DE INVESTIGACIÓN, 97

D.R. © Universidad Autónoma Chapingo  
km 38.5 carretera México-Texcoco  
Chapingo, Estado de México, CP 56230  
Primera edición, diciembre de 2020  
ISBN: 978-607-12-0185-0 (Obra completa)  
ISBN: 978-607-12-0579-7 (Volumen)

# Presentación de *Reportes de Investigación*

El Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) es un centro de investigación y posgrado con sede en la Universidad Autónoma Chapingo, México, fundado en 1990, cuya misión es realizar investigación y formar recursos humanos de alto nivel científico con capacidad para analizar el entorno, diseñar, implementar y evaluar estrategias innovadoras orientadas a incidir en la solución de la problemática del sector agroalimentario y rural, con un enfoque participativo, sustentable y de respeto por las culturas locales.

**Actualmente, el CIESTAAM cuenta con un programa de Doctorado en Problemas Económico Agroindustriales y dos Programas de Maestría en Estrategia Agroempresarial, uno con orientación profesional y otro como Maestría en Ciencias, todos ellos integrantes del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) SEP-CONACYT.**

Las labores de docencia, investigación y vinculación del Centro se articulan en cuatro líneas de generación y/o aplicación del conocimiento: **a) Evaluación y Diseño de Políticas Públicas para el Desarrollo Rural, b) Ciencia, Sociedad, Tecnología e Innovación en el Sector Rural, c) Análisis de Sistemas Agroindustriales, Redes de Valor y Modelos de Negocio, d) Historia Agraria.** Sobre estos temas mantenemos una intensa vinculación con otros centros de investigación y educación superior nacionales e internacionales, con dependencias federales y estatales, con organizaciones de productores y empresas del sector, asimismo, con investigadores de diferentes departamentos de la UACH, quienes, a partir de la investigación y el análisis de los problemas económicos, sociales y tecnológicos de la agroindustria y la agricultura, generan resultados y conocimientos que se difunden a través de los diferentes tipos de publicación establecidos en el Reglamento Editorial del CIESTAAM, con una visión integral, crítica y propositiva, priorizando las necesidades de la sociedad rural y los intereses de los grupos mayoritarios.

En ese contexto surgieron, en 1990, los Reportes de Investigación del CIESTAAM que se constituyeron en una serie de documentos académicos con la finalidad de ofrecer de manera expedita los resultados del trabajo de los investigadores que se aglutinaron en torno a este Centro, y que se encuentran enmarcados en las líneas de investigación que en él se desarrollan.

Característica fundamental de los reportes de investigación es el tratamiento y la actualidad de los temas publicados mediante ediciones sencillas, de tiraje corto y oportuno, con números consecutivos, correspondiendo al presente el número 97.

El contenido de nuestros Reportes se encuentra respaldado por un Comité Editorial que norma y dictamina la pertinencia de su publicación, para posteriormente ser sometidos al arbitraje de expertos en la temática correspondiente; una vez cubiertos estos requisitos se ponen a disposición de nuestra comunidad universitaria y de los diversos sectores interesados.

# Contenido

Prólogo	11
1	13
Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura sustentable	13
Bernardo Espinosa Palomeque, Pedro Cano Ríos, Pablo Preciado Rangel, Juan Carlos Rodríguez Ortiz, Alejandro Moreno Reséndez, José Luis Reyes Carrillo	13
Resumen	13
Introducción	14
Rizósfera	14
Bioinoculantes	15
Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	18
Modo de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal	20
Fertilidad del suelo y la captación de nutrimentos por PGPR	30
Conclusión	32
Literatura citada	33
2	41
Solarización de estiércol bovino y su impacto en la producción de maíz	41
José Guadalupe González Quirino, Enrique Salazar Sosa, Ana Alejandra Valenzuela García, Manuel Fortis Hernández, Ignacio Orona Castillo	41
Resumen	41
Introducción	42
Situación actual de la agricultura en el país	45
Principios de la agricultura orgánica	46
Diagrama conceptual del sistema de producción orgánica	47
Abonos orgánicos y biofertilizantes	47
Inocuidad	53
Agricultura orgánica	54
Uso y aprovechamiento de estiércol	56
Conclusiones y recomendaciones	61
Literatura citada	62

3		65
Experiencias en el manejo orgánico del suelo		65
Gustavo Mercado Mancera, Ana Karen Granados Mayorga, Román Álvarez Orozco, Celia Elena Valencia Islas, Jesús Navejas Jiménez, Amilkar Isidro González Valladarez		65
Resumen		65
Introducción		66
Materiales y métodos		67
Resultados y discusión		68
Conclusiones		70
Agradecimientos		71
Literatura citada		71
4		73
Producción de maíz forrajero con dos sistemas de estercolado		73
Alain Buendía García, José Antonio Cueto Wong, Jesús Luna Anguiano, Jesús Rodolfo Valenzuela García, Miguel Ángel Urbina Martínez, Issanelly Trujillo Zacarías		73
Resumen		73
Introducción		74
Materiales y métodos		74
Localización del área experimental		74
Características iniciales del suelo y estiércoles		75
Factores de estudio		75
Siembra y fertilización		76
Variables evaluadas en planta		77
Resultados y discusión		77
Rendimientos		77
Suelo		78
Conclusiones		82
Literatura citada		82
5		85
Análisis de variables bromatológicas de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) fertilizada con fuentes orgánicas e inorgánicas		85
Rafael Ávila Cisneros, Juan Leonardo Rocha Valdez, Anselmo González Torres, Alfredo Ogaz, Sheila Mayela Ávila Berumen		85
Resumen		85
Introducción		86
Revisión de literatura		86

Planteamiento del problema	91
Objetivo general	91
Objetivo particular	91
Hipótesis	91
Materiales y métodos	91
Resultados y discusión	92
Conclusiones	94
Literatura citada	95
6	97
Producción de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) bajo condiciones de malla sombra con diferentes dosis de fertilización orgánica en la Comarca Lagunera	97
Cirilo Vázquez Vázquez, Alejandro Espinoza Barajas, Miguel Ángel Gallegos Robles, Ignacio Orona Castillo, Edmundo Castellanos Pérez, Manuel Fortis Hernández	97
Resumen	97
Introducción	98
Materiales y métodos	99
Características de la malla sombra	99
Diseño experimental y tratamientos utilizados	100
Manejo agronómico del cultivo	100
Variables evaluadas	101
Resultados y discusión	102
Sólidos solubles totales (°Brix)	102
Nitratos en frutos de tomate	103
Rendimiento	103
Calidad comercial	104
Análisis inicial y final del suelo	105
Conclusiones	107
Literatura citada	107
7	109
Fertilización orgánica del cultivo de tomate en Ecuador	109
Juan José Reyes Pérez, Emmanuel Alexander Enríquez Acosta, Ricardo Augusto Luna Murillo, Miguel Ángel Ramírez Arrebato, Aida Tania Rodríguez-Pedroso, Liliana Lara Capistrán, Luis Guillermo Hernández-Montiel	109
Resumen	109
Introducción	110
Requerimientos nutricionales del tomate y fertilización convencional	111

Fertilización orgánica en el cultivo del tomate	112
Materiales y métodos	114
Resultados y discusión	117
Conclusiones	123
Prospectivas	123
Literatura citada	123
8	126
Producción de <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni con sustratos orgánicos de vermicompost:arena	126
Manuel Fortis Hernández, María Teresa Salazar Ramírez, Pablo Preciado Rangel, Jorge Sáenz Mata, Cirilo Vázquez Vázquez, Miguel Ángel Gallegos Robles, José Luis García Hernández	126
Resumen	126
Introducción	127
Materiales y métodos	128
Resultados y discusión	129
Características químicas de los sustratos	129
Propiedades físicas de los sustratos	130
Evaluación fisiológica	135
Conclusiones	136
Literatura citada	137

# Prólogo

La agricultura enfrenta hoy nuevos retos. El crecimiento de la población mundial y del ingreso per cápita generará un aumento en la demanda por alimentos más nutritivos, variados e inocuos. Según FAO, en el año 2050 habrá 9,500 millones de habitantes lo que requerirá un crecimiento promedio de 70 % de la producción actual de alimentos; la leche y los cárnicos, entre otros alimentos muy sensibles al crecimiento del ingreso, deberán hacerlo en mayor medida. Este crecimiento de la población genera también un patrón diferente en la composición de las edades; crece el envejecimiento de la población tanto en números absolutos como relativos. Por ejemplo, en el caso de América Latina y el Caribe, en el año 2050 habrá alrededor de 196 millones de personas mayores de 60 años y 44 millones mayores de 80 años, comparados con 62 y 10 millones actuales, respectivamente, que requerirán alimentos apropiados a la etapa de su ciclo vital.

Junto a este aumento de la demanda, la agricultura enfrenta también la problemática del hambre, de la desnutrición, del sobrepeso y de la obesidad.

Con el fin de lograr las metas anteriores, es necesario llevar a cabo las inversiones necesarias e implantar las políticas públicas apropiadas. Además, y a diferencia de lo que ocurrió en el pasado, este crecimiento está sujeto a la restricción de mantener y mejorar la base de recursos naturales sobre la que se sostiene la producción de alimentos. Una de las preocupaciones mundiales hoy en día es la relacionada con los efectos negativos del cambio climático sobre la capacidad de la agricultura para generar alimentos tanto de uso humano como animal, insumos industriales, biocombustibles y servicios ecosistémicos y, finalmente, sobre el bienestar del sector rural.

La agricultura es a la vez sujeto y objeto de externalidades negativas y contribuye de manera importante a la emisión de los llamados gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub>, metano y óxido nítrico, estos dos últimos con alto potencial de calentamiento.

El uso y gestión inadecuados de algunos insumos de origen industrial y sobre todo la escala de su utilización, como el caso del nitrógeno, junto a prácticas intensivas e inapropiadas de labranza y de riego, han contribuido al deterioro de los suelos y contaminación del agua entre otros impactos negativos. Por ejemplo, la demanda por cereales aumentará y por lo tanto su producción, 1000 millones de toneladas más de cereales y 200 millones de carne adicionales por año hacia 2050; pero estos cultivos

son altamente demandantes de nitrógeno, y otros como el arroz o la ganadería intensiva pueden contribuir significativamente a la emisión de metano.

En esta publicación se incluyen trabajos científicos de variado tipo que tratan de la agricultura y de cómo atenuar los impactos negativos que esta actividad genera sobre el medio ambiente y, en particular, sobre los recursos naturales como los suelos que son, hoy por hoy, el soporte vital de la actividad agropecuaria. Las contribuciones son producto de investigadores con una gran experiencia en agricultura orgánica y prácticas sustentables. Las temáticas abordan un amplio espectro tanto de cultivos como de prácticas agronómicas alternativas; desde maíz hasta stevia, pasando por tomate y alfalfa; rizobacterias, sistemas de estercolado, vermicompostas y solarización. Uno de los intereses principales del grupo de investigadores es el de transformar el problema de la excesiva producción de estiércol en la región en una oportunidad para desarrollar una agricultura más productiva y sostenible.

# Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura sustentable

Bernardo Espinosa Palomeque<sup>1,2</sup>, Pedro Cano Ríos<sup>2</sup>, Pablo Preciado Rangel<sup>2</sup>, Juan Carlos Rodríguez Ortiz<sup>3</sup>, Alejandro Moreno Reséndez<sup>2</sup>, José Luis Reyes Carrillo<sup>2</sup>

## Resumen

El sistema de producción de los cultivos agrícolas es un factor crítico para determinar el rendimiento y la calidad de los frutos. Para mejorar la productividad de las especies vegetales, en la actualidad se depende del suministro excesivo de agroquímicos los cuales impactan negativamente en la salud humana y la fertilidad de los suelos, además de que causan contaminación al ambiente. En este sentido, para mitigar los efectos adversos de los agroquímicos se ha propuesto el uso de bioinoculantes base microorganismos rizosféricos entre los cuales se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal [(PGPR), por sus siglas en inglés “**plant growth promoting rhizobacteria**”] que estimulan significativamente el crecimiento, desarrollo y el rendimiento de los cultivos, además de mejorar la salud del suelo a través de diferentes mecanismos de acción como son: fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfatos, inhibición del desarrollo de microorganismos fitopatógenos por la síntesis de antibióticos o sideróforos. Con la aplicación de bioinsumos base PGPR se contribuye sustancialmente a la disminución del suministro de fertilizantes sintéticos en los agroecosistemas y así contribuir a la conservación del ambiente. En esta revisión se reseñan aspectos básicos de los mecanismos de acción de las PGPR como una alternativa a los problemas agrícolas.

Palabras clave: control biológico, fertilidad del suelo, PGPR, rizósfera.

---

<sup>1</sup> Autor para correspondencia (berna\_palomeque@outlook.com).

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico. Torreón, Coah., México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

## Introducción

La agricultura es una de las actividades antropogénicas que aportan grandes contaminantes debido al uso excesivo de agroquímicos que causan riesgos potenciales a la salud humana e impactan negativamente al ambiente (Vejan *et al.*, 2016). Sin embargo, la producción de cultivos agrícolas en los diferentes agroecosistemas se ha incrementado a través del uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, lo cual ha provocado incremento de la contaminación de los recursos suelo y agua (Creus, 2017). Ante esta situación, en la actualidad existe el creciente interés, tanto de los investigadores como productores, por la búsqueda de sistemas de producción sostenible con el ambiente (Buragohain *et al.*, 2017). Debido a lo anterior han surgido insumos agrícolas como los bioinoculantes base microorganismos rizosféricos entre los cuales se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Tabassum *et al.*, 2017) [PGPR, por sus siglas en inglés “**plan growth promoting rhizobacteria**” (Kloepper y Schroth, 1978)]. La aplicación, tanto de biofertilizantes, como de bioestimulantes y bioprotectores base PGPR podría estimular el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las especies vegetales, mediante la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos, la producción de fitohormonas y la producción de enzimas hidrolíticas que actúan como control biológico, producción de polisacáridos extracelulares, resistencia sistemática inducida y/o adquirida (Arora *et al.*, 2017). Bajo esta perspectiva, se describen los elementos de la interacción de las especies vegetales y PGPR, haciendo énfasis en los mecanismos de acción de las rizobacterias en el sistema radical de las plantas.

### **Rizósfera**

La rizósfera es la estrecha zona de suelo rica en nutrientes que rodea el sistema radicular de las especies vegetales donde se producen procesos biológicos y ecológicos complejos; es un hábitat muy favorable para la proliferación de microorganismos que prosperan en los exudados (azúcares, aminoácidos y otros metabolitos secundarios) que son absorbidos como nutrientes por los microorganismos del rizodepósito y que ejercen un impacto significativo sobre la salud de las plantas y la fertilidad del suelo (Bais *et al.*, 2006; Ahmed *et al.*, 2017; Tabassum *et al.*, 2017). Fue descrita por primera vez por Lorenzo Hiltner en el año 1904 (Hartmann *et al.*, 2008); proviene del griego de las raíces etimológicas *rhiza* (raíz) y *sphere* (entorno), y se subdivide espacialmente en: endorizósfera (espacio intercelular entre los tejidos radicales colonizado por microorganismos y se aíslan después de la esterilización superficial de la raíz), ectorizósfera (compartimento de suelo asociado a la raíz hasta una distancia de cinco milímetros) y el rizoplaneo (interfaz suelo/raíz) (Narula *et al.*, 2009; Noumavo *et al.*, 2016). La rizósfera es un sistema abierto altamente dinámico con cambios temporales y espaciados por factores bióticos (resultado de cambios fisiológicos y morfológicos del sistema

radical en crecimiento) y abióticos (lluvia, riego y sequía). Por tanto, es difícil comprender las adaptaciones microbianas a cada situación en particular (Spaepen *et al.*, 2009). Las funciones biológicas del sistema radical de las plantas como la absorción, la respiración y la exudación, tienen efectos sobre la rizósfera, modificando las condiciones biogeoquímicas del suelo (p. ej.: concentraciones de elementos nutritivos, contaminantes, compuestos complejantes y quelatantes, pH, potencial redox, presiones parciales de oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), entre otros (Gianfreda, 2015).

Por otra parte, gran número de microorganismos como bacterias, protozoarios, nematodos y hongos coexisten en la rizósfera, siendo las bacterias las más abundantes (Weston *et al.*, 2012). Los microorganismos que colonizan la rizósfera pueden clasificarse en función de sus efectos sobre las plantas y la forma de interactuar con las raíces, resultando algunos patógenos y otros benéficos (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos presentes en la rizósfera son esenciales debido a que juegan un papel muy importante en la transformación de nutrimentos y pueden producir fitohormonas, asimismo sus actividades metabólicas sumadas a las de la fauna del suelo, promueven la salud de dicho recurso natural y la productividad de los cultivos (Creus, 2017).

Las interacciones entre planta y raíz en la rizósfera pueden incluir las interacciones raíz – raíz, raíz – insecto y raíz – microorganismo, lo que resulta en la producción de más exudados de las raíces que finalmente favorecen significativamente a las poblaciones microbianas en esta región ecológica (Figura 1) (Calvo *et al.*, 2014).

Entre los microorganismos que provocan efectos positivos en las plantas o participan en algunas de las interacciones benéficas de raíz – microorganismo se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, y de éstas las más estudiadas son las rizobacterias (López *et al.*, 2015; Tabassum *et al.*, 2017). Estas bacterias colonizan principalmente las raíces, ya que los exudados de hasta el 40 % del fotosintato de las raíces de las plantas establecen un nicho ecológico (Kai y Piechulla, 2009). Los siguientes procesos deben recibir una adecuada interpretación para lograr una mejor comprensión y adaptación de la rizósfera, (i) los diversos factores involucrados en la movilización de los nutrimentos minerales para mejorar su eficiencia de absorción; (ii) promoción del crecimiento de la raíz por una gran diversidad de rizobacterias, y (iii) disminución o prevención de las enfermedades por microorganismos antagonistas en relación con el estado del micronutrimento (Römheld y Neumann, 2006).

### ***Bioinoculantes***

El uso indiscriminado de los fertilizantes sintéticos en los sistemas de producción de los cultivos agrícolas, así como la creciente dependencia, causan el deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo, además tienen un impacto variable en la composición y las funciones de la microbiota del suelo (Camelo-

Rusinque *et al.*, 2017). El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos ha mostrado un impacto negativo en la productividad de los cultivos, la contaminación del suelo y del agua, la susceptibilidad de los cultivos a fitopatógenos y, en última instancia, en la economía (Zaidi *et al.*, 2015). En general, entre el 60 y 90 % del fertilizante total aplicado se pierde, y sólo el 40 y 10 % restante es aprovechado por las plantas (Bhardwaj *et al.*, 2014). En este contexto, para mitigar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos, el uso de bioinoculantes en la agricultura se ha incrementado considerablemente durante las últimas dos décadas (Hayat *et al.*, 2010), estos son a base de microorganismos aplicados con el fin de disminuir el suministro de fertilización sintética, así como mitigar la contaminación generada por los agroquímicos (Figura 2) (Pii *et al.*, 2015).

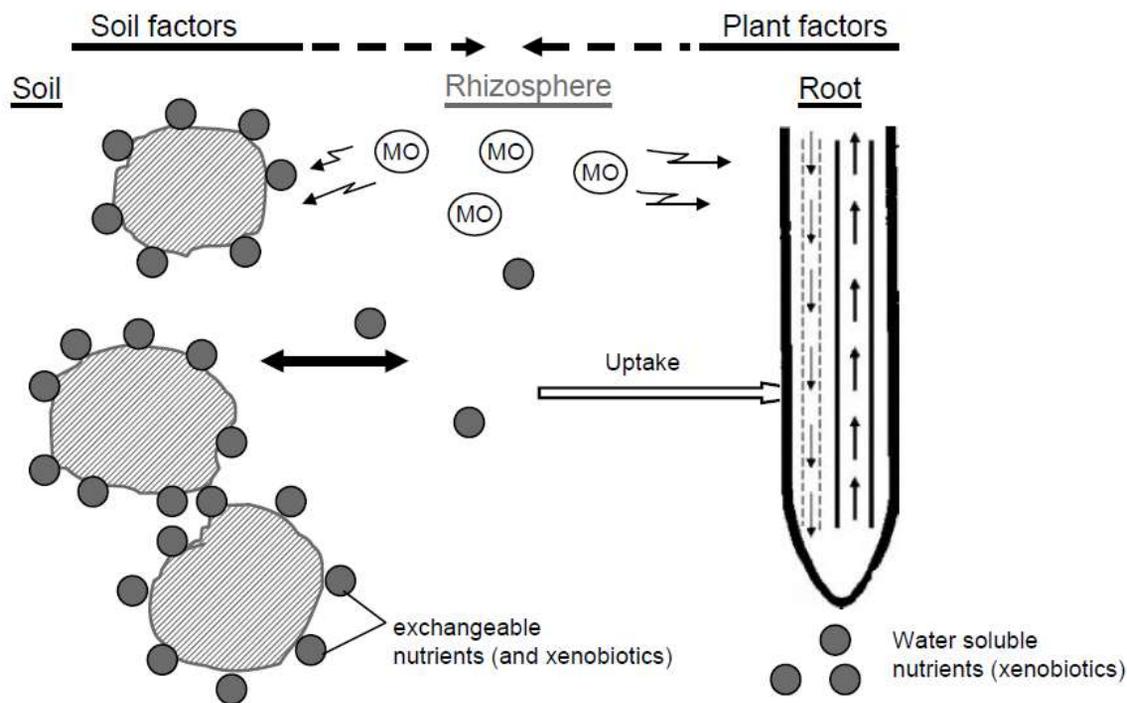


Figura 1. Interacción de los microorganismos (MO) con los factores del suelo y las raíces de las plantas en la rizósfera en la absorción de nutrientes minerales y xenobióticos

Fuente: Römheld y Neumann, 2006.

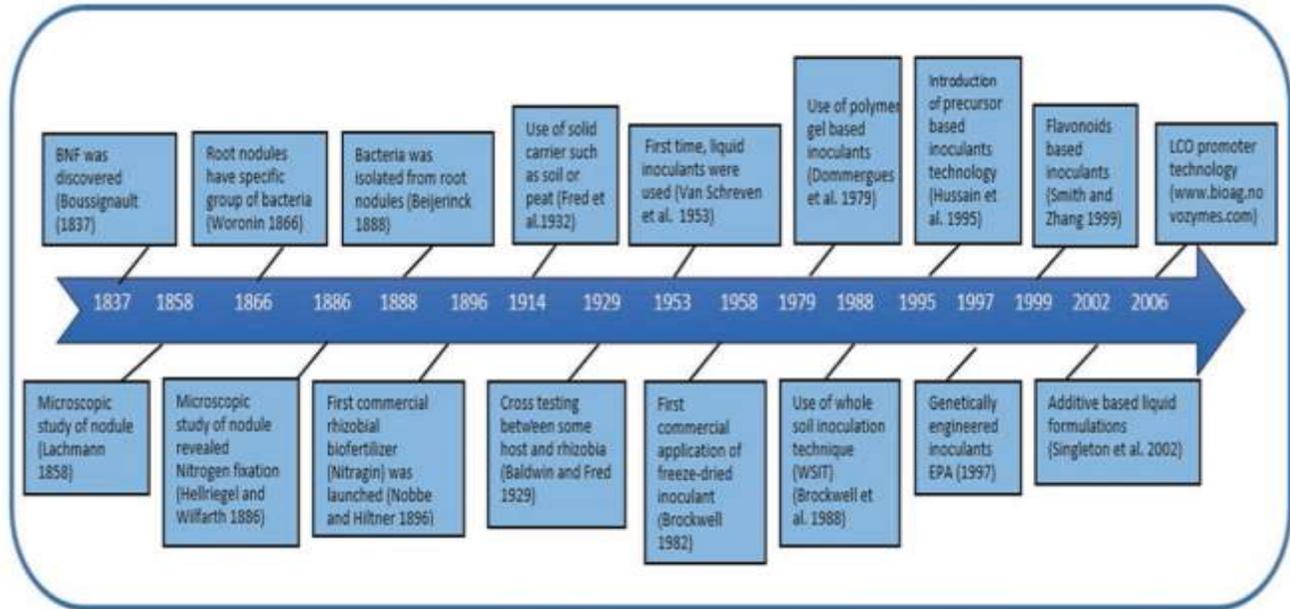


Figura 2. Línea del tiempo de los principales descubrimientos en el desarrollo de biofertilizantes a base de microorganismos rizosféricos

Fuente: Arora *et al.*, 2017.

Diversos bioinoculantes a base de rizobacterias que estimulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos vegetales, usualmente referidas como PGPR, son utilizados comercialmente recibiendo diferentes nombres y, asimismo, tienen distintos mecanismos de acción: (i) bioprotectores, reducen los daños causados por patógenos; (ii) biofertilizantes, mejoran la adquisición de elementos nutritivos; (iii) bioestimulantes, producción de fitohormonas. Los mayores avances se han reportado con los bioprotectores de los géneros: *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* y *Agrobacterium*, que se utilizan actualmente como agentes de control biológico por disminuir la incidencia de enfermedades en las plantas mediante la inducción de resistencia sistemática y la producción de sideróforos o antibióticos (Tjamos *et al.*, 2010).

La aplicación de inóculos bacterianos ofrece una opción para disminuir el suministro de fertilizantes inorgánicos y pesticidas, ya que la mayoría de los aislamientos han reportado incrementos significativos en el crecimiento de las plantas tanto en raíces y/o parte aérea (Khalid *et al.*, 2006). Cuando las PGPR se inoculan en las semillas antes de la siembra, son capaces de establecerse en las raíces de los cultivos

(Saharan y Nehra, 2011). Algunas PGPR mejoran la salud de las plantas mediante el proceso denominado resistencia sistémica inducida (RSI), a través de la potencialización de la fuerza física y mecánica de la pared celular, así como cambio en la fisiología y bioquímica de la planta que estimulan la síntesis de mecanismos de defensa a un amplio rango de agentes fitopatógenos e insectos herbívoros (Pieterse *et al.*, 2014). En este mismo sentido, la inducción de la RSI es a través de las vías de señalización del ácido jasmónico y del etileno (Reddy, 2014). Aunado a lo anterior, las cepas de las PGPR comercializadas incluyen *A. radiobacter*, *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *Azotobacter chroococcum*, *B. fimus*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. mucilaginous*, *B. pumilus*, *Bacillus* spp., *B. subtilis*, *B. subtilis* var. *amyloliquedaciens*, *B. cepacia*, *Delfittia acidovorans*, *Paenobacillus macerans*, *Pantoea agglomerans*, *P. aureofaciens*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*, *P. solanacearum*, *Pseudomonas* spp., *P. syringae*, *S. entomophilla*, *S. griseoviridis*, *Streptomyces* spp., *S. lydicus* y varias *Rhizobia* spp. (Glick, 2012).

El uso de bioinoculantes compuestos de microorganismos benéficos, ya sean bioestimulantes, biofertilizantes o bioprotectores, constituye una alternativa biotecnológica cada vez más aceptada en los sistemas de producción sustentables, tanto en cultivos extensivos como intensivos (Creus, 2017). Por lo tanto, el papel de los microorganismos en la agricultura sustentable ha proporcionado nuevos conocimientos sobre la economía agrícola, y uno de los beneficios directos es la menor dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos, lo cual es favorable debido a que la aplicación continua de estos productos inorgánicos no sólo presenta efectos perjudiciales sobre los ecosistemas agrícolas, sino también riesgos para la salud de humanos y animales (Mishra y Arora, 2016).

### ***Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal***

En la actualidad, se ha incrementado el uso de bacterias que habitan en la rizósfera de las raíces las cuales estimulan el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales (Wu *et al.*, 2005; Khalid *et al.*, 2006; Ashrafuzzaman *et al.*, 2009; Almaghrabi *et al.*, 2013). Es importante mencionar que los microorganismos rizosféricos son capaces de mejorar el proceso de absorción nutrimental de las plantas, su vigor y resistencia sistémica a diversos fitopatógenos, debido a su interacción con el metabolismo de las especies vegetales y la consiguiente detección de patrones moleculares asociados al patógeno, liberación de proteínas de resistencia y activación de su inmunidad inducida (Hipólito-Romero *et al.*, 2017). Las PGPR son capaces de colonizar las raíces de las plantas en cantidades significativas [10<sup>5</sup> - 10<sup>7</sup> unidades formadores de colonia por gramo de raíz fresca (Spaepen *et al.*, 2009)] y mejorar su crecimiento, de manera directa e indirecta, y poseen varios modos de acción complejos que interactúan entre sí para establecer relaciones benéficas (Minorsky, 2007; Camelo *et al.*, 2011).

La promoción directa del crecimiento vegetal por las PGPR se puede derivar de la solubilización del fósforo, producción de reguladores de crecimiento, tales como auxinas, giberelinas (GAs), citoquininas e inhibidores de etileno, mediante la obtención de las actividades metabólicas de las raíces y/o mediante el suministro de nitrógeno fijado biológicamente (Spaepen *et al.*, 2009). La promoción indirecta del crecimiento de las plantas se efectúa cuando las PGPR producen sideróforos los cuales pueden solubilizar y quelar el hierro de la rizósfera y de este modo inhiben el crecimiento de uno o más microorganismos fitopatógenos (Figura 3) (Caballero-Mellado, 2006; Ahmad *et al.*, 2008). De igual manera, son capaces de producir y secretar enzimas hidrolíticas, tales como quitinasas,  $\beta$ -glucanasa, deshidrogenasas, lipasas, fosfatasa, proteasas, hidrolasas, exo y endopoligalacturonasas, pectinoliasas, celulasas y ACC-desaminasa las cuales se ha demostrado que son eficaces como agente de control biológico al degradar la pared celular de los patógenos (Noumavo *et al.*, 2016; Vejan *et al.*, 2016). Además, algunas PGPR tienen también una función en la degradación de contaminantes orgánicos que podrían aumentar la fertilidad del suelo (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos rizosféricos aceleran el proceso de degradación produciendo una amplia gama de enzimas hidrolíticas (p. ej.: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico "ACC" o ACC desaminasa), las cuales disminuyen la concentración de etileno en la planta e incrementa la disponibilidad de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en la rizósfera, así ayudan a la restauración ecológica de sitios contaminados (Figura 4) (Esquivel-Cote *et al.*, 2013; Mishra *et al.*, 2017).

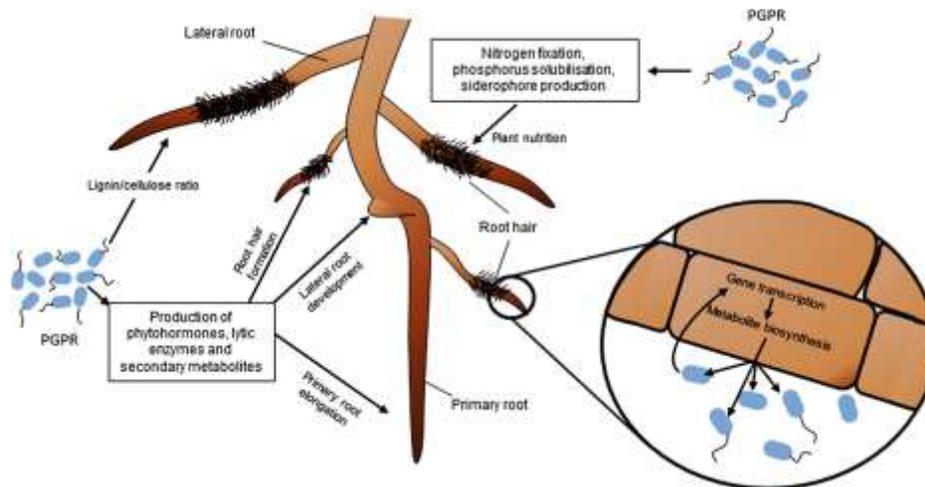


Figura 3. Modo de acción utilizado por las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal hacia la promoción del crecimiento en las plantas

Fuente: Vejan *et al.*, 2016.

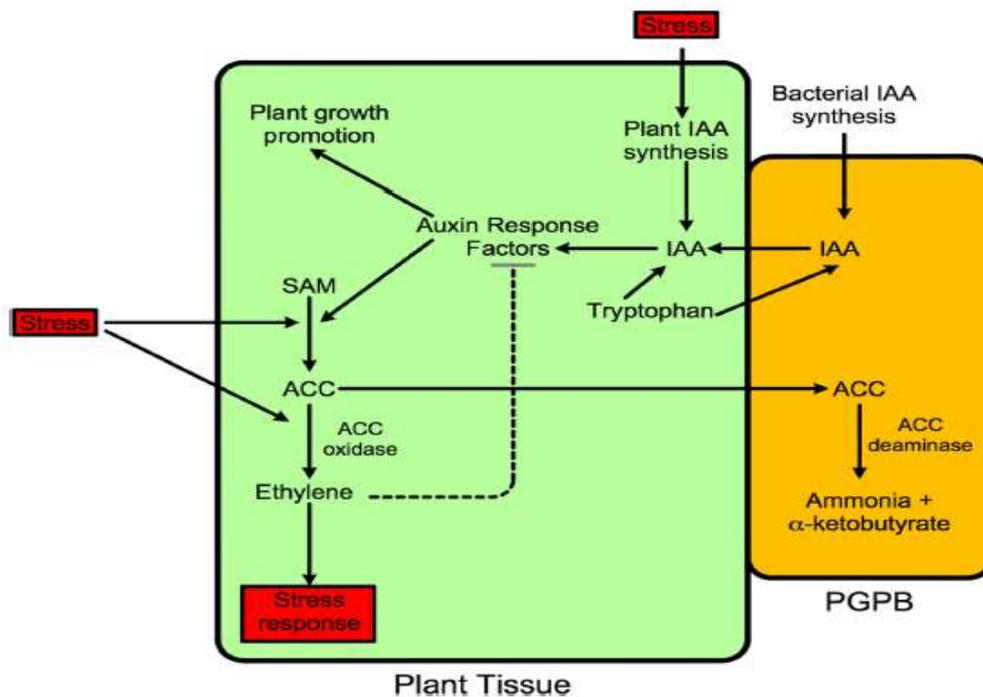


Figura 4. Estimulación del crecimiento de las plantas por las PGPR que contienen ACC desaminasa

El estrés aumenta tanto el IAA como la síntesis de etileno dentro de la planta, lo que en última instancia disminuye el crecimiento de las plantas. Con las PGPR que contienen ACC desaminasa, los niveles de etileno se disminuyen, lo que contrarresta parte de la inhibición del crecimiento que causa el aumento del etileno.

Fuente: Olanrewaju *et al.*, 2017.

### ***Modo de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal***

Existen diferentes mecanismos utilizados por las PGPR para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas en diversas condiciones ambientales. En general, las PGPR funcionan como biofertilizantes, bioestimuladores y bioprotectores, los mecanismos pueden ser directos o indirectos (Figura 5) (Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013; Goswami *et al.*, 2016).

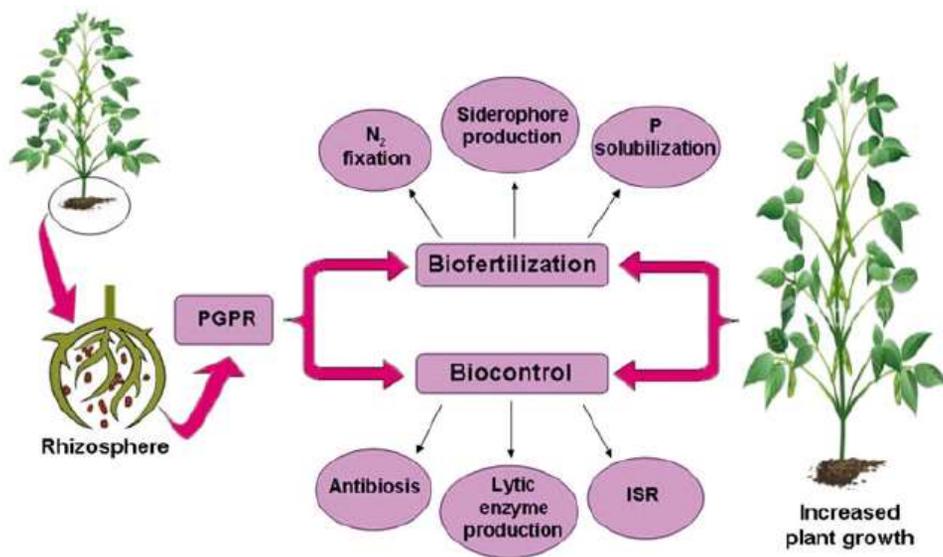


Figura 5. Mecanismos de acción conocidos para la promoción del crecimiento de las plantas por PGPR

Diferentes mecanismos pueden ser ampliamente estudiados: (1) biofertilización y (2) biocontrol de fitopatógenos. La biofertilización abarca: (a) fijación de  $N_2$ , (b) producción de sideróforos y (c) solubilización P inorgánica. El control biológico implica: (a) antibiosis, (b) secreción de enzimas líticas y (c) resistencia sistémica inducida (RSI).

Fuente: Kuman *et al.*, 2011.

### a) Fijación biológica de nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno de los elementos esenciales más importantes para el crecimiento de las plantas; es indispensable para la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios. Alrededor del 1 – 5 % de la materia seca total de la planta consiste en N (Hawkesford *et al.*, 2012). Lamentablemente no hay especies de plantas que sean capaces de convertir el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a  $NH_4^+$  (Das *et al.*, 2013). Por lo tanto, las plantas dependen de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) que se define como la conversión de  $N_2$  a  $NH_4^+$  (compuesto químico del N que puede ser utilizado por la planta). La FBN se consigue mediante la enzima denominada nitrogenasa de molibdeno que se encuentra en todos los diazotóforos (Ahemad y Kibret, 2014). De hecho, la FBN representa aproximadamente dos tercios del N fijado a nivel mundial, mientras que el resto del N es aportado principalmente por el proceso industrial Haber-Bosch (Rubio y Ludden, 2008), el cual consiste en hacer reaccionar las sustancias elementales  $N_2$  e hidrógeno ( $H_2$ ) a altas temperaturas, alta presión y en presencia de un catalizador (Sosa, 2015).

Dada la volatilidad –y la tendencia general al alza– de los precios del petróleo y los intentos mundiales de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso agrícola de N que contienen los fertilizantes sintéticos producidos por el proceso Haber-Bosch, la FBN podría ser una alternativa en la sustitución de los fertilizantes inorgánicos en los sistemas de producción de cultivos no leguminosos (James y Baldani, 2012).

La fijación biológica de nitrógeno se lleva a cabo en bacterias asociadas a plantas y bacterias de vida libre que están ampliamente distribuidas en la naturaleza (Figura 6) (Molina *et al.*, 2015). Los microorganismos fijadores de nitrógeno se clasifican, en general, como: (a) bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>, incluyendo miembros de la familia Rhizobiaceae que forman simbiosis con plantas leguminosas (por ejemplo, rizobios) y actualmente incluyen más de 50 especies distribuidas en los géneros *Rhizobium*, *Ensifer*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium* (Ahemad y Khan, 2010; Velázquez *et al.*, 2010) y árboles no leguminosos (p. ej., *Frankia*) y (b) formas fijadoras de N no simbióticas (vida libre, asociativa y endófitas) tales como cianobacterias (*Anabaena*, *Nostoc*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus* y *Azocarus*, etcétera) (Bhattacharyya y Jha, 2012; Das *et al.*, 2013). La fijación biológica de N ocurre cuando es catalizado por la enzima nitrogenasa sensible al oxígeno, presente dentro de las bacterias (Figura 7), mediante la siguiente reacción (Bhattacharjee *et al.*, 2008):



## b) Biosolubilización de fosfatos

El papel de los microorganismos rizosféricos en la solubilización de fosfato se remonta al año 1903 (Khan *et al.*, 2007). La mayoría de los suelos agrícolas contienen grandes reservas de P, que se han acumulado principalmente como consecuencia de las aplicaciones regulares de fertilizantes. En suelos ricos en P, la mayor parte no está disponible para las plantas, debido a que se encuentra en su forma insoluble (Castagno *et al.*, 2011). Además, el 75 % de los fertilizantes fosfatados solubles, añadido a los cultivos, puede convertirse en forma poco soluble por reacción con los iones Ca<sup>2+</sup> libres en suelos alcalino de alto pH o con Fe<sup>3+</sup> o Al<sup>3+</sup> en suelos ácidos de pH bajo (Hariprasad y Niranjana, 2008). El fósforo sólo es asimilable en la forma monobásica: H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-1</sup> y dibásica: HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, compuestos disponibles para las plantas, aunque en condiciones de campo comúnmente se mantienen en bajas concentraciones (Vessey, 2003). Las PGPR pueden utilizarse para transformar el P insoluble, presente en el suelo, en una forma asimilable, para lograr incrementar los rendimientos de las especies vegetales (Figura 8) (Rodríguez *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2008). Las bacterias

solubilizan fosfato al producir ácidos orgánicos como: ácido cítrico, láctico, succínico y glucónico (la acidificación libera los fosfatos y cationes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$  al suelo) (Hariprasad y Niranjana, 2008). También se puede solubilizar el fosfato por medio de las enzimas fitasa o C-P linasa que presentan algunos microorganismos (Richardson, 2001).

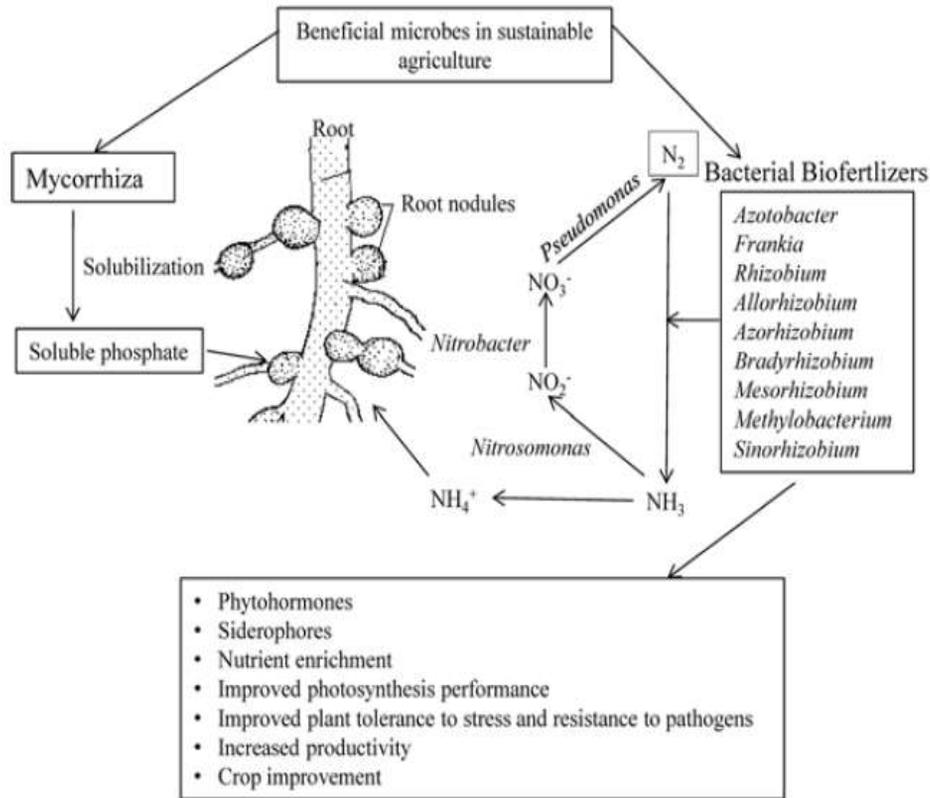


Figura 6. Uso potencial de microorganismos del suelo en la producción sustentable de cultivos agrícolas

Fuente: Bhardwaj *et al.*, 2014.

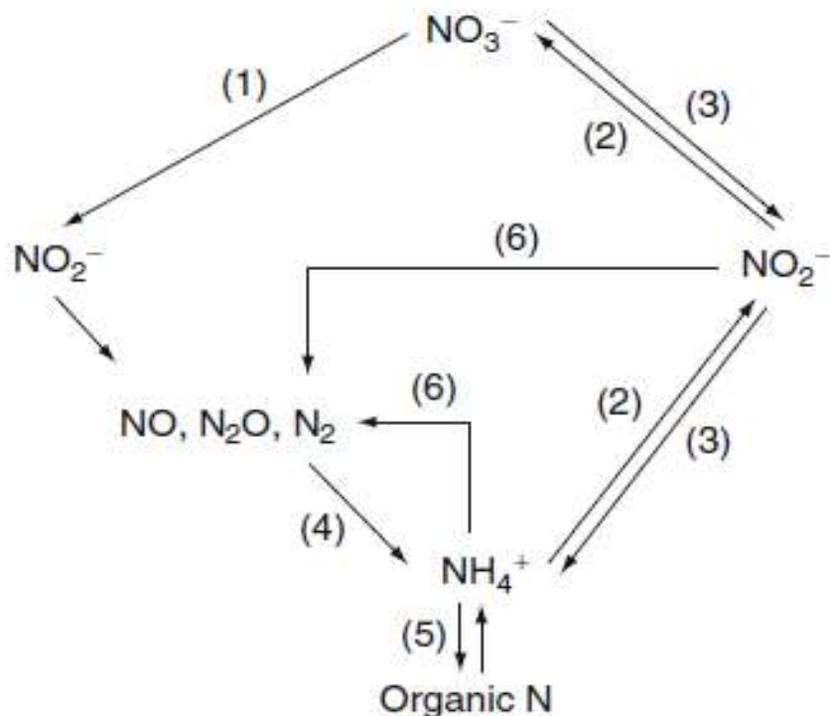


Figura 7. Ciclo biológico del nitrógeno

El nitrógeno se puede transformar en diferentes formas químicas por los microorganismos, que van desde el estado de oxidación +5 ( $\text{NO}_3^-$ ) hasta -3 ( $\text{NH}_4^+$ ). Las diferentes reacciones, llevadas a cabo por diferentes grupos de microorganismos bajo diferentes condiciones ecológicas, se indican por los números: (1) desnitrificación, (2) nitrificación, (3) asimilación y reducción asimilable de nitrato, (4) fijaciones biológicas de nitrógeno, (5) amonio asimilable y (6) oxidación anaeróbica de  $\text{NH}_4^+$ . Los procesos (1), (3) y (4) requieren un donador de electrones, mientras que el proceso (2) requiere un receptor de electrones.  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  son las principales formas de nitrógeno que las plantas pueden usar fácilmente.

Fuente: Spaepen *et al.*, 2009.

Otra forma de realizar la solubilización del fosfato orgánico a inorgánico es por medio de la enzima fosfatasa, la cual hidroliza los enlaces orgánicos fosfatados liberando aniones de fosfato a la solución del suelo donde los microorganismos y las raíces de las plantas se nutren (Pérez *et al.*, 2007). La liberación de las formas solubles a partir de fósforo mineral, se realiza con la producción de ácidos orgánicos como el

ácido glucónico o 2-ceto-glucónico. La bioproducción de estos ácidos depende de la fuente de carbono (C) disponible en la rizósfera (Ahemad y Khan, 2012). Los géneros bacterianos capaces de solubilizar fosfato son: *Aereobacter*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Beijerinckia*, así como las especies: *A. chroococcum*, *B. circulans*, *Cladosporium harbarum*, *Bradyrhizobium japonicum*, *E. agglomerans*, *P. putida*, *P. chlororaphis*, *R. leguminosarum* (Rodríguez y Fraga, 1999; Díaz *et al.*, 2001; Molina *et al.*, 2015).

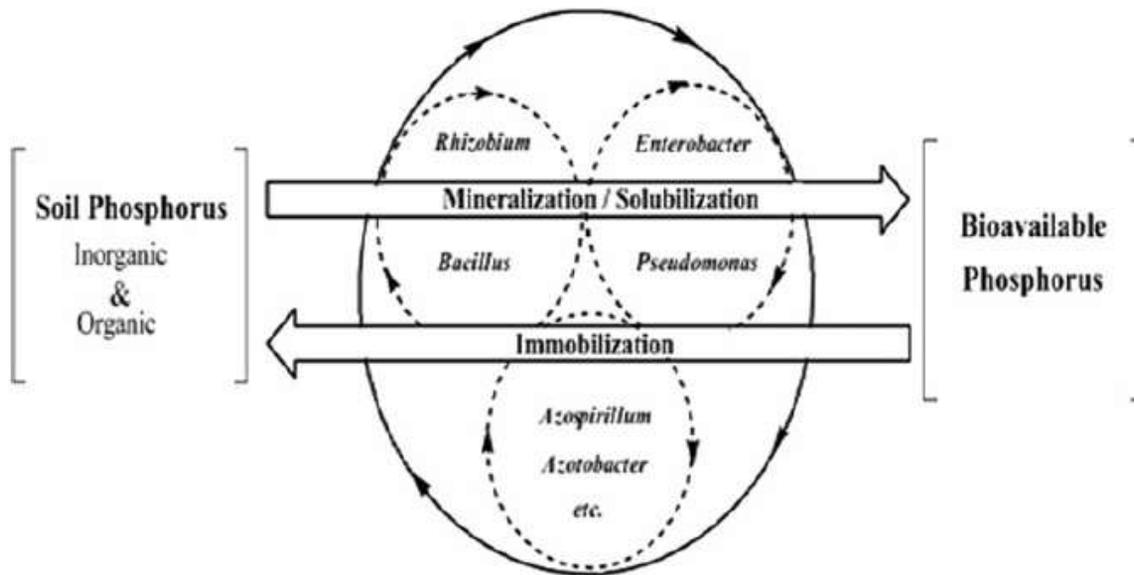


Figura 8. Movilización e inmovilización del fósforo del suelo por las rizobacterias

Fuente: Khan *et al.*, 2009.

### c) Producción de fitohormonas

Las fitohormonas vegetales son mensajeros químicos que afectan la capacidad de respuesta de las plantas a su ambiente; son compuestos orgánicos eficaces a muy baja concentración. Por lo general, son sintetizados en una parte de la planta y transportados a otra. Interactúan con tejidos específicos para causar respuestas fisiológicas, tales como crecimiento o maduración de los frutos. Cada respuesta es, a menudo, el

resultado de dos o más fitohormonas que actúan juntas. Las fitohormonas estimulan o inhiben el crecimiento de plantas, debido a esto también son nombradas reguladores del crecimiento. Se reconocen principalmente cinco grupos: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y el ácido abscísico (Saharan y Nehra, 2011). Estas fitohormonas están involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas en virtud de su efecto. Las auxinas se involucran principalmente en el aumento de células, las citoquininas en la división celular, y las giberelinas en el alargamiento del tallo estimulando la división celular y el alargamiento celular, mientras que el etileno y el ácido abscísico en la maduración de frutos y senescencia de las plantas (Khalid *et al.*, 2006).

La bioestimulación es considerada el mecanismo más estudiado de las PGPR (Lugtenberg y Kamilova, 2009), las fitohormonas, tal como las auxinas [principalmente ácido indolacético (AIA)], ácido giberélico y citoquininas producidas por las PGPR, pueden alterar la arquitectura de las raíces y promover el desarrollo de las plantas (Kloepper *et al.*, 2007; Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013).

El AIA es la auxina más estudiada, producida por las rizobacterias, la cual afecta la división, extensión y diferenciación celular de las plantas; estimula la germinación de semillas y tubérculos; incrementa la tasa de desarrollo del xilema y raíces; controla los procesos de crecimiento vegetativo; inicia la formación de raíces laterales y adventicias mediante las respuestas a la luz, la gravedad y fluorescencia; además, afecta a la fotosíntesis, la formación de pigmento, la biosíntesis de diversos metabolitos y la resistencia a condiciones estresantes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Es sintetizada por diversas vías metabólicas en función de la bacteria a partir del triptófano también presente en los exudados de las raíces (Camelo *et al.*, 2011). En general, el AIA bacteriano aumenta el área superficial y la longitud de la raíz y, por lo tanto, proporciona a la planta un mayor acceso a los elementos nutritivos del suelo. Además, el AIA bacteriano ablanda las paredes celulares de las plantas y, como resultado, facilita una cantidad creciente de exudación de la raíz que proporciona elementos nutritivos adicionales para soportar el crecimiento de las bacterias en la rizósfera (Glick, 2012). Los organismos capaces de sintetizar el AIA son *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, *Microbacterium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Shingomonas* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2007; Jha *et al.*, 2008). Estos géneros sintetizan el AIA, principalmente por la vía de indol-3-ácido pirúvico, la indol 3-acetonitrilo, la triptamina y la del indol-3-acetamida (Figura 9) (Castagno *et al.*, 2011; Molina *et al.*, 2015).

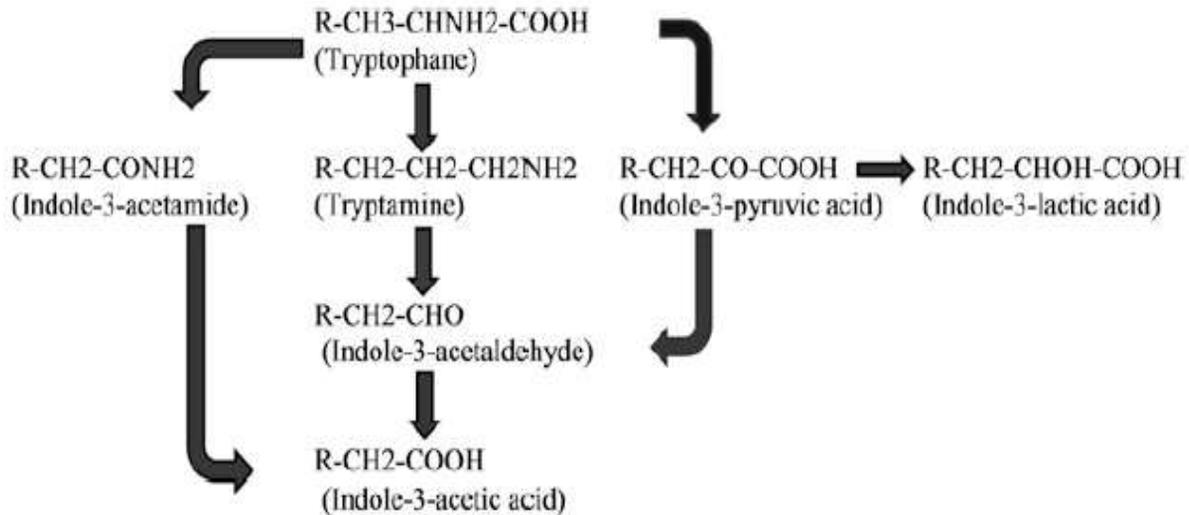


Figura 9. Vía biosintética del ácido indol-3-acético (AIA) en bacterias

Fuente: Amara *et al.*, 2015.

Las citoquininas son derivados purínicos que actúan como promotores del crecimiento vegetal e influyen en diversos procesos fisiológicos y desarrollo de las plantas tales como la división celular, germinación de semillas, desarrollo de raíces primarias, formación de raíces adventicias, acumulación de clorofila, expansión foliar, formación de brotes y el retraso de la senescencia. Las plantas usan continuamente citoquininas para mantener las reservas de células madre totipotentes en sus meristemos de brotes y raíces (García *et al.*, 2001; Ortíz-Castro *et al.*, 2014).

Las citoquininas se forman en cualquier tejido vegetal (tallos, raíces, hojas, flores, frutos o semillas), aunque se acepta en general que en las raíces se producen la mayor cantidad de estas fitohormonas (Dobbelaere *et al.*, 2003). Ejemplos de algunos géneros de PGPR incluidas en la producción de citoquininas son: *Agrobacterium*, *Aminobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Blastobacter*, *Escherichia*, *Erwinia*, *Hyphomicrobium*, *Methiloarcula*, *Methylobacterium*, *Methylobacter*, *Methylobacterium*, *Methylomonas*, *Methylophylus*, *Methylosinus*, *Methylovorus*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Xanthobacter* (Tsavkelova *et al.*, 2006). Además, se ha reportado la producción de citoquininas (especialmente zeatina) en varias especies de PGPR como: *A. giacomelloi*, *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. licheniformis*, *P. fluorescens* y *P. polymyxa* (Vacheron *et al.*, 2013).

Las GAs son moléculas complejas con grupos di-terpenos tetracarboxílicos. Se han caracterizado 136 giberelinas en plantas superiores (128 especies), 28 GAs en hongos (siete especies) y sólo cuatro (GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> y GA<sub>20</sub>) en bacterias (siete especies) (MacMillan, 2002). Estas fitohormonas están involucradas en diversas funciones metabólicas requeridas por las plantas tal como la germinación de semillas, la elongación del tallo, la altura de la planta, la expresión sexual, la floración, la formación de frutos, la senescencia y también promueven el alargamiento de la raíz principal y la expansión de las raíces laterales (Yaxley *et al.*, 2001; Babalola, 2010; Camelo *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2014). La producción de GAs ha sido reportado en varias PGPR, por ejemplo, *Acinetobacter* spp., *Agrobacterium* spp., *Arthrobacter* spp., *A. xylosoxidans*, *A. calcoaceticus*, *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Herbaspirillum seropedicae*, *Flavobacterium* spp., *Gluconobacter diazotrophicus*, *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2006; Glick, 2012).

#### d). Mecanismos de biocontrol

Las plantas han desarrollado un potente sistema inmunológico para resistir una posible colonización por patógenos microbianos. Adicionalmente, la RSI inducida por las rizobacterias es un tipo de resistencia sistémicamente mejorada contra un amplio espectro de patógenos que se desencadena tras la colonización de las raíces por cepas bacterianas benéficas (De Vleeschauwer y Höfte, 2009). El uso de microorganismos para controlar las enfermedades en las plantas, es una forma de control biológico; un enfoque respetuoso con el medio ambiente. Los microorganismos benéficos son un enemigo natural de fitopatógenos, debido a que producen metabolitos secundarios cerca de la superficie de la planta, es decir, el sitio donde deben actuar (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Estos metabolitos son biodegradables y no se necesitan en cantidades elevadas, a diferencia de los agroquímicos que son resistentes a la degradación por microorganismos y se aplican en grandes cantidades a los cultivos agrícolas para mantener la salud de las plantas (Figura 10) (Molina *et al.*, 2015). Algunas cepas de *Pseudomona* spp., seleccionadas como antagonistas de *Fusarium* y *Colletotrichum orbiculare*, son capaces de inducir resistencia sistémica cuando se inocula en las plantas (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

Por otra parte, el hierro (Fe) es un elemento esencial para el crecimiento de los organismos, las plantas lo obtienen del suelo y cuando la disposición de los elementos nutritivos es limitada los microorganismos de la rizósfera entran en competencia por adquirirlo, las PGPR producen sideróforos que son compuestos de bajo peso molecular para obtener competentemente este mineral del suelo. Además, los sideróforos son compuestos que desempeñan la función de solubilizar específicamente el hierro e incorporarlo al metabolismo celular, químicamente, se consideran compuestos ligantes a hierro que funcionan de forma general uniéndose covalentemente a éste sin generar cambios en el estado de oxidación. Las sustancias inhibitoras

producidas por las PGPR que más se han reportado son los sideróforos. La síntesis de estos y sus receptores es inducida por las limitaciones de Fe en el medio y regulada por proteínas dependientes de Fe, pH y trazas de C, N y P (Camelo *et al.*, 2011). En este sentido, uno de los métodos para estimular indirectamente el crecimiento de las plantas es mediante la producción y secreción de sideróforos (compuestos que sequestran el Fe disponible en la rizósfera) y como resultado previene que cualquier microorganismo patógeno proliferen (Figura 11) (Ortiz *et al.*, 2016).

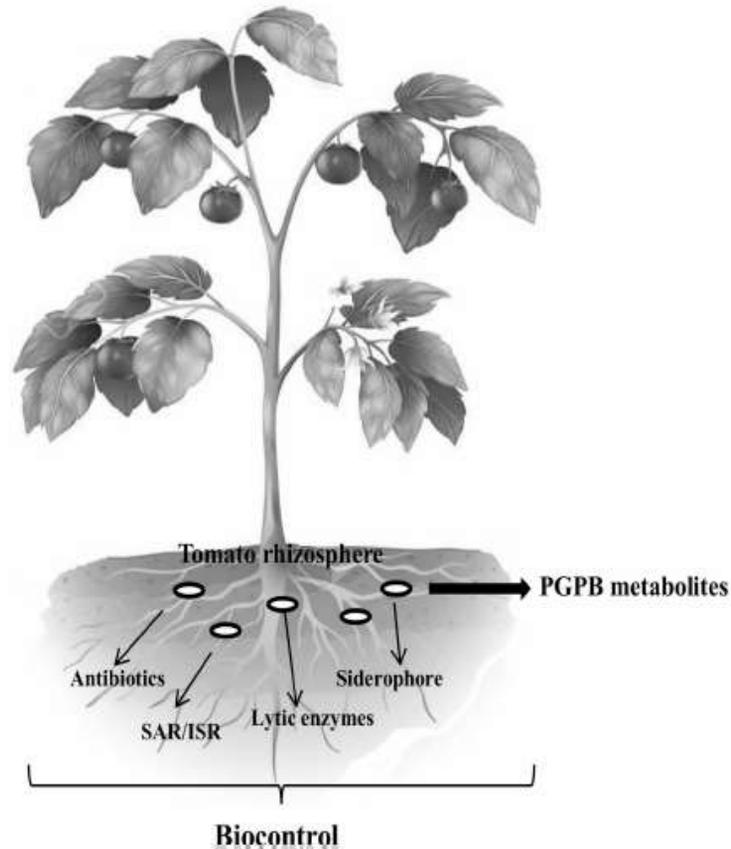


Figura 10. Descripción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el manejo de enfermedades en el cultivo de tomate

Fuente: Singh *et al.*, 2017.

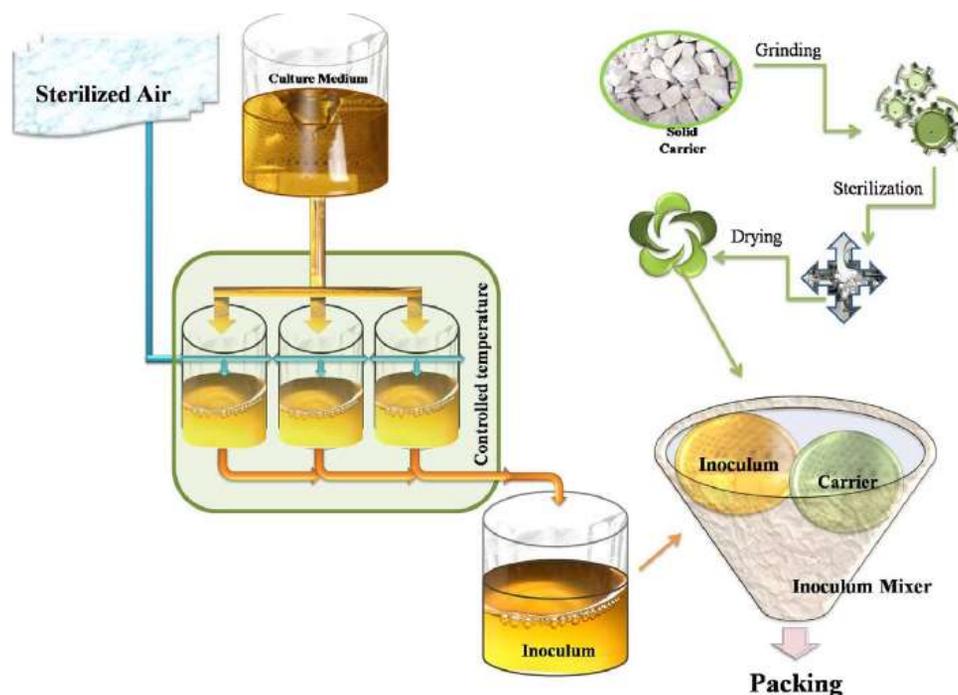


Figura 11. Esquema generalizado de la formulación de bioprotectores por industrias donde las PGPR se conservan en una molécula portadora apropiada y se empaquetan para su aplicación comercial al final del agricultor. Varias formulaciones de PGPR están disponibles en el mercado por diferentes productores comerciales e instituciones gubernamentales.

Fuente: Tabassum *et al.*, 2017.

### ***Fertilidad del suelo y la captación de nutrientes por PGPR***

El suelo es el nicho natural para los microorganismos rizosféricos que juegan un papel importante en los procesos del suelo y determinan la productividad de las especies vegetales (Sharma *et al.*, 2017). Las PGPR están involucradas en diferentes procesos del suelo como es la descomposición de residuos de cultivos, mineralización de materia orgánica, inmovilización de nutrientes minerales, solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno, síntesis de fitohormonas y control biológico de enfermedades. Dichos procesos ayudan en la mejora de la fertilidad del suelo, además de mejorar la productividad de las especies vegetales (Figura 12) (Vessey, 2003; Calvo *et al.*, 2014; Egamberdieva *et al.*, 2015).

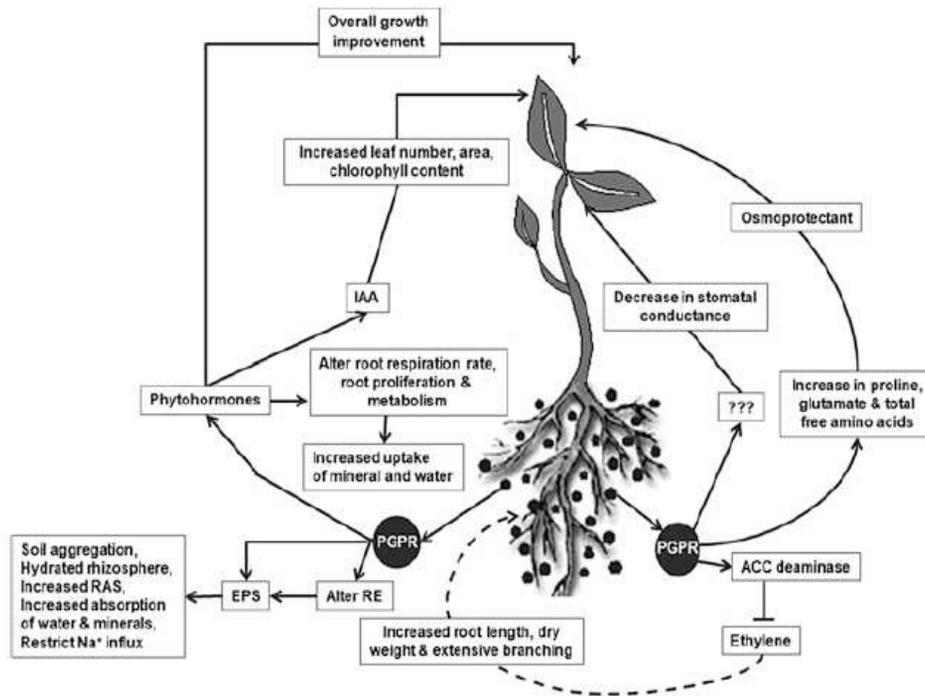


Figura 12. Mecanismos de mejora de la fertilidad del suelo a través de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Fuente: Egamberdieva *et al.*, 2015.

La disponibilidad de humedad es un factor crítico en el suelo para la colonización de PGPR en la rizósfera. Las rizobacterias asociadas con las raíces están involucradas en la síntesis de un gran número de biomoléculas que se conjuntan con el suelo y mejoran la salud del mismo (Sharma *et al.*, 2017). En este sentido, en condiciones climáticas húmedas o secas, el pH del suelo puede fluctuar mucho. La gran cantidad de lluvia en un área tropical reduce significativamente el pH del suelo por lixiviación de cationes alcalinos como el Ca y Ton, o mejora los procesos de meteorización, que finalmente resultan en la producción de óxidos de hierro y aluminio con una alta afinidad por el intercambio catiónico con la solución de suelo. En condiciones de clima seco, hay una alta concentración de cationes alcalinos en el suelo, incluidos Ca y Ton, que aumentan considerablemente el pH del suelo. La acidez del suelo puede afectar: (1) el crecimiento de

la planta y la producción del rendimiento, (2) la población y actividades microbianas, (3) la disponibilidad de nutrimentos del suelo y (4) las actividades de patógenos (Miransari, 2011).

Las PGPR modifican la fisiología de las plantas y las propiedades nutricionales y físicas del suelo rizosférico. Se ha demostrado que las rizobacterias incrementan la absorción de elementos nutritivos como Ca, K, Fe, Cu, Mn y Zn a través de la bomba de protones ATPasa (Bhattacharyya y Jha, 2012). Este aumento en la absorción de nutrimentos por las plantas podría explicarse a través de la producción de ácidos orgánicos por las plantas y PGPR, disminuyendo el pH del suelo en la rizósfera (Glass *et al.*, 2002). En la actualidad es importante la actividad de las PGPR en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Tabassum *et al.*, 2017); por ejemplo, las rizobacterias ayudan a la solubilización de los nutrimentos no disponibles y a facilitar su absorción (Glick, 1995). Por lo tanto, la aplicación de bioinoculantes en programas de fertilización de los cultivos aumenta la materia orgánica del suelo, lo que modifica la actividad de las comunidades microbianas del suelo, induciendo cambios en el conjunto de carbono orgánico del suelo. Los procesos inducidos por los bioinoculantes en las propiedades biológicas del suelo varían de uno a otro y juegan un papel importante en el estado de la fertilidad de éste y en la estabilización del carbono orgánico, lo que a su vez afecta sus propiedades y la productividad de las especies vegetales (Buragohain *et al.*, 2017).

Por otra parte, la materia orgánica del suelo es fundamental en la conservación y restauración del mismo a largo plazo. Los compuestos orgánicos disueltos tienen un papel principal en el suministro de  $\text{NH}_4^+$  derivado del suelo, regulan las transformaciones del N fijado biológicamente y ayudan mantener un equilibrio en la relación C/N. El suelo que tiene un nivel bajo de materia orgánica, si se inocula con PGPR puede dar mejores rendimientos. La agregación del suelo es un factor físico importante en su fertilidad, lo que contribuye a la retención y movimiento del agua. La producción de exopolisacáridos por algunas PGPR aumenta la agregación y la fertilidad. La aplicación de PGPR que produce exopolisacáridos también ayuda a aumentar el rendimiento de los cultivos en suelo afectado por factores ambientales tales como la sequía y el estrés por salinidad (Qurashi y Sabri, 2012; Arora *et al.*, 2017; Van Oosten *et al.*, 2017).

## Conclusión

La contaminación del ambiente y la disminución en la productividad de los cultivos agrícolas se han convertido en un problema importante, a un ritmo sin precedentes. La dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos, los cuales provocan un efecto negativo en la salud humana, además de alterar el equilibrio ecológico en la rizósfera del medio radical de las plantas, ha propiciado la búsqueda de sistemas de producción sustentable que reduzcan el suministro de agroquímicos. Ante esta situación, los bioinoculantes a base de PGPR pueden ayudar a mitigar el problema de la pérdida de la fertilidad del suelo y disminuir el suministro

de agroquímicos en los sistemas de producción agrícola, así fortalecer el enfoque de la agricultura sostenible es de vital importancia, asimismo, comprender los aspectos útiles de los bioinoculantes, ya que su aplicación representa una alternativa biotecnológica moderna para disminuir la existente tensión ambiental.

## Literatura citada

- Ahemad, M., & Khan, M.S. (2010). *Pseudomonas aeruginosa* strain PS1 enhances growth parameters of greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] in insecticide-stressed soils. *Journal of Pest Science*, 84(1), 123-131. doi: 10.1007/s10340-010-0335-0
- Ahemad, M., & Khan, M. S. (2012). Alleviation of fungicide-induced phytotoxicity in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] using fungicide-tolerant and plant growth promoting *Pseudomonas* strain. *Saudi J Biol Sci*, 19(4), 451-459. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.06.003
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. doi: 10.1016/j.jksus.2013.05.001
- Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiol Res*, 163(2), 173-181. doi: 10.1016/j.micres.2006.04.001
- Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S., & Shahid, M. (2017). Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of tomato. In A. Zaidi & M. S. Khan (Eds.), *Microbial strategies for vegetable production* (pp. 125-149). Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I., & Abdelmoneim, T. S. (2013). Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi J Biol Sci*, 20(1), 57-61. doi: 10.1016/j.sjbs.2012.10.004
- Amara, U., Khalid, R., & Hayat, R. (2015). Soil bacteria and phytohormones for sustainable crop production *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem* (pp. 87-103): Springer.
- Arora, N. K., Verma, M., & Mishra, J. (2017). Rhizobial Bioformulations: Past, Present and Future *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation* (pp. 69-99): Springer.
- Ashrafuzzaman, M., Akhtar, H. F., Razi, I. M., Anamul, H. M., Zahurul, I. M., Shahidullan, S. M., & Meon, S. (2009). Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(7), 1247-1252.

- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol Lett*, 32(11), 1559-1570. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 233-266. doi: 10.1146/
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factores*, 13(1), 1-10.
- Bhattacharjee, R. B., Singh, A., & Mukhopadhyay, S. N. (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol*, 80(2), 199-209. doi: 10.1007/s00253-008-1567-2
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal Microbiology Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. doi: 10.1007/s11274-011-0979-9
- Buragohain, S., Sarma, B., Nath, D. J., Gogoi, N., Meena, R. S., & Lal, R. (2017). Effect of 10 years of biofertiliser use on soil quality and rice yield on an Inceptisol in Assam, India. *Soil Research*. doi: 10.1071/sr17001
- Caballero-Mellado, J. (2006). Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 154-161.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
- Camelo-Rusique, M., Moreno-Galvan, A., Romero-Perdomo, F., & Bonilla-Buitrago, R. (2017). Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Rev Argent Microbiol*, 49(3), 289-296. doi: 10.1016/j.ram.2016.06.005
- Camelo, R. M., Vera, M. S. P., & Bonilla, B. R. R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 159-166.
- Castagno, L. N., Estrella, M. J., Sannazzaro, A. I., Grassano, A. E., & Ruiz, O. A. (2011). Phosphate-solubilization mechanism and in vitro plant growth promotion activity mediated by *Pantoea eucalypti* isolated from *Lotus tenuis* rhizosphere in the Salado River Basin (Argentina). *J Appl Microbiol*, 110(5), 1151-1165. doi: 10.1111/j.1365-2672.2011.04968.x

- Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Rev Argent Microbiol*, 49(3), 207-209. doi: 10.1016/j.ram.2017.07.001
- Das, A. J., Kumar, M., & Kumar, R. (2013). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): An alternative of chemical fertilizer for sustainable, environment friendly agriculture. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 1(4), 21-23.
- De Vleeschauwer, D., & Höfte, M. (2009). Rhizobacteria-induced systemic resistance. *Advances in Botanical Research*, 51, 223-281. doi: 10.1016/s0065-2296(09)51006-3
- Díaz, V. P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz, S. J. J., & Alcántar, G. G. (2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 327-335.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 107-149. doi: 10.1080/713610853
- Egamberdieva, D., Shrivastava, S., & Varma, A. (2015). *Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants* (Vol. 42): Springer.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R., & Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima acc desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 251-238.
- García, S. I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2001). Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Can J Microbiol*, 47(5), 404-411. doi: 10.1139/w01-029
- Gianfreda, L. (2015). Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2), 283-306.
- Glass, A. D., Britto, D. T., Kaiser, B. N., Kinghorn, J. R., Kronzucker, H. J., Kumar, A., Unkles, S. E. (2002). The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *J Exp Bot*, 53(370), 855-864.
- Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol*, 41(2), 109-117.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica (Cairo)*, 2012, 963401. doi: 10.6064/2012/963401
- Goswami, D., Thakker, J. N., Dhandhukia, P. C., & Tejada Moral, M. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). doi: 10.1080/23311932.2015.1127500
- Hariprasad, P., & Niranjana, S. R. (2008). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and Soil*, 316(1-2), 13-24. doi: 10.1007/s11104-008-9754-6

- Hartmann, A., Rothballer, M., & Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant Soil*, 312, 7-14. doi: 10.1007/s11104-007-9514-z
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of Macronutrients. In M. s. M. N. o. H. Plants (Ed.), *Mineral nutrition of higher plants* (pp. 135-189). Elsevier Ltd., Amsterdam, The Netherlands.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology*, 60(4), 579-598. doi: 10.1007/s13213-010-0117-1
- Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L., & Ricaño-Rodríguez, J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Rev Argent Microbiol*. doi: 10.1016/j.ram.2017.04.003
- James, E. K., & Baldani, J. I. (2012). The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels. *Plant and Soil*, 356(1-2), 1-3. doi: 10.1007/s11104-012-1317-1
- Jha, B. K., Gandhi Pragash, M., Cletus, J., Raman, G., & Sakthivel, N. (2008). Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(4), 573-581. doi: 10.1007/s11274-008-9925-x
- K+S KALI GmbH. (2012). <http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/products/>
- Kai, M., & Piechulla, B. (2009). Plant growth promotion due to rhizobacterial volatiles--an effect of CO2? *FEBS Lett*, 583(21), 3473-3477. doi: 10.1016/j.febslet.2009.09.053
- Kang, S. M., Khan, A. L., You, Y. H., Kim, J. G., Kamran, M., & Lee, I. J. (2014). Gibberellin production by newly isolated strain *Leifsonia soli* SE134 and its potential to promote plant growth. *J Microbiol Biotechnol*, 24(1), 106-112.
- Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2006). Phytohormones: microbial production and applications. In N. Uphoff (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systms.* (pp. 207-220). Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis/CRC.
- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S., & Rasheed, M. (2009). Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production *J. Agric. Biol. Sci*, 1(1), 48-58.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1), 29-43. doi: 10.1051/agro:2006011

- Kloepper, J. W., Gutierrez-Estrada, A., & McInroy, J. A. (2007). Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal Microbiology*, 53(2), 159-167. doi: 10.1139/w06-114
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In Gilbert-Clorey (Ed.), *Proceeding of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria* (Vol. 2, pp. 879-882). France.
- Kuman, A., Prakash, A., & Johri, B. N. (2011). *Bacillus* as PGPR in Crop Ecosystem. In D. K. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in Agrobiolgy* (pp. 37-59). Springer. Heidelberg, Germany.
- López, L. V., Cruz, H. M. A., Fernández, D. S., & Mendoza, H. A. (2015). Diversidad bacteriana en raíces de maíz híbrido convencional y genéticamente modificado. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 85, 233-243.
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol*, 63, 541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918
- MacMillan, J. (2002). Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi, and bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20, 387-442.
- Minorsky, P. V. (2007). On the Inside. *Plant Physiology*, 146(2), 323-324. doi: 10.1104/pp.104.900246
- Miransari, M. (2011). Soil microbes and plant fertilization. *Appl Microbiol Biotechnol*, 92(5), 875-885. doi: 10.1007/s00253-011-3521-y
- Mishra, J., & Arora, N. K. (2016). Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: a sustainable approach. In N. K. Arora, S. Mehnaz & R. Balestrini (Eds.), *Bioformulations for sustainable agriculture* (pp. 3-33). Springer, New Delhi.
- Mishra, J., Singh, R., & Arora, N. K. (2017). Plant Growth-Promoting Microbes: Diverse Roles in Agriculture and Environmental Sustainability. 71-111. doi: 10.1007/978-981-10-3473-2\_4
- Molina, R. D., Bustillos, C. M. d. R., Rodríguez, A. O., Morales, G. Y. E., Santiago, S. Y., Castañeda, L. M., & Muñoz, R. J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de la DES Ciencias Biológicas Agropecuarias*, 17(2), 24-34.
- Nadeem, S. M., Naveed, M., Zahir, Z. A., & Asghar, H. N. (2013). Plant-microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In N. K. Arora (Ed.), *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances* (pp. 51-103). India: Springer.
- Narula, N., Kothe, E., & KumAR, B. R. (2009). Rol of root exudates in plant-microbe interactions. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 83, 122-130.

- Noumavo, A. P., Agbodjato, N. A., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A., & Baba-Moussa, L. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria: beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology*, 15(27), 1452-1463. doi: 10.5897/ajb2016.15397
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11). doi: 10.1007/s11274-017-2364-9
- Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., & López-Bucio, J. (2014). The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 4(8), 701-712. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- Ortiz, T. J. A., Delgadillo, M. J., Rodríguez, M. M. d. I. N., & Calderón, Z. G. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 177-185.
- Pérez, E., Sulbarán, M., Ball, M. M., & Yarzábal, L. A. (2007). Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(11), 2905-2914. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.017
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Reviews Phytopathology*, 52, 347-375. doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340
- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S., & Crecchio, C. (2015). Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*, 51(4), 403-415. doi: 10.1007/s00374-015-0996-1
- Qurashi, A. W., & Sabri, A. N. (2012). Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(3), 1183-1191.
- Reddy, P. P. (2014). *Plant growth promoting rhizobacteria for horticultural crop protection*. Bangalore, Karnataka, India: Springer.
- Richardson, E. A. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28, 897-906.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339.
- Rodríguez, H., Fraga, R., González, T., & Bashan, Y. (2006). Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant and Soil*, 287(1-2), 15-21. doi: 10.1007/s11104-006-9056-9

- Römheld, V., & Neumann, G. (2006). The rhizosphere: Contributions of the soil-root interface to sustainable soil systems. In U. N (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systems* (pp. 92-107). CRC Press, Taylor and Francis, Oxford.
- Rubio, L. M., & Ludden, P. W. (2008). Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annu Rev Microbiol*, 62, 93-111. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162737
- Saharan, B. S., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sciences and Medicine Research*, 21, 1-30.
- Sharma, I. P., Chandra, S., Kumar, N., & Chandra, D. (2017). PGPR: Heart of Soil and Their Role in Soil Fertility (pp. 51-67).
- Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech*, 7(4), 255. doi: 10.1007/s13205-017-0896-1
- Sosa, P. (2015). El largo y sinuoso camino de la Química. *Educación Química*, 26(4), 263-266. doi: 10.1016/j.eq.2015.09.006
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2009). Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Advances in Botanical Research*, 51, 283-320. doi: 10.1016/s0065-2296(09)51007-5
- Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Iqbal Khan, M. S., Shahid, N., & Aaliya, K. (2017). Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology*, 121, 102-117. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.09.030
- Tjamos, E. C., Tjamos, S. E., & Antoniun, P. P. (2010). Biological management of plant diseases: Highlights on research and application. *Journal of Plant Pathology*, 92(4), 17-21.
- Tsavkelova, E. A., Cherdyntseva, T. A., Klimova, S. Y., Shestakov, A. I., Botina, S. G., & Netrusov, A. I. (2007). Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Arch Microbiol*, 188(6), 655-664. doi: 10.1007/s00203-007-0286-x
- Tsavkelova, E. A., Klimova, S. Y., Cherdyntseva, T. A., & Netrusov, A. I. (2006). Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 42(2), 117-126. doi: 10.1134/s0003683806020013
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moenne-Loccoz, Y., Muller, D., Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front Plant Sci*, 4(1), 1-19. doi: 10.3389/fpls.2013.00356

- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1). doi: 10.1186/s40538-017-0089-5
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. *Molecules*, 21(5). doi: 10.3390/molecules21050573
- Velázquez, E., García-Fraile, P., Ramírez-Bahena, M.-H., Rivas, R., & Martínez-Molina, E. (2010). Bacteria involved in nitrogen-fixing legume symbiosis: current taxonomic perspective *Microbes for legume improvement* (pp. 1-25): Springer.
- Vessey, K. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
- Weston, L. A., Ryan, P. R., & Watt, M. (2012). Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *J Exp Bot*, 63(9), 3445-3454. doi: 10.1093/jxb/ers054
- Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1), 155-166. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.07.003
- Yaxley, R. J., Ross, J. J., Sherriff, J. L., & Reid, B. J. (2001). Gibberellin biosynthesis mutations and root development in pea. *Plant Physiology*, 125, 627-633.
- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M. S., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae*, 193, 231-239. doi: 10.1016/j.scienta.2015.07.020

# Solarización de estiércol bovino y su impacto en la producción de maíz

José Guadalupe González Quirino<sup>1</sup>, Enrique Salazar Sosa<sup>2,3</sup>, Ana Alejandra Valenzuela García<sup>4</sup>, Manuel Fortis Hernández<sup>3</sup>, Ignacio Orona Castillo<sup>4</sup>

## Resumen

La Comarca Lagunera es una cuenca con más de 400,000 cabezas de ganado bovino. Es una de las regiones con más estiércol producido, que rebasa los 2 millones de kilogramos por día base seca. Por lo anterior, el reciclado apropiado de este abono orgánico es determinante para mejorar la fertilidad natural del suelo y, como consecuencia, su calidad, así como incrementar o mantener la producción de un cultivo determinado en invernadero o campo. El objetivo del presente estudio fue determinar el método de uso y aprovechamiento del estiércol para su uso en una agricultura convencional, sustentable y/u orgánica, específicamente en maíz forrajero. El método de solarización se llevó a cabo con muestras de estiércol de ocho diferentes establos y se compararon éstas con estiércol solarizado a uno y seis meses, con tres repeticiones cada uno, respectivamente. El estudio realizado en maíz forrajero se realizó en el campo de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FAZ-UJED). Se mejoraron las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo; se alargó el calendario de riego en un 15 % debido a que el estiércol fermentado amortiguó las pérdidas de agua en el suelo por percolación y evaporación. Además de lo anterior, el estiércol solarizado permitió la eliminación de patógenos lo cual es una garantía de que este método es

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Torreón, Coahuila.

<sup>2</sup> Autor para correspondencia (enmageel1@yahoo.es).

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Ejido Ana, Coahuila.

<sup>4</sup> Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Ejido Venecia, Gómez Palacio, Dgo.

una buena alternativa para todo tipo de agricultura, incluyendo la orgánica. Los resultados fueron ampliamente significativos, demostrándose que el efecto de la solarización elimina totalmente las bacterias y hongos presentes en el estiércol así como las malezas.

A través de los años, la materia orgánica (MO) se incrementó en todos los tratamientos de estiércol y, en promedio de los diez años, los tratamientos de 160 y 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado incrementaron 189 y 180 % la MO en el suelo, terminaron con 4 y 3.8 % de MO. Similar a la concentración de MO en el suelo, los nitratos también se incrementaron en todos los tratamientos donde se aplicó estiércol, siendo los mejores los de 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 t kg<sup>-1</sup>.

La conductividad eléctrica después del segundo año de aplicación (1999) se incrementó considerablemente (arriba de 4 dS m<sup>-1</sup>) debido a la alta concentración de sales en el estiércol, siendo los tratamientos de 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol los más altos con valores de 8 dS m<sup>-1</sup> o más en el sexto año de estudio (2003), y a través de descanso, es decir, suspensión de la aplicación en el 2004 se logró disminuir éstos a niveles inferiores a 4 dS m<sup>-1</sup>, lo cual indica que el monitoreo del suelo es necesario.

Palabras clave: estiércol, solarizado, invernadero.

## Introducción

La población mundial presenta un incremento continuo, de tal manera que para el 2050 se espera tener aproximadamente 9 billones de habitantes (UNFPA, 2004; Naciones Unidas, 2003), lo cual demandará, aparte de requerir alimentos para su consumo diario, productos lo más sanos (inocuos) posible para una buena salud y calidad de vida (Figura 1). Por lo que se requiere que desde este momento se realicen cambios en los sistemas de producción actuales, ya que se producen sin ningún control y llevan el riesgo no sólo de incrementar costos de producción, sino además de no ser los productos más adecuados desde el punto de vista de la inocuidad alimentaria. Es así como la agricultura, desde cualquier punto de vista, deberá ser más eficiente en cantidad y calidad de los productos por unidad de superficie, porque si la tendencia sigue siendo la de disminuir área de siembra, pero mayor demanda de alimentos, los esfuerzos por buscar nuevas alternativas más rentables deberán ser más insistentes, rápidos y viables (Figura 2).

Por otra parte, los recursos suelo y agua han sido utilizados en sistemas de producción convencional de una manera intensiva e irracional, sin tomar en cuenta su deterioro y baja fertilidad en el caso del suelo. En cuanto al agua, su cantidad y método de aplicación no son los más adecuados, lo que ha contribuido a un uso y aprovechamiento ineficiente, por lo que se debe de regresar al suelo lo que se ha extraído a través del tiempo, utilizando abonos orgánicos y buenas prácticas agrícolas, entre otros. Con respecto al agua, aplicarla en cantidad y distribución donde la planta lo necesita, es decir, cambiando los métodos de riego

tradicionales de gravedad a presurizados y más eficientes. Estos conceptos son parte de lo que la agricultura orgánica sustentable considera para la producción agrícola eficiente y ecológicamente estable en una región determinada.

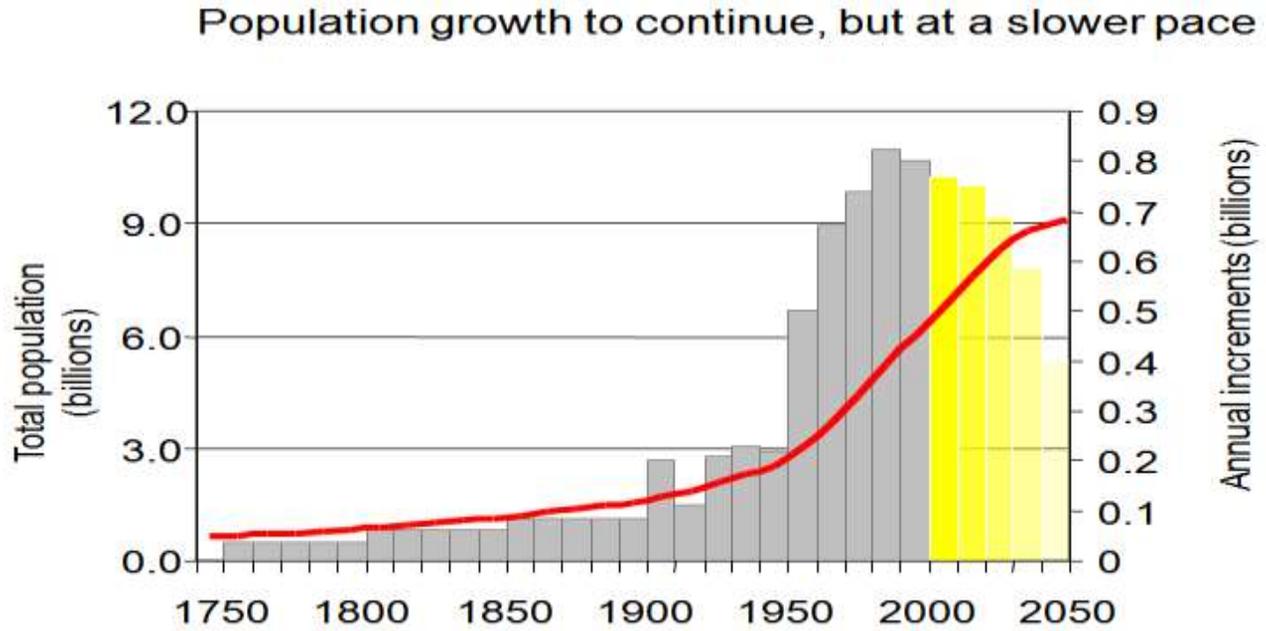


Figura 1. Población mundial al 2050

Fuente: UNFPA, 2004.

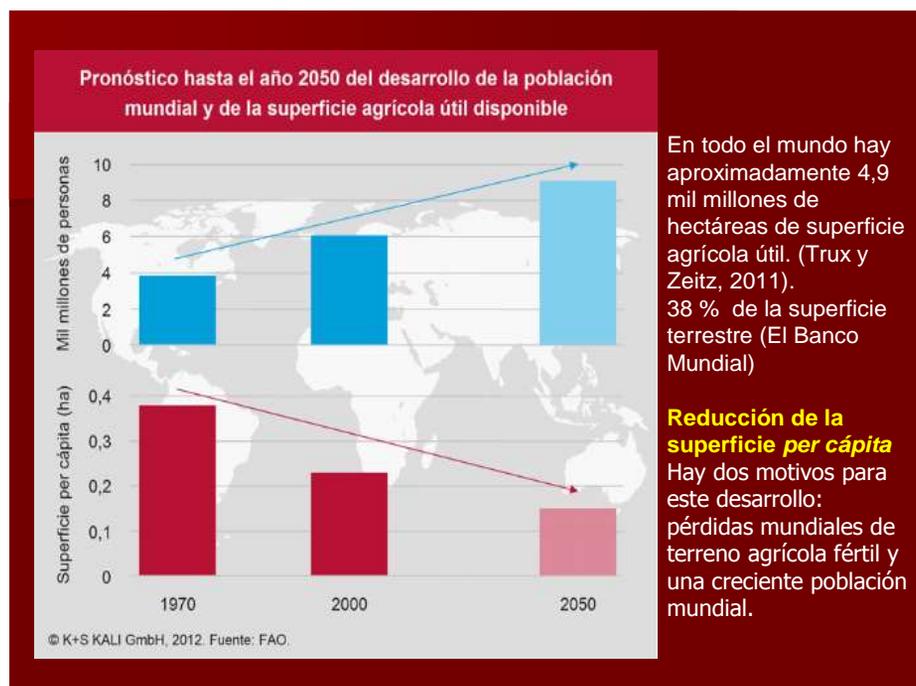


Figura 2. Incremento de la población y decremento de la superficie del suelo a nivel mundial

Fuente: FAO; tomado de K+S KALI GmbH, 2012.

Está comprobado que la aplicación de abonos orgánicos resulta ventajosa y eficiente para mejorar las características químicas, biológicas y físicas del suelo, pero su uso tiene los siguientes inconvenientes:

- Falta de conocimiento técnico para aprovechar los residuos de cosechas, estiércoles, agua, etcétera.
- No se aplica una dosificación adecuada de estiércoles.
- Desconocimiento técnico sobre el efecto de la aplicación continua de estiércoles al suelo.
- Desconocimiento técnico sobre el grado de biodegradación del estiércol a través del tiempo, así como su impacto en la planta.

Además, son una fuente posible de contaminantes químicos y biológicos con los que se deberá tener especial cuidado al utilizarlos, como la aplicación activa y no pasiva de esos abonos, y así garantizar su uso en cuanto a pureza e inocuidad, por lo que pasterizar o solarizar son métodos viables que sí garantizan lo anterior.

En este sentido, el objetivo principal de este trabajo es describir el concepto de solarizar abonos orgánicos y sus ventajas y alcances en el país.

Cuadro 1. Agencias certificadoras en el estado de Chiapas, México

Agencia	Número de organizaciones	
	Total	%
Certimex	109	48.66
Ocia	22	14.73
Naturland	26	11.61
Certimex/Imo control/Naturland	16	7.14
Bioagricentert/Bioagricoop	11	4.91
Certimez/Imo control	4	1.79
Certimex/Naturland	4	1.79
Demeter Association	3	1.34
Certimez/Imo control/Naturland	2	0.89
Certimex/Imo control/Ocia	2	0.89
Certmex/Ocia	3	1.34
Imo control/Naturland	2	0.89
Imo control/Naturland/Ocia	2	0.89
Naturland/Ocia	2	0.89
Bcs/Imo Control/Naturland/Ocia	1	0.45
Bioagricentert/Bioagricoop/Certimex	1	0.45
Certimex/Imo control/Naturland/Ocia	1	0.45
Certimex/Imo control/Ocia/QAI	1	0.45
Demeter Association/Ocia	1	0.45
Total	213	100.00

Fuente: Martínez *et al.*, 2008.

### ***Situación actual de la agricultura en el país***

- Mercado interno en etapa incipiente:
  - 15 % de la producción orgánica se consume dentro del país,
  - 5 % se vende como orgánica, el resto como convencional.
- Desconocimiento total de la producción orgánica hasta su mercado y certificación.
- Desconocimiento del concepto Inocuidad alimentaria.

- Falta de financiamiento para:
  - funcionamiento diario de mercados orgánicos,
  - capacitación y educación sobre agricultura orgánica,
  - certificación, principalmente en pequeños productores.
- Publicidad y oferta local de productos orgánicos.
- Desconocimiento de normas y procesos de certificación.
- Educación, investigación y transferencia de tecnología en todos los niveles sobre agricultura orgánica.
- Políticas públicas claras que alienten a una reconversión de agricultura convencional hacia una agricultura orgánica.

### **Definición de agricultura orgánica (IFOAM, 1996)**

Codex Alimentarius la define como un sistema de producción que promueve e incrementa la salud del agroecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.

IFOAM (1996) (International Federation Organic of Agriculture Movements) señala que engloba todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico.

La Norma Chilena señala que es un sistema integral de producción agropecuaria basado en prácticas de manejo ecológico, cuyo objetivo principal es alcanzar una productividad sostenida con base en la conservación y/o recuperación de los recursos naturales.

### ***Principios de la agricultura orgánica (IFOAM, 2005)***

- Principio de la salud. La agricultura orgánica debe sostener y promover la salud del suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible.
- Principio de la ecología. La agricultura orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, imitarlos y ayudar a sostenerlos.
- Principio de la equidad. La agricultura orgánica debe estar basada en relaciones que aseguren equidad con respecto al ambiente común y a las oportunidades de vida.
- Principio de precaución. La agricultura orgánica debe ser gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes, futuras y el ambiente.

### **Diagrama conceptual del sistema de producción orgánica**

En el diagrama a continuación se aprecian claramente todos los componentes importantes que comprende la agricultura orgánica, desde luego, también su certificación.



Figura 3. Diagrama conceptual del sistema de producción orgánica

Fuente: Salazar *et al.*, 2004.

### **Abonos orgánicos y biofertilizantes**

La parte más elemental de la nutrición vegetal son los abonos orgánicos y biofertilizantes en la agricultura orgánica tropical y de otras áreas. Sin embargo, se debe tener cuidado con la relación carbono:nitrógeno (C/N) de cada abono orgánico, así como de sus estructuras bioquímicas, ya que dependiendo de estos factores será la disponibilidad de nutrientes en la planta, y desde luego que se debe tener en mente que

todos los nutrimentos derivados de la descomposición y biodegradación de los abonos orgánicos estarán disponibles para la planta y microorganismos, principalmente los que están en la rizósfera, que por lo general siempre están en estado de hambre y son mayoría que los pelos absorbentes de las plantas y demás conductos de absorción de iones por éstas. Así, los abonos orgánicos, en resumen, influyen, además de nutrientes, en la calidad del suelo, afectando sus características físicas, químicas y biológicas; también son posibles contaminantes de microorganismos patógenos como hongos, bacterias, actinomicetos y protozoarios como el *Giardia* y *Cryptosporidium* (Olivas-Enríquez et al., 2011), entre otros (Figuras 4, 5 y 6).

Algunas de las bacterias patógenas para humanos encontradas en abonos orgánicos son las indicadas en la figura 7. El *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* son parásitos zoonóticos distribuidos en todo el mundo, incluyendo los países en vías de desarrollo (Figuras 8 y 9), infectan a más del 20 % de la población mundial y producen ooquistes resistentes al ambiente, sobreviviendo mucho tiempo en agua tratada (clorada), después de la potabilización, hasta por seis meses, y causan diarreas crónicas.



Figura 4. Alta concentración de estiércol

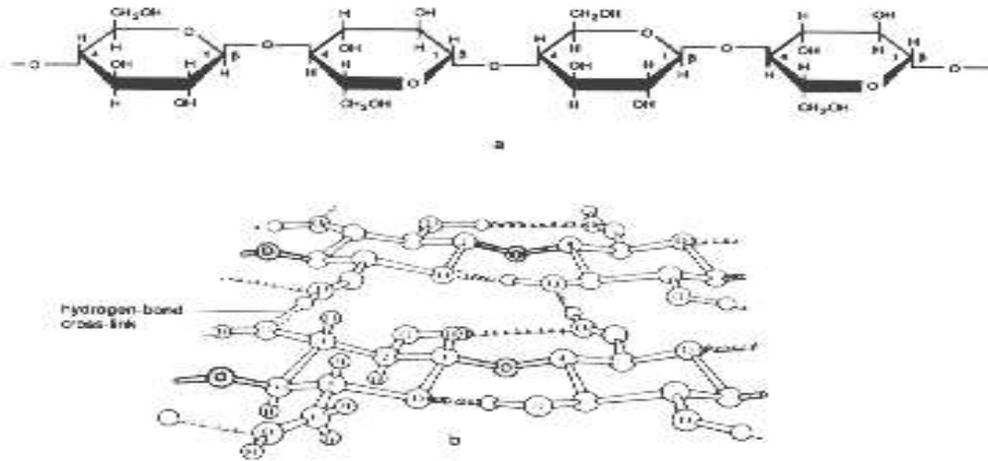


Figura 5. Estructura bioquímica de la celulosa



Figura 6. Fuentes de materia orgánica

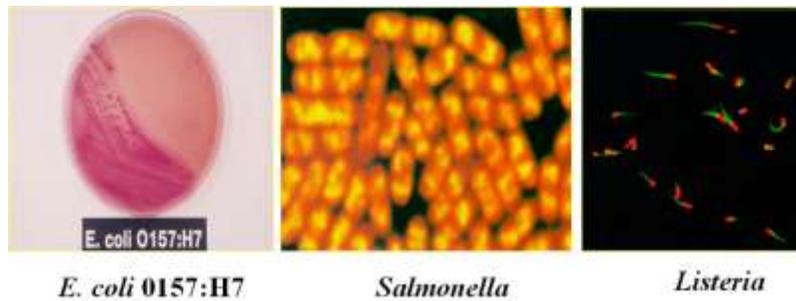
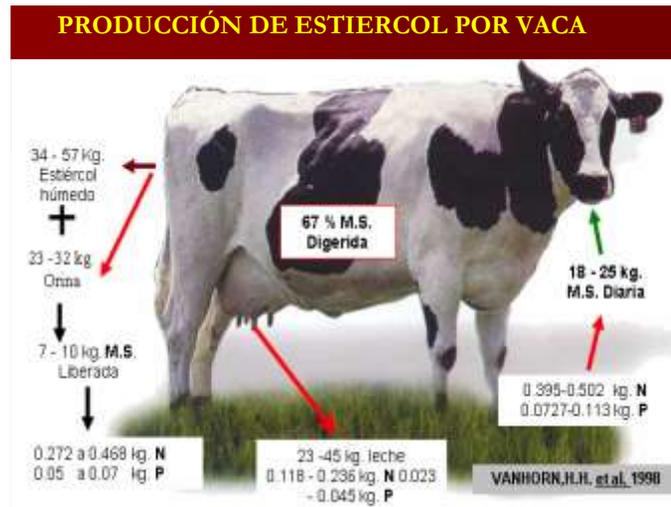


Figura 7. Bacterias patógenas



Figura 8. *Cryptosporidium parvum*



Figura 9. *Giardia lamblia*

Dado lo anterior, todo abono orgánico para ser utilizado como fuente nutrimental o con otros fines en agricultura orgánica debe ser tratado con un método activo y no pasivo para garantizar que todos los posibles patógenos que tengan sean aniquilados y eliminados (Salazar *et al.*, 2011). Un método viable es la solarización con plástico que tenga alta transmisibilidad de energía, permitiendo así que en el abono orgánico las temperaturas alcancen niveles de más de 60 °C, y bajo estas condiciones más un determinado por ciento de humedad en el abono orgánico, entre 30 y 40 %, no habrá duda que en todo el perfil de la pila de solarización se eliminarán los patógenos presentes (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2011) (Figuras 10A, 10B y 11).



Figuras 10A y 10B. Comportamiento de la temperatura en una pila de abono no solarizado y pila de solarización, cubierta de plástico sencillo

Los biofertilizantes se presentan en el mercado en un gran número de marcas, con diferentes ventajas para el productor, pero se debe tener mucho cuidado sobre su inocuidad y alcances, ya que algunos de ellos contienen microorganismos que vendrán a competir con los nativos, que son mayoría y que pueden disminuir su eficacia, de tal manera que es preferible probarlos en campo y observar su eficacia en la nutrición vegetal antes de invertir cantidades altas de dinero. Por otro lado, todas las compostas y otros abonos orgánicos que tengan un proceso deberán justificar su inocuidad presentando un análisis microbiológico completo.

Es común que un solo abono orgánico (estiércol, abono verde, vermicompost, etcétera) no tenga los nutrientes suficientes para satisfacer la demanda nutrimental de la planta, por lo que se deberá de buscar la

manera de combinarlos e, inclusive, utilizar micorrizas, ya que éstas exploran áreas más amplias que las raíces de los cultivos, permitiendo así proporcionar a la planta los nutrientes necesarios para satisfacer las necesidades de éstos (Figura 11).



Figura 11. Micorrizas e inoculación de la semilla

Fuente: Tomado de INIFAP, 2010.

El cuadro 2 muestra algunos cultivos tropicales y sus necesidades de nutrimentos (archivo agronómico No 3, 2012; OIRSA, 2012), los cuales tienen que garantizar que con abono orgánico completan estas necesidades de nutrientes, pero se deberá tener mucho cuidado con la asimilación microbiana, pérdidas por lixiviación, gas, entre otros. De tal manera que una de las perspectivas de la agricultura orgánica en zonas tropicales será asegurarse del buen uso y aprovechamiento de los abonos orgánicos a través de la experimentación en campo, ya que los perfiles del suelo y cultivares, entre otros, tienen una influencia directa en el uso y aprovechamiento de nutrientes derivados de la descomposición de cualquier abono orgánico aplicado al suelo.

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de algunos cultivos

Cultivo	Cosecha	N (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	K <sub>2</sub> O (kg)	CaO (kg)	TonO (kg)	S (kg)
Algodón	1 t ha <sup>-1</sup>	120	19.7	74.7		24.1	20
Caña (por corte)	100 t ha <sup>-1</sup>	110	71	290	57	48	60
Piña	35 t ha <sup>-1</sup>	35	7	88	11	4	
Coco		232	83.6	251	16.6	51	215
Cacao	4° año en adelante	210	90	270		75	125
Maíz grano	9 t ha <sup>-1</sup>	198	36	171	27	27	36
Trigo grano	30 t ha <sup>-1</sup>	150	25	95	15	15	23
Arroz	6 t ha <sup>-1</sup>	133	19	157	17	14	6
Soya grano	4 t ha <sup>-1</sup>	320	32	132	64	36	28
Girasol grano	3.5 t ha <sup>-1</sup>	140	17.5	98	63	38.5	17.5
Café (1665 litros)	30 fanegas	43	8.36	48.1	11.24	4.67	2.33
1 FANEGA = 55.5 LITROS							

Fuente: Archivo agronómico núm. 3, 2012; OIRSA, 2012.

### ***Inocuidad***

La Comisión Codex Alimentarius<sup>5</sup> (CCA) define la inocuidad como la garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinen. La Organización Mundial de la Salud retoma esta definición en su manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos (OMS, 2007). Por lo tanto, un alimento es considerado sustancia o producto destinado a ser ingerido por los seres humanos o con probabilidades razonables de serlo, tanto si han sido transformados entera o parcialmente, como si no lo han sido. Así, un alimento inocuo es por lo tanto aquel que está libre de agentes contaminantes que puedan dañar la salud de los consumidores de manera inmediata (por ejemplo, bacterias patógenas) o de mediano y largo plazo (micotoxinas, residuos de pesticidas, entre otras). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentos (FAO), un contaminante es un agente biológico o químico, materia extraña u otra sustancia añadida de manera no intencional a los alimentos o una propiedad de estos que pueda poner en peligro su inocuidad (FAO, 2004).

<sup>5</sup> Es un órgano intergubernamental que se reúne cada dos años para adoptar proyectos de normas alimentarias preparadas por más de 20 comités especializados. El objeto de estas normas y textos afines es proteger la salud del consumidor y asegurar la aplicación de prácticas equitativas en el comercio de los alimentos. La Comisión del Codex fue establecida de manera conjunta a principios de los años 60 por la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los alimentos pueden contaminarse de manera natural o debido a malas prácticas en su manejo en cualquier etapa desde la producción hasta su disposición final en la mesa del consumidor; puede suceder al entrar en contacto con el suelo, el agua de riego, la lluvia, el aire, algunos abonos orgánicos, agroquímicos, personas portadoras, materiales de empaque, animales domésticos y silvestres, maquinaria y equipo, entre otros elementos.

Lo inocuo es un atributo de calidad que, a diferencia de los externos o internos, está escondido dificultando enormemente su control. La inocuidad es un área en la cual se pueden establecer normas o estándares obligatorios (Leos-Rodríguez *et al.*, 2008).

En general, los contaminantes o peligros que pueden estar presentes en los alimentos se agrupan en microbiológicos, químicos y físicos.

### ***Agricultura orgánica***

Es factible y necesario incrementar cultivos, predios y productores que se dediquen a la agricultura orgánica sin descuidar los aspectos señalados en esta publicación, considerando el aspecto de la certificación con los puntos que se señalan, y así realmente garantizar ante el consumidor y mercados nacionales e internacionales que se trata de productos realmente orgánicos en zonas tropicales, lo cual es factible y rentable.

Aspectos a considerar en la certificación de productos orgánicos

Recomendaciones mínimas a cubrir antes de solicitar la certificación orgánica por primera vez.

**Se debe entender que la lista más apropiada es respetar todos y cada uno de los “estándares” de la normatividad, es decir, del programa en el que se pretende lograr la certificación, entre estos programas, los más importantes son los de Estados Unidos (NOP-USDA), la Unión Europea (EU) y Japón (JAS).**

a) Parcela

1. El terreno que se pretende certificar debe tener al menos tres años de operaciones 100 % orgánicas. Es decir, tres años en los que no se hayan utilizado productos o prácticas no permitidas en la agricultura orgánica y con el uso continuo de sustancias, materiales y prácticas permitidas. Es indispensable contar con toda clase de comprobantes que avalen lo anterior: facturas, etiquetas, bitácoras, envases.
2. Debe de encontrarse en el terreno una adecuada rotación y biodiversidad.
3. El terreno deberá contar con suficiente “zona de amortiguamiento” para estar protegido en contra de contaminaciones accidentales de parcelas convencionales vecinas.

4. No es obligatorio, pero se recomienda que esté cercado.
5. Además de las prácticas de manejo orgánico, se debe respetar la normatividad de inocuidad y lo que se conoce como buenas prácticas agrícolas (BPA's), como el hecho de contar con áreas de higiene adecuadas y alejadas del terreno de producción.
6. El terreno debe contar con letreros visibles que indiquen que es ORGÁNICO y que se deben respetar ciertas prohibiciones, por ejemplo: “NO FUMAR”, “LAVARSE LAS MANOS ANTES DE ENTRAR”

### Documentación

1. Plan de finca del año actual. Programa de manejo considerando la mayor cantidad de detalles posible acerca del manejo nutricional, el manejo de plagas y enfermedades, semillas y variedades, agua, etcétera. Uno de los aspectos más importantes del plan de finca es la rotación de cultivos y la biodiversidad.
2. De cada uno de los aspectos mencionados en el punto 1 se deberá contar con su propia documentación; por ejemplo:
  - 2.1. Del manejo nutricional. Si se utilizan compostas se deberá contar con facturas de compra, certificaciones que hayan acompañado la compra, preferentemente con certificación orgánica, resultados de análisis, etcétera. En caso de que se elaboren en la propia finca, se deberá contar con las bitácoras de elaboración de la misma con registros diarios de temperatura, humedad, nombre del operador, entre otros. Si se usan abonos verdes también se deberá contar con bitácoras de producción o documentación de adquisición.
  - 2.2. Del manejo de plagas. Se deberá utilizar y tener la documentación comprobatoria de la mayor cantidad de prácticas de manejo de plagas permitidas en la agricultura orgánica: liberación de enemigos naturales, aplicación de extractos botánicos, uso de atrayentes o repelentes permitidos, etcétera y, asimismo, contar con documentos comprobatorios de cada uno.
  - 2.3. Lo mismo para todos los demás aspectos del manejo (enfermedades, maleza, semillas, manejo de poscosecha y almacenaje, etcétera).
  - 2.4. Historiales de campo de los últimos tres años. Se deberá incluir toda la información en forma similar al plan de finca; es decir, todos los detalles posibles del manejo de nutrición, plagas, entre otros.
  - 2.5. Mapas de parcela de todas las parcelas (mostrando uso de tierra colindante e identificación de parcelas).
  - 2.6. Etiquetas de productos e insumos.
  - 2.7. Documentación de semillas.

2.8. Análisis de suelo y análisis foliares.

2.9. Análisis de residuos en vegetales.

2.10. Análisis de agua.

2.11. Bitácoras de manejo de equipos y maquinaria (registros de limpieza y productos utilizados).

2.12. Cuando se solicite la certificación a alguna agencia de certificación, ésta solicitará el llenado de varios formatos con toda clase de información respecto al uso y manejo completo de la parcela. Solicitará también declaraciones juradas acerca de diferentes aspectos como no-uso de organismos genéticamente modificados, entre otros.

### Personal de campo

1. Los encargados del trabajo de campo deben conocer los fundamentos y la normatividad orgánica.
2. Los encargados de campo deben contar con una copia de los estándares del programa para el que se desea solicitar la certificación.

Para complementar lo anterior se presentan resultados de investigación en maíz forrajero en la Comarca Lagunera utilizando estiércol solarizado.

### ***Uso y aprovechamiento de estiércol***

#### a) Producción de maíz forrajero

Como cualquier otro cultivo, el maíz requiere de una cantidad suficiente de nutrientes adecuados para satisfacer sus necesidades. Esta cantidad es absorbida del suelo, la cual varía en tiempo y disponibilidad por la fertilidad natural del mismo. Los principales nutrientes que demanda este forraje se encuentran de manera deficiente en el suelo, los cuales pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes, ya sea químicos u orgánicos (estiércoles y/o residuos de cosecha). Es importante mencionar que el uso de fertilizantes químicos ha incrementado el costo de producción de los cultivos y puede contaminar el suelo y el agua, principalmente con nitratos, por lo que las fuentes orgánicas son una opción que debe ser investigada (Salazar *et al.*, 2007).

Respecto a la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos estos generan cambios distintos sobre las propiedades del suelo, ya que tienen características propias, éstas deben tenerse en cuenta en las estrategias para un manejo integral de la materia orgánica del suelo. Los estiércoles incorporan una mezcla rica en nutrientes en tanto que las heces, generalmente, van mezcladas con la orina y son de fácil mineralización por los microorganismos (Salazar *et al.*, 2011).

Romero *et al.* (2000) mencionan que los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y han sido muy efectivos, sin embargo, hay que considerar la variación en cuanto a su composición química y el aporte de nutrimentos que proporciona al cultivo, ya que ésta depende de su procedencia, edad, manejo y humedad.

En este sentido, cuando se dispone de algún desecho orgánico, es necesario buscar la manera más adecuada de aprovecharlo, dosificándolo e incorporándolo al suelo adecuadamente para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos para el mejor desarrollo de la planta e incrementar su productividad, cuidando siempre de no contaminar el ambiente (Salazar *et al.*, 2003).

En la región lagunera el maíz forrajero ocupa un lugar importante en el patrón de cultivos por el alto rendimiento energético que aporta a las reacciones para ganado bovino lechero. Actualmente, la producción promedio de forraje de maíz por hectárea es de 45 toneladas de forraje fresco y 15 toneladas de forraje seco. Figueroa *et al.* (2001) mencionan que las estrategias que se han empleado en la Comarca Lagunera para incrementar la producción han sido variadas, entre las que destacan la utilización de variedades e híbridos más eficientes en el uso del agua, arreglos topológicos, densidades de población, así como la utilización de abonos orgánicos; no obstante, es necesario seguir desarrollando investigación en estos últimos.

#### b) Rendimiento de forraje de maíz

En el cuadro 3 se muestran las producciones obtenidas del año 2000 al 2007. En los años 2000 y 2001 los tratamientos de 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol fueron iguales al tratamiento de fertilizante químico, lo cual indica que compiten con él desde los primeros años; sobresalen los tratamientos 160 y 120 t ha<sup>-1</sup> en los años 2000 y 2001, respectivamente con 85.7 y 89.8 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde cada año. Para los años 2002 y 2003 los tratamientos de estiércol fueron superiores al testigo sin estiércol y al tratamiento químico; en ambos años el tratamiento que sobresalió fue el de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, con 84.3 y 67.2 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde.

Cuadro 3. Producción de forraje de maíz con tratamientos de estiércol, un control (cero aplicación) y un testigo químico (100-150-00), CAE-FAZ-UJED, 2000-2007

Tratamientos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	Peso verde (t ha <sup>-1</sup> )							
0 t ha <sup>-1</sup>	29.31 b	40.1 c	29.74 b	28.29 c	24.79 c	25.83 c	27.77 c	27.28 c
40 t ha <sup>-1</sup>	50.42 b	50.1 b	80.75 a	56.74 a	86.28 a	62.64 b	56.38 a	67.56 a
80 t ha <sup>-1</sup>	71.54 a	89.2 a	77.04 a	63.34 a	85.09 a	72.81 a	56.38 a	70.93 a
120 t ha <sup>-1</sup>	84.61a	89.8 a	84.27 a	67.22 a	75.84 a	71.60 a	42.22 b	73.51 a
160 t ha <sup>-1</sup>	85.73 a	57.3 a	81.09 a	53.75 a	77.11 a	66.74 a	52.75 a	69.89 a
100-150-00	54.78 a	87.4 a	65.34 b	49.10 b	61.11 b	54.59 b	54.17 a	52.86 b
DMS	32.55	36.96	24.52	15.38	11.05	14.44	12.93	13.55

Fuente: Salazar *et al.*, 2007.

Del 2004 al 2006 las más altas producciones se presentaron en el tratamiento de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol con 85, 72.8 y 56.4 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde, respectivamente; en 2004, los tratamientos de estiércol son iguales entre sí y superiores al testigo y al tratamiento químico. En 2005 los tratamientos de 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol se comportaron estadísticamente iguales entre sí, pero superiores al resto de los tratamientos. En el año 2006 las producciones fueron bajas: el tratamiento de 120 t ha<sup>-1</sup> fue estadísticamente inferior al resto de los tratamientos de estiércol y al tratamiento químico.

En 2007 los tratamientos de estiércol fueron iguales entre sí y superiores a los demás, siendo el de 180 t ha<sup>-1</sup> de estiércol el tratamiento de mayor producción con 73.5 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde. De acuerdo al comportamiento registrado durante el período de estudio, en la figura 12 se muestra que el mejor tratamiento fue el de 120, seguido del tratamiento de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol. Esto coincide con los resultados encontrados por Salazar *et al.* (2007).

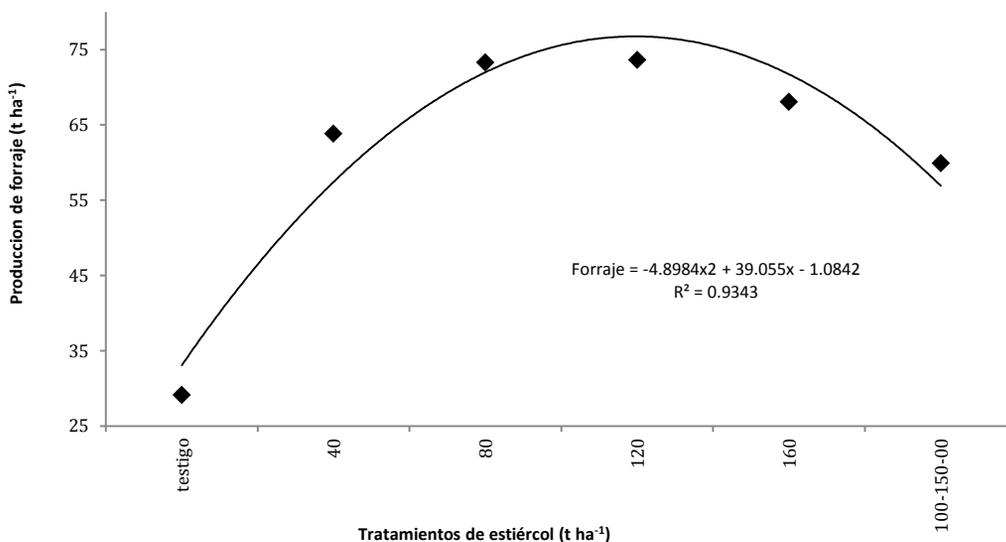


Figura 12. Tendencia de producción de forraje de maíz en diferentes tratamientos de estiércol, un tratamiento químico y un testigo

### c) Concentración de nitratos en el suelo

Las concentraciones de nitratos en el perfil del suelo muestran cantidades muy diferentes en cada tratamiento de estiércol, sin embargo, en todos se apreció una tendencia a la baja en las profundidades de 180 y 210 cm. Para el tratamiento testigo (0 t ha<sup>-1</sup> de estiércol) la concentración más alta de nitratos se encontró en la profundidad de 60 cm, con 72.4 t kg<sup>-1</sup>. Para los estratos 7.5 y 15 cm las concentraciones oscilan entre 6.5 y 53.5 t kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, a partir de la profundidad de 90 cm, los nitratos tienden a disminuir con una concentración máxima de 19.9 t kg<sup>-1</sup> para el mismo tratamiento testigo. Para el tratamiento de 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado al suelo la máxima concentración está en la profundidad de 15 cm con 239 t kg<sup>-1</sup>; a más profundidad la tendencia es a la baja, con una mínima concentración a los 180 cm (36.5 t kg<sup>-1</sup>). El tratamiento de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol muestra su máxima concentración a la profundidad de 15 cm con 320.9 t kg<sup>-1</sup>, la máxima profundidad exhibe en 210 cm con 37.2 t kg<sup>-1</sup>, mientras que la mínima concentración está en 150 cm de profundidad, con 17 t kg<sup>-1</sup>.

En el tratamiento de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol la máxima concentración se encontró a los 7.5 cm de profundidad, con 325.8 t kg<sup>-1</sup>; la mínima está en 120 cm, con 19.9 t kg<sup>-1</sup>. Para el tratamiento de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, la máxima concentración está en 15 cm de profundidad con 261.8 t kg<sup>-1</sup>, mientras que la mínima en 150 cm, con 4.2 t kg<sup>-1</sup>. Para el estrato de 7.5 y 15 cm las concentraciones fueron de 111.8 y 158 t kg<sup>-1</sup>, respectivamente. El tratamiento de fertilizante químico (100-150-00), en maíz, mostró su máxima concentración en 15 cm de profundidad, con 87.1 t kg<sup>-1</sup> y la mínima en 180 cm, con 2.6 t kg<sup>-1</sup>. Resultados parecidos reportan Figueroa *et al.*, (2001), quienes encontraron concentraciones de hasta 60 kg ha<sup>-1</sup> a 180 cm de profundidad en un suelo arcilloso limoso. Por otra parte Figueroa (2001), en un experimento de alfalfa, encontró concentraciones de hasta 140 kg ha<sup>-1</sup>.

Las concentraciones más altas de nitratos se localizan en los estratos menos profundos debido a que en los estratos superiores se encuentra mayor número de microorganismos por las condiciones favorables de aireación, humedad y temperatura necesarias en su actividad enzimática para una alta mineralización; además es en estos estratos donde se encuentra presente el estiércol. Salazar *et al.* (2011) reportan resultados similares en un trabajo de tomate.

Teasdale y Abdul Baki (1995) y Salazar *et al.* (2003) coinciden en que la temperatura óptima para la actividad enzimática de los microorganismos se encuentra en los estratos superiores (0-15 cm de profundidad). En el tratamiento de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol se manifiesta un pico de más de 150 t kg<sup>-1</sup> de nitrato a una profundidad de 180 cm; en el tratamiento de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol a una profundidad de 90 cm, se observa un pico de 250 t kg<sup>-1</sup> de nitrato, estos picos se deben posiblemente a la lixiviación del ion nitrato con las lluvias, debido a que a esta profundidad no existen las condiciones mínimas necesarias para la degradación, pero lo más probable es que, dada la heterogeneidad de los perfiles de suelo, sólo en este tratamiento se

observó este efecto porque si el suelo fuera homogéneo sería igual en todos los tratamientos. En cuanto al testigo (cero aplicación) se observa que presenta las más bajas concentraciones prácticamente en todas las profundidades, lo que explica los bajos rendimientos del maíz con este tratamiento.

#### d) Concentración de amonio en el suelo a diferentes profundidades

Para el tratamiento control la máxima concentración se localizó a 7.5 cm con  $16.95 \text{ t kg}^{-1}$ , y la mínima se presentó a 90 cm, con  $3.69 \text{ t kg}^{-1}$ . Para el tratamiento de  $40 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol la máxima concentración se presentó a 7.5 cm, con  $19.63 \text{ t kg}^{-1}$ , y la mínima a 90 cm de profundidad, con  $3.35 \text{ t kg}^{-1}$ . En el tratamiento de  $80 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol la concentración más alta está a 7.5 cm con  $18.91 \text{ t kg}^{-1}$  y la mínima concentración se encontró a 150 cm de profundidad, con  $2.87 \text{ t kg}^{-1}$ . En el tratamiento de  $120 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol, la más alta concentración apareció a 60 cm ( $21.31 \text{ t kg}^{-1}$ ) y la mínima está en 90 cm ( $4.45 \text{ t kg}^{-1}$ ). El tratamiento de  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol mostró la máxima concentración a los 7.5 cm, con  $17.72 \text{ t kg}^{-1}$  y la mínima a 120 cm de profundidad, con  $2.87 \text{ t kg}^{-1}$ . Para la fertilización recomendada (100-150-00) en maíz, la máxima concentración se registró a 7.5 cm de profundidad con  $14.46 \text{ t kg}^{-1}$ , y la mínima a 180 cm, con  $3.83 \text{ t kg}^{-1}$ . En general, la concentración del amonio tiende a bajar después de los 30 cm de profundidad debido a que la mayor actividad microbiológica se presenta precisamente en ese estrato, ya que la mineralización decrece conforme aumenta la profundidad en el suelo, principalmente porque las condiciones de desarrollo bacteriológico son más limitadas.

#### e) Concentración de materia orgánica en el suelo

En todos los tratamientos de estiércol los porcentajes más altos se observaron en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad. Los más altos valores se obtuvieron en los tratamientos de 120 y  $160 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol a la profundidad de 7.5 cm, con 5.65 y 5.52 %, respectivamente; mientras que el testigo (sin estiércol) apenas contiene el 2.07 % a 7.5 cm y 2.21 % a 15 cm de profundidad, respectivamente. Lo anterior refleja el efecto del estiércol sobre el incremento de materia orgánica en el suelo, debido principalmente a su alta concentración. Esto explica el porqué en los tratamientos de estiércol se observa un incremento de la materia orgánica después de cuatro años de estar aplicando las mismas dosis en el mismo sitio, debido a la biodegradación del estiércol, ya que éste contiene más del 5 % de MO. La aplicación apropiada de abonos orgánicos en suelos agrícolas aumenta el reciclaje de nutrientes y la conservación del agua (Walker, 1999). La descomposición de MO depende de los microorganismos presentes, y es un concepto general de una secuencia completa de procesos muy detallados en los cuales los organismos utilizan los compuestos orgánicos como fuente de alimento (Ross, 1989).

Los beneficios de la MO en suelos agrícolas son físicos, químicos y biológicos, ya que mejoran la estructura, evitan la compactación y la erosión, aumentan la retención de humedad y mejoran la capacidad de intercambio catiónico, como lo reportan Castellanos *et al.* (1996) señalan que la mayoría de los suelos contienen menos de 1.6 % de MO, pero en suelos muy áridos el porcentaje es menor de 1 %, y en suelos donde se ha aplicado estiércol consecutivamente en dosis de más de 100 t ha<sup>-1</sup> la concentración puede llegar a 5 % o más (Salazar *et al.*, 2003).

#### f) Conductividad eléctrica

En los tratamientos de 0 y 40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado, así como en el de fertilizante químico, se presenta la más baja conductividad eléctrica (CE) con valores de entre 3.65 dS m<sup>-1</sup> en el testigo, y 7.16 dS m<sup>-1</sup> como máximo en el tratamiento donde se aplicó estiércol con 80 t ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol registran valores de CE, en el estrato de 0-15 cm, mayores a los límites permisibles, que son de 4 dS m<sup>-1</sup>. Castellanos *et al.* (1996) encontraron que, a medida que se incrementa la cantidad de estiércol que se aplica al suelo, la conductividad eléctrica aumenta debido a que una tonelada de estiércol contiene alrededor de 50 kilogramos de sales. Los valores para el tratamiento de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado en el mismo estrato van de 12.8 a 13.1 dS m<sup>-1</sup>. Para el tratamiento de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol los valores fueron de 9.62 a 13.5 dS m<sup>-1</sup>. En el tratamiento de 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol los valores oscilan entre 12.22 y 12.85 dS m<sup>-1</sup>. Estos valores sugieren que el uso y manejo del estiércol se realice con extremo cuidado para no contaminar el suelo con sales comerciales e, inclusive, después de dos años de aplicar el estiércol monitorear el suelo al menos tres meses antes de la siembra y bajar la dosis de estiércol a aplicar o, bien, no aplicar sino hasta el siguiente año.

## Conclusiones y recomendaciones

A través de los años la MO se incrementó en todos los tratamientos de estiércol y, en promedio de los diez años, los tratamientos de 160 y 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado incrementaron 189 y 180 % la MO en el suelo, terminaron con 4 y 3.8 % de MO. Similar a la concentración de MO en el suelo, los nitratos también se incrementaron en todos los tratamientos donde se aplicó estiércol, siendo los mejores los de 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, con valores finales de 22.25 y 21.33 t kg<sup>-1</sup>.

La conductividad eléctrica después del segundo año de aplicación (1999) se incrementó considerablemente (arriba de 4 dS m<sup>-1</sup>) debido a la alta concentración de sales en el estiércol, siendo los tratamientos de 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup> de estiércol los más altos, reportando valores de 8 dS m<sup>-1</sup>, o más, en el

sexto año de estudio (2003), y a través de descanso, es decir, suspensión de la aplicación, en el 2004 se logró disminuir estos a niveles inferiores a  $4 \text{ ds m}^{-1}$ , lo cual indica que el monitoreo del suelo es necesario cuando se aplica estiércol para mantener un nivel de sales que no afecte al cultivo.

El pH del suelo presentó bajas y altas alternadas en los valores, terminando con los valores que inició, de 8.0 a 8.3, resultando más altos los valores de los tratamientos de 120 y 160  $\text{t ha}^{-1}$  de estiércol aplicado, respectivamente.

Es importante resaltar que con 80  $\text{t ha}^{-1}$ , o más, desde el año 2000 hasta el 2007, los tratamientos de estiércol fueron superiores en rendimiento al testigo, e iguales o superiores al tratamiento químico (2003, 2004, 2005 y 2007). Lo anterior demuestra la bondad del estiércol convirtiéndose en una excelente alternativa para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo.

## Literatura citada

- Archivo agronómico núm. 3., OIRSA. 2012. Consultado el 11/06/2012. <http://www.google.com.mx/#hl=es-19&output=search&client=psy-ab&q=archivo+agronomico+no.3>.
- Castellanos, J. Z.; Marquez-Ortiz, J. J.; Etchevers-Barra, J. D.; Aguilar-Santelises, A., Salinas, J. R., 1996. Long-term effect of dairy manure on forage yields and soil properties in an arid irrigated region of Northern Mexico. *Terra (México)* 14: 151-158.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2004. Mejoramiento de la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas: un enfoque práctico y manual. Manual para multiplicadores, Roma.
- Figueroa V. U., Faz C.R; Quiroga G., H. M., Cueto W., J. A. 2001. Optimización del uso de estiércol bovino en cultivos forrajeros y riesgos de contaminación por nitratos. Informe de investigación. Campo Experimental La Laguna. CIRNOC-INIFAP, p.40. Matamoros, Coahuila.
- IFOAM (International Federation Organic of Agriculture Movements). 1996. Normas básicas para la Agricultura y el Procesamiento de Alimento Ecológicos, Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica. [www.agendaorganica.cl/](http://www.agendaorganica.cl/) (Consultado en diciembre del 2007).
- IFOAM. 2005. Los principios de la Agricultura Orgánica. On line en: [http://www.ifoam.org/about\\_ifoam/pdfs/POA\\_folder\\_spanish.pdf](http://www.ifoam.org/about_ifoam/pdfs/POA_folder_spanish.pdf). Revisado el 3 de diciembre del 2007.
- Leos-Rodríguez, J.A., Salazar S., E., Fortis H.M., López M. J.D., 2008. Inocuidad Alimentaria. Publicación Especial. FAZ-UJED. 153p.

- Martínez A., F. B., Aguilar J., C. E., Galdámez G., J., Gutiérrez M., A., Mendoza P., S., 2008. La agricultura orgánica en Chiapas. II seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e inocuidad, Almería, 8 p.
- Martínez, H. E., Fuentes E., J. P., Acevedo H., E., 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sc. Plant Nutr. (Chile) 8(1): 68-96.
- Olivas-Enríquez, E., Flores-Margez, J. P., Mónica Serrano-Alamillo, Eréndira Soto-Mejía, Jaime Iglesias-Olivas, Enrique Salazar-Sosa y Manuel Fortis-Hernández, 2011. Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río bravo. Terra Latinoamericana 29:4 449-457.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), 2007. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos. Departamento de inocuidad de los alimentos, zoonosis y enfermedades de transmisión alimentaria, Ginebra.
- Romero-Lima, M. R., Trinidad-Santos, A, García-Espinosa, R. And Ferrera-Cerrato, R., 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. Agrociencia. 34(3):261-269.
- Ross, S. 1989. Soil proceses: a Systematic aproach. Chapinan ant Hall inc New York, N.Y. p. 39-74.
- Salazar S., E., Beltrán M., A., Fortis H., M., Leos R., J. A., Cueto W., J. A., Vázquez V., V., Peña C., J. J., 2003. Mineralización de nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. TERRA (México). 21:569 – 575.
- Salazar S., E., Fortis H., M., López-Martínez, J. D., Muños Alvarado, C. L., Lara Macías, M. E., Amado Álvarez, J. P., Vázquez Vázquez, C., Trejo Escareño, H. I., Chavarría Galicia, J. A., 2011. Comparison among solarization kind of pails and their impact in the control of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science. 1(9) 355-364.
- Salazar S., E., Trejo E. H., I., Vázquez V., C., López, M. J. D., 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. Rev. Int. Bot. Exp. (Argentina). 76: 169-185.
- Salazar-Sosa, E.; Vázquez-Vázquez, C., Leos-Rodríguez, J. A., Fortis-Hernández, M., Montemayor-Trejo, J. A., Fgueroa-Viramontes, R., López-Martínez, J. D., 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. Rev. Int. Bot. Exp. (Argentina). 73:259-273.
- Teasdale, J.R. and A.A. Abdul – Baki, 1995. Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:848-853.
- UNFPA. 2004. Working from Within: Culturally Sensitive Approaches in UNFPA Programming. Nueva York. UNFPA.

- Vázquez-Vázquez, C, Gallegos-Robles, M. A, Fortis-Hernández, M., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., Trejo-Escareño H., I, García-Hernández, J. L., 2011. Cattle manure solarization with transparent plastic to pathogens control. *Journal of research in Biology*. 7: 528-534.
- Walker, D.J., Bernal, M.P. 1999. The effect of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a high saline soil. *Bioresource Technology* 23: 120-128.

## Experiencias en el manejo orgánico del suelo

Gustavo Mercado Mancera<sup>1,2</sup>, Ana Karen Granados Mayorga<sup>2</sup>, Román Álvarez Orozco<sup>3</sup>,  
Celia Elena Valencia Islas<sup>2</sup>, Jesús Navejas Jiménez<sup>4</sup>, Amilkar Isidro González Valladarez<sup>5</sup>

### Resumen

La agricultura orgánica es una opción para resarcir la disminución de la fertilidad de los suelos por el uso excesivo de fertilizantes químicos y para mantener en niveles óptimos el rendimiento de los cultivos. El presente estudio tuvo como objetivo evidenciar el efecto del manejo orgánico de los cultivos y del suelo; para ello, se muestran datos en cultivos de frijol, amaranto, girasol y avena forrajera, los cuales se fertilizaron con fuentes orgánicas en una parcela que tiene 20 años con este manejo. Los cultivos se han manejado en condiciones de temporal. Se ha observado que la fertilidad del suelo se mejora a través del tiempo aplicando fuentes orgánicas al suelo, entre el 1 y 1.5 % de MO mayor, y 20 % de incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con respecto al manejo convencional. Los rendimientos de cultivos se mantienen con la aplicación de humus y lixiviados de lombricomposta y biofertilizantes. En el cultivo de frijol representó 20 % más en rendimiento de grano. Los rendimientos en girasol y avena forrajera superaron a la fertilización química; se obtuvieron 15 y 20 % más de rendimiento de grano y forraje, respectivamente. El manejo orgánico del suelo permitió mantener el rendimiento del cultivo de amaranto semejante a la aplicación con biofertilizante. Se concluye que el manejo orgánico del suelo con fines agrícolas permite mantener los rendimientos de los cultivos con respecto a la aplicación de fertilizantes inorgánicos y, en algunos casos, superar el rendimiento. Este manejo orgánico debe considerar la rotación de cultivos, la incorporación de residuos de cosecha

---

<sup>1</sup> Autor responsable (gmercado@unam.mx).

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

<sup>3</sup> Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

<sup>4</sup> Investigador Titular INIFAP-CETODS-BCS. La Paz, B.C.S.

<sup>5</sup> LombriMX. Zumpango, Estado de México.

y de abonos orgánicos, lo cual repercutirá en la economía de los productores y en beneficio del medio ambiente.

Palabras clave: lixiviados, composta, suelo, biofertilizantes.

## Introducción

Las técnicas de la agricultura actual están basadas en el modelo de la “Revolución verde”, por lo que se tiene un enfoque de producción intensivo (Pérez, 2006). Se sabe que con este modelo de producción se generó un cambio en las regulaciones energéticas. Estos cambios son provocados por el desgaste paulatino que ocurre con una producción sucesiva que, con el paso del tiempo, provoca que el agroecosistema dependa en gran medida de la aplicación de energía externa. La energía externa se presenta en forma química y se le conoce como fertilizantes, los cuales además de contaminar el ambiente aumentan los costos de producción (Ferrera y Alarcón, 2001).

Aunado al uso excesivo de fertilizantes sintéticos y agroquímicos, otros factores que provocan la disminución de los niveles de fertilidad y la erosión de los suelos son: la implementación del monocultivo, la eliminación de nichos naturales en el paisaje rural, la ampliación de lotes agrícolas para la técnica moderna, el entubado de arroyos, el descuido de los abonos orgánicos, la tala inmoderada de bosques y la falta de la cobertura vegetal (Pérez, 2006). El Codex Alimentarius (1999) define agricultura orgánica como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la salud del agroecosistema, de la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.

El empleo de microorganismos que viven en intercambio con las plantas es una de las áreas de estudio que ha impactado la agricultura en las últimas décadas, son una alternativa emergente a los productos químicos, para incrementar la fertilidad y producción de cultivos en agroecosistemas sustentables (Castañeda *et al.*, 2013); ya que las nuevas variedades de alto rendimiento exigen mejores condiciones de cultivo y altos niveles de fertilización (Rueda *et al.*, 2009).

Los abonos orgánicos son otra opción para reducir significativamente el uso de fertilizantes químicos, los cuales permiten satisfacer la demanda de nutrimentos de los cultivos (Rodríguez *et al.*, 2009), además, mejoran las características del suelo (Nieto *et al.*, 2002). Salazar *et al.* (2010) determinaron el efecto residual de seis años de aplicación continua de estiércol bovino en el rendimiento de maíz forrajero y en las características de fertilidad del suelo. Encontraron que después de estos años de aplicación continua de estiércol, los tratamientos con la aplicación de 40 y 80 Mg ha<sup>-1</sup> permitieron los mayores rendimientos de forraje verde.

Aguilar *et al.* (2012) identificaron el efecto de la vermicompost y el déficit de humedad en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); encontraron que se modificaron algunas características físicas

y químicas del suelo, como el aumento de la porosidad, disminución de la lámina de agua, disminución del pH y aumento de la conductividad eléctrica, modifica el sistema suelo-planta y disminuye los efectos del estrés por déficit de humedad. Por su parte, Cairo y Álvarez (2017) evaluaron el efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya [*Glycine max* (L.) Merr.], donde indicaron que con la aplicación de estiércol descompuesto se originó un incremento significativo en la agregación, y se logró en el suelo un cambio de categoría de regular (52.96 %) a buena (66.95 %).

Diversos estudios han mostrado los beneficios consistentes de los ácidos húmicos (AH) sobre el crecimiento de las plantas, en condiciones de suplementación del requerimiento total de minerales, lo que sugiere que los efectos sobre el crecimiento son independientes de la nutrición. Además, forman parte de la materia orgánica y corresponden a la fracción de sustancias húmicas solubles en un medio alcalino (Guerra *et al.*, 2008). Borges y Altoé (2015) aplicaron ácidos húmicos extraídos de lombricomposta, en girasol ornamental, y determinaron un incremento del 22 % en la altura de los tallos de las flores; además el aumento en el diámetro del tallo, acumulación de materia fresca en flores y tallos, y materia seca en hojas. Por su parte, Reyes *et al.* (2016) evaluaron la aplicación de humatos de vermicompost como atenuantes del efecto de la salinidad en la emergencia y crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Con la aplicación de humatos de vermicompost se estimuló la tasa, porcentaje de emergencia y variables morfométricas de variedades de albahaca en condiciones de salinidad. El objetivo de este trabajo es evidenciar el efecto del manejo orgánico de los cultivos y del suelo, a lo largo del tiempo.

## Materiales y métodos

Las investigaciones de campo se han realizado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. La zona se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intraestival; el mes más caliente es junio, con poca oscilación térmica; con una temperatura media anual de 15.2 °C; 612.1 mm de precipitación anual; con un período de bajo riesgo de helada de 208 días; el total de días con helada al año es de 28 (Rodríguez, 2014). Los suelos en general se clasifican como vertisol, el suelo es de color gris, pH de 7.0. El contenido de materia orgánica varía entre 2 y 4 % en función del manejo que se ha realizado en la parcela. Dos mil metros cuadrados de la parcela han sido manejados sin la utilización de agroquímicos en los últimos 20 años aproximadamente, sólo se ha incorporado los residuos de cosecha y aplicado a los cultivos diversas fuentes nutrimentales de origen orgánico (Mercado *et al.*, 2013).

Se han establecido diversos cultivos como frijol, calabacita, calabaza, girasol, maíz, amaranto, avena forrajera, entre otros. Todos ellos se han sometido a diversas fuentes nutrimentales, tales como: humus

(8.69 t ha<sup>-1</sup>) y lixiviados de lombricomposta (260 L ha<sup>-1</sup>), composta (14.3 t ha<sup>-1</sup>), biofertilizantes [3.0 kg ha<sup>-1</sup> de Micorrizafer (*Glomus intraradice*)] y 0.4 kg ha<sup>-1</sup> de Azofer (*Azospirillum brasilense*). En general se aplicaron al momento de la escarda, y para el caso de los lixiviados fue en forma foliar, en una o dos aplicaciones. Asimismo, las variables evaluadas van encaminadas a analizar los componentes de rendimiento de cada cultivo.

## Resultados y discusión

Se obtuvieron respuestas positivas a la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas. Sobresale la respuesta de la aplicación de lixiviados vs químico en el cultivo de avena forrajera, con 91.0 y 73.9 t ha<sup>-1</sup> de materia en base húmeda, respectivamente (López, 2016). Con la aplicación de estos lixiviados y además con biofertilizante, el cultivo de frijol ha presentado rendimientos mayores a parcelas donde no se han aplicado fertilizantes e, incluso, han sobrepasado los rendimientos donde se aplicó urea; por ejemplo, Granados y Vizcarra (2018), en el cultivo de girasol, reportan que el rendimiento de grano fue de 3.75 t ha<sup>-1</sup> con biofertilizante, en comparación con la fertilización química donde se cosecharon 3.66 t ha<sup>-1</sup>.

En el caso de frijol, las experiencias en campo han mostrado que la aplicación de lixiviados de lombricomposta superaron 1.5 t ha<sup>-1</sup>, rendimiento superior al 0.8 t ha<sup>-1</sup> del promedio nacional, en condiciones de **temporal. En la variedad “ojo de cabra”** se obtuvo más de 25 % de rendimiento de grano cuando se aplicó composta de estiércol bovino. En la figura 1 se presentan los resultados de la respuesta de los cultivos a la fertilización orgánica, durante varios ciclos de cultivo.

Cabe mencionar que la fertilización orgánica ha mantenido los rendimientos y, en ocasiones, superado a los tratamientos donde no se aplica fertilización alguna. Esto muestra las ventajas que representa este sistema de fertilización, que además representa una disminución de costos de producción, puesto que los costos de los insumos orgánicos son mucho más bajos que los costos de los fertilizantes químicos (Granados y Vizcarra, 2018).

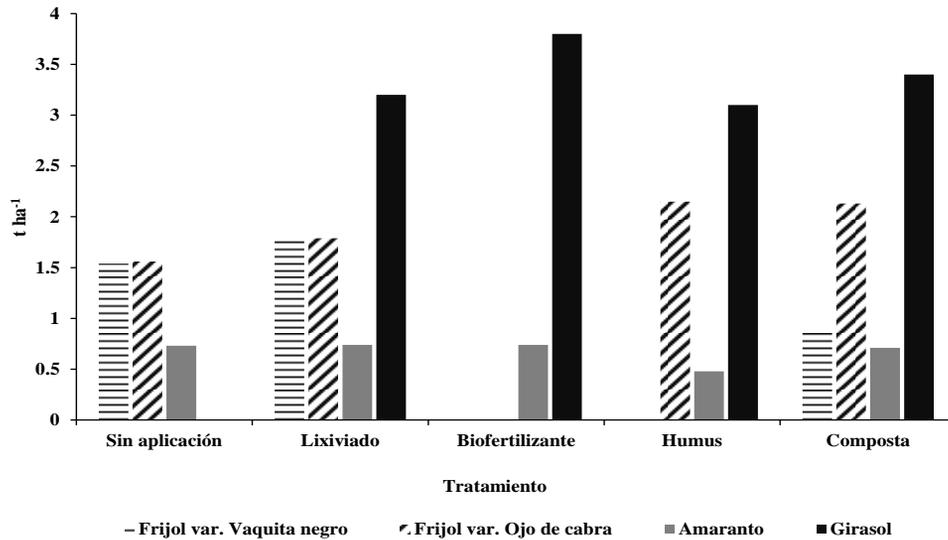


Figura 1. Rendimiento de grano de varios cultivos bajo fertilización orgánica, Cuautitlán Izcalli, Estado de México

Bajo un manejo orgánico, el suelo también presenta ventajas de fertilidad, comparado con un suelo donde se aplican fertilizantes inorgánicos. Mercado *et al.* (2014) mencionaron que el manejo del suelo con fines agrícolas debe considerar la rotación de cultivos y la incorporación de residuos de cosecha y de abonos orgánicos. En la figura 2 se muestra el contraste de un suelo con manejo orgánico y otro con manejo convencional (Mercado *et al.*, 2015).

El porcentaje de materia orgánica (MO) se mantiene de 1 a 1.5 % por arriba en el suelo con manejo orgánico, con respecto al suelo de manejo convencional. Asimismo, la capacidad de intercambio catiónico que tiene mucha relación con la fertilidad del suelo se mantiene por arriba en 20 % con el manejo orgánico del suelo.

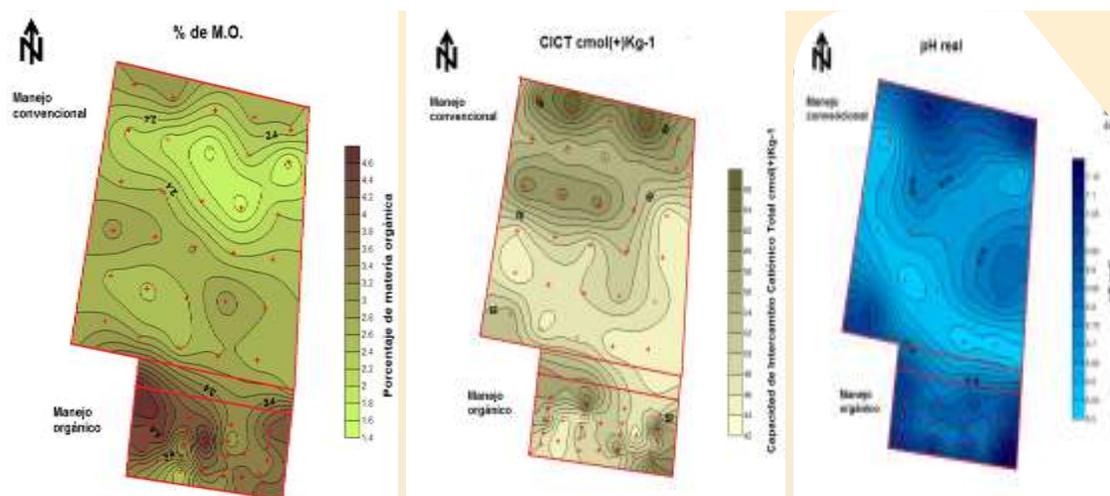


Figura 2. Contraste de propiedades químicas de suelo con manejo orgánico vs. manejo convencional

Fuente: Mercado *et al.*, 2015.

## Conclusiones

Se obtuvieron respuestas positivas en los rendimientos de los cultivos evaluados, donde destacan la aplicación de biofertilizante y lixiviados de lombricomposta como fuentes de fertilización. En general, representó un 20 % más en frijol; en girasol la respuesta fue mayor a 10 % con la aplicación de biofertilizante, con respecto a la aplicación de urea. El amaranto también tuvo un rendimiento de grano semejante con la aplicación de biofertilizante, con relación a la no aplicación de alguna fuente nutrimental, debido a la fertilidad de suelo donde se trabajó. El manejo orgánico de la fertilización de cultivos ha generado beneficios en las características físicas y químicas del suelo que han repercutido en la mejora de la fertilidad del mismo, donde se observa un mayor porcentaje de MO y de la CIC. Se concluye que el manejo del suelo con fines agrícolas debe considerar la rotación de cultivos, la incorporación de residuos de cosecha y de abonos orgánicos, lo cual repercutirá en la economía de los productores y el cuidado del medio ambiente.

## Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Ciencias Agrícolas y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por el apoyo brindado para la realización de los trabajos de campo.

## Literatura citada

- Borges, B.L.E., Altoé, B.M. 2015. Growth and production of ornamental sunflower grown in the field in response to application of humic acids. *Ciência Rural*, Santa Maria. 45(5): 1000-1005.
- Castañeda, S.M.C., Gómez, G.G., Tapia, C.E., Núñez, M.O., Barajaz, P.J.S., Rujano, S.M.L. 2013. Efecto de *Azospirillum brasilense* y fertilización química sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) *Interciencia*. 38(10): 737-744.
- Codex Alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 - 1999. Rev. 2001.
- Ferreira, C.R., Alarcon, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*. 8 (2): 175-183.
- Guerra, J.G.M., Santos, G.A., Silva, L.S. Camargo, F.A.O. 2008. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos, G.A. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p.19-26.
- López, A.H. 2016. Respuesta del cultivo de avena forrajera a la aplicación de lixiviados de lombricomposta. Tesis de Licenciatura Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 62 pp.
- Nieto, G.A., Murillo, A.B., Troyo, D.E., Larrinaga, M.J., García, H.J.L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
- Mercado, M.G., Echeverría, V.Y.U., Chávez, P.S., Adrián, S.P., Herrera, R.H., Valencia, I.C.E. 2013. Contraste de parámetros físicos y químicos de un suelo con manejo orgánico vs manejo convencional. *Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. La Paz, B.C.S. México.
- Mercado, M.G., Granados, M.A.K., Piedre, S.G., Ramírez, C.Y., Valencia, I.C.E. 2014. Variabilidad de algunas características físicas y químicas de un suelo vertisol de uso agrícola. *Memorias del XXXIX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. Ciudad Juárez, Chihuahua. México.

- Mercado, M.G., Granados, M.A.K., Reyes, L.D., López, A.H., Canales, T.L., Severiano, L.J.H., Valencia, I.C.E. 2015. Variabilidad espacial de parámetros químicos de un suelo vertisol, con manejo convencional y orgánico. Memorias del XXXX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S.L.P. México.
- Pérez, C.J. 2006. La política de fomento a la agricultura orgánica. *El cotidiano*. 21(139): 101-106
- Reyes, P.J.J., Murillo, A.B., Nieto, G.A., Troyo, D.E., Reynaldo, E.I.M., Rueda, P.E.O., Hernández, M.L.G., Preciado, R.P., Beltrán, M.A., Rodríguez, F.F., López, B.R.J. 2016. Uso de humatos de vermicompost para disminuir el efecto de la salinidad en el crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias*. 7(6): 1375-1387.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Favela, C.E., Moreno, R.A., Márquez, H.C., Ochoa, M.E., Preciado, R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Rodríguez, R.M. 2014. Normal climática de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México (1987-2013). Tesis de Licenciatura Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- Rueda, P.E.O., Barrón, H.J., Hallman, J. 2009. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. 1a ed. Plaza y Valdés. México. 141 pp.
- Salazar, S.E., Trejo, E.H.I., López, M.J.D., Vázquez, V.C., Serrato, C.S.J., Orona, C.I., Flores, M.J.P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*. 28(4): 381-390.

## Producción de maíz forrajero con dos sistemas de estercolado

Alain Buendía García<sup>1</sup>, José Antonio Cueto Wong<sup>2</sup>,  
Jesús Luna Anguiano<sup>1</sup>, Jesús Rodolfo Valenzuela García,  
Miguel Ángel Urbina Martínez, Issanelly Trujillo Zacarías<sup>3</sup>

### Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la factibilidad de sustituir totalmente la fertilización química por estiércol proveniente de corral o del separador de sólidos de biodigestor anaeróbico para producción de maíz forrajero, con base en el rendimiento esperado del cultivo, según sus necesidades nutricionales. En los ciclos verano 2014 y primavera 2015 se establecieron T1.- Estiércol del separador de sólidos de biodigestor, (ESSB), T2.- Estiércol seco de corral (ESC), T3.-Fertilizante químico (FQ) y un T4.- Testigo sin aportación de nutrientes (T), utilizando un diseño de bloques al azar con ocho repeticiones. Para la fertilización química se utilizó urea y fosfato monoamónico (Map) con una dosis de 182-80-00 en verano, y 252-80-00 en primavera. La siembra se realizó en seco el 14 de agosto de 2014, y a tierra venida el 6 de mayo de 2015, estableciendo ocho semillas por metro lineal, y 0.76 m entre hileras. Se evaluaron rendimiento de forraje verde (FV) y seco (FS) en planta y, en suelo, materia orgánica (MO), amonio (NH<sub>4</sub>) y nitratos (NO<sup>3</sup>). Los resultados respecto al rendimiento en FV y FS no muestran diferencia estadística significativa en los dos años evaluados; en el suelo, los nitratos presentan diferencia estadística entre profundidades.

Palabras clave: *Zea mays*, extracción de nitrógeno, eficiencia de nitrógeno.

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

<sup>2</sup> Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Matamoros, Coahuila.

<sup>3</sup> Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias.

## Introducción

En la agricultura moderna es necesario el uso de agroquímicos para mantener altos rendimientos en los cultivos. La fertilización nitrogenada es el nutrimento de mayor demanda y el más limitante para los cultivos (Menezes *et al.*, 2013; González Torres *et al.*, 2016). Actualmente, el costo de los fertilizantes y su aplicación pueden representar entre 20 y 40 % del costo de producción de cultivos forrajeros, los cuales constituyen uno de los principales insumos para la alimentación del ganado bovino.

El manejo eficiente de los fertilizantes nitrogenados en los sistemas de producción agrícolas es fundamental para evitar aplicaciones excesivas, evitando riesgos potenciales de contaminación al medio ambiente, sin disminuir la rentabilidad del cultivo (Fallah and Tadayyon, 2010; Cueto *et al.*, 2013).

En México, el sustrato más utilizado para la producción de cultivos es el estiércol bovino (Ocampo *et al.*, 2005). La práctica más común en el manejo de estiércol es la aplicación en dosis mayores de 80 Mg ha<sup>-1</sup> (Fortis *et al.*, 2009), en adición a dosis convencionales de fertilizantes químicos. Una vaca genera aproximadamente 6.5 kg día<sup>-1</sup> de estiércol en base materia seca (Sylla, 2011), las estimaciones para la Comarca Lagunera son de 464,086 cabezas de ganado lechero (Figuroa *et al.*, 2009; SIAP, 2015), las cuales generan aproximadamente 1,101,000 megagramos por año (Mg año<sup>-1</sup>) de estiércol base seca (MS), con una aportación promedio de N de 1.6 % con base a peso seco o 14,800 Mg año<sup>-1</sup> (Figuroa *et al.*, 2009).

Hay pocos antecedentes donde se analiza el desempeño económico de tratamientos de fertilización con estiércoles a largo plazo (Schoney, 1985; Zentner y Campbell, 1988; Ferraris *et al.*, 2015), especialmente con enfoque al manejo de la fertilización con base en el rendimiento esperado y la sustentabilidad (Sagarpa, 2014). En la Comarca Lagunera se establecieron cerca de 30,000 hectáreas (ha) de maíz forrajero en el ciclo primavera-verano.

El incremento en la demanda de alimentos constituye un desafío constante que ha obligado al sector agrícola a generar nuevas tecnologías que permitan aumentar el rendimiento por unidad de superficie y la calidad (Godfray *et al.*, 2010).

## Materiales y métodos

### ***Localización del área experimental***

El experimento se estableció en el área agrícola de Granja Porvenir, en el kilómetro 21, carretera Gómez Palacio – Francisco I. Madero, ubicada en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, localizado en las

coordenadas 25° 27' 2.46" Norte y 103° 18' 56.32" Oeste. El área agrícola se conforma por un pozo profundo, un estanque de almacenamiento, un rebombeo con sistema de riego de válvulas alfalleras y 60 hectáreas de suelo agrícola. Las tendidas miden 20 m de ancho por 125 de longitud, en las cuales se siembran 24 surcos de maíz a una distancia de 0.76 m entre hileras, equivalente a una distancia total de 12,000 m lineales sembrados por hectárea.

### ***Características iniciales del suelo y estiércoles***

Un análisis de suelo a una profundidad de 0-30 cm fue realizado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, (SEMARNAT, 2000), previo al establecimiento del experimento para conocer las características físico-químicas del sitio el cual fue clasificado como un suelo arcillo-limoso, con pH alcalino (8.18), no salino con conductividad eléctrica de 1.3 dS m<sup>-1</sup> y contenido de materia orgánica de 2.66 %, 36.5 miligramos por kilogramo (mg kg<sup>-1</sup>) de nitrógeno nítrico, una cantidad de fósforo disponible de 72 t kg<sup>-1</sup> y de potasio disponible de 1836 mg kg<sup>-1</sup>. Las características generales de los estiércoles se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Características de los estiércoles aplicados

Parámetros en porcentaje	Estiércol del separador de sólidos de biodigestor	Estiércol directo del corral
Materia seca (MS)	42	83
Nitrógeno total (NT)	0.70	1.12
Carbono orgánico (CO)	21.04	15.15
Fósforo total (P)	0.12	0.28
Potasio total (K)	0.16	0.84
Calcio total (Ca)	0.43	1.19
Magnesio total (Ton)	0.10	0.33
Sodio (Na)	0.08	0.19
Ácidos húmicos	18.02	6.27
Ácidos fúlvicos	9.40	3.92

Fuente: Elaboración propia.

### ***Factores de estudio***

Para la determinación de los tratamientos en estudio se calcularon las cantidades de estiércol por aplicar con base en los rendimientos esperados de materia seca de forraje de maíz, para el ciclo de verano (13

Mg ha<sup>-1</sup>), y para el de primavera (18 Mg ha<sup>-1</sup>), utilizando la ecuación para estimar la cantidad de estiércol requerida de acuerdo a las cantidad de unidades de nitrógeno necesarias para la nutrición del cultivo:

$$N_{\text{aprov}} = D_{\text{est}} * \% \text{ M.S.} * \% N_{\text{tot}} * 0.45 * 10 * \text{Efic}$$

Donde:  $N_{\text{aprov}}$  = nitrógeno aprovechable;  $D_{\text{est}}$  = dosis de estiércol (t ha<sup>-1</sup>); MS = % de materia seca,  $N_{\text{tot}}$  = % de nitrógeno total en estiércol; 0.45 = Constante de mineralización del nitrógeno; Efic = eficiencia del uso de nitrógeno: Riego por gravedad 60 %, riego por aspersión 70 % (Figueroa, 2011), y para la extracción unitaria de N se consideró 14 kg Mg<sup>-1</sup> de ms (Núñez *et al.*, 2006).

Los tratamientos se establecieron con un diseño de bloques al azar y ocho repeticiones en 2014; los tratamientos fueron: estiércol del separador de sólidos de un biodigestor (ESSB), 229 Mg ha<sup>-1</sup>; estiércol de corral (ESC), 58 Mg ha<sup>-1</sup>; fertilizante químico (FQ), 182-80-00, y testigo (T) sin aportación de nutrientes. Para el ciclo de primavera en 2015, los tratamientos fueron: ESSB, 318 Mg ha<sup>-1</sup>; ESC, 101 Mg ha<sup>-1</sup>, FQ, 252-80-00, y T sin aportación de nutrientes. El área total experimental constó de ocho tendidas con 20 m de ancho de centro a centro de bordo y 40 m de largo, en cada tendida se establecieron 24 surcos a 0.76 m de distancia entre hileras, cada unidad experimental midió 20 m de ancho por 10 m de largo. La parcela útil para la evaluación del rendimiento de forraje verde y seco se cosechó a una distancia total de 16 m, los cuales correspondieron a los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

### ***Siembra y fertilización***

En verano del 2014 se utilizó el híbrido 9019 de la empresa ABT, que tiene una altura de planta, en promedio, de 2.25 m; los días a corte para forraje son 100 y tiene un alto potencial de rendimiento tanto en grano como en forraje. Para la producción de una tonelada de materia seca de maíz forrajero, el mismo extrae 13.9 kg de nitrógeno con una materia seca a la cosecha de 33 % (Figueroa *et al.*, 2011). La siembra se realizó en seco el 14 de agosto de 2014, con una distancia entre surcos de 0.76 m; se tiraron ocho semillas por metro lineal. Para la fertilización se utilizó urea y Map en dosis de 182-80-00, aplicando a la siembra todo el fósforo y el 24 % del nitrógeno; en el primer auxilio se aplicó el 38 % del N y, en el segundo, el 38 % restante.

La siembra de primavera, en 2015, se llevó a cabo a tierra venida el 6 de mayo; se utilizó el híbrido 6806 de ABT con la misma densidad de siembra de 2014; para la fertilización se utilizó urea y Map en dosis de 252-80-00, aplicando a la siembra todo el fósforo y el 24 % del nitrógeno; en el primer auxilio se aplicó el 38 % del N y, en segundo, el porcentaje restante (38).

### ***Variables evaluadas en planta***

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques al azar con ocho repeticiones. Se midió la altura final de planta (AP) y la altura de mazorca (AM) al final del ciclo en una parcela útil de dos surcos centrales por 8 m de largo en cada tratamiento para lo cual se utilizó un estadal de 3 m. Para la evaluación del rendimiento de forraje verde se cosecharon todas las plantas contenidas en dos surcos centrales por 8 m de longitud resultando una superficie de 6.08 m<sup>2</sup> o 16 m lineales. Para ello se pesaron todas las plantas utilizando una báscula de reloj con capacidad de 20 kg, se midió el rendimiento de FV y FS.

Para evaluar el porcentaje de ms, se cosecharon tres plantas por tratamiento a las cuales se les determinó su peso en verde, se cortaron en trozos y se colocaron en bolsas de papel perforadas, se dio un presecado bajo una estructura de invernadero y, posteriormente, se dio el secado final en una estufa a una temperatura de 65-70 °C durante 72 h o, bien, hasta llegar a peso contante. Posteriormente se obtuvo el peso seco, y con la diferencia del peso verde de las muestras se calculó el porcentaje de materia seca. Para obtener el rendimiento en ms se multiplicó el rendimiento en verde por el porcentaje de materia seca obtenido. Para evaluar la extracción de nutrientes se utilizaron las muestras secadas y tamizadas de tres plantas por tratamiento. Se determinaron las concentraciones foliares de NT con el método Kjeldhal, el fósforo y el potasio por fotometría de flama (Chapman y Parker, 1986), carbono total, magnesio, fierro, manganeso, cobre, zinc, boro y relación carbono-nitrógeno. Para los análisis bromatológicos se envió una muestra a un laboratorio particular en donde se determinó proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro libre de cenizas y cenizas con química húmeda. Los carbohidratos no fibrosos (CNF), nutrientes totales digestibles (NTD) y energía neta de lactancia (ENL) se determinaron mediante fórmulas.

## Resultados y discusión

### ***Rendimientos***

En el ciclo de verano 2014, según el análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) (Cuadro 2), no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en los rendimientos de forraje verde y seco, igualmente para materia seca, altura de planta y mazorca; al momento de cosecha, las alturas de planta oscilaron entre 2.47 y 2.29 m, presentando la máxima al tratamiento de fertilización química. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con el tratamiento de estiércol del separador de sólidos con 12.733 Mg ha<sup>-1</sup>, y el menor fue de 11.322 Mg ha<sup>-1</sup> en el tratamiento de fertilización química. En estudios realizados con el mismo enfoque, Figueroa *et al.* (2010) y Castellanos-Ramos *et al.* (2000) encontraron que la falta de respuesta al

estiércol en el primer año se debió a que el N residual inicial estuvo en un nivel medio, con 36.5 kg ha<sup>-1</sup> (características de suelo y estiércoles).

En el ciclo 2015, los rendimientos en verde y en seco, la altura de planta y de mazorca fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores (Trejo *et al.*, 2013; Lithourgidis *et al.*, 2007). En estudios con un enfoque similar, de sustituir N del fertilizante por estiércol, no se registraron diferencias significativas entre el testigo sin fertilizar y la aplicación de estiércol o fertilizante en los dos primeros años de estudio, sino hasta el tercero y cuarto año de evaluación. Por su parte, Luna Anguiano *et al.* (2018) reportaron rendimientos de maíz forrajero con aplicación de estiércol bovino solarizado y hongos micorrízicos arbusculares en surcos estrechos con riego por goteo, con rendimientos de 88.5 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde con dosis de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol solarizado.

Cuadro 2. Comparación de medias por tratamiento para el rendimiento de forraje verde, forraje seco, porcentaje de materia seca, altura de planta y altura de mazorca, ciclos verano 2014 y primavera 2015. P.P. Porvenir

Tratamiento	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		Altura (cm)		
	Forraje verde	Forraje seco	M.S. (%)	Planta	Mazorca
<i>Verano 2014</i>					
Est. sep. de sólidos	49628 a*	12733 a	25.70 a	242 a	105 a
Estiércol corral	49115 a	11850 a	24.25 a	229 a	0.96 a
Fert. química	45403 a	11322 a	25.09 a	247 a	108 a
Testigo	47474 a	12641 <sup>a</sup>	26.75 a	243 a	106 a
<i>Primavera 2015</i>					
Est. sep. de sólidos	45918 a	18249 a	39.71 a	2.61 a	1.20 a
Estiércol corral	43841 a	17303 a	39.41 a	2.60 a	1.22 a
Fert. química	48032 a	18858 a	39.31 a	2.64 a	1.20 a
Testigo	48974 a	18868 a	38.56 a	2.69 a	1.27 a

\*Medias con la misma letra entre columnas, son significativamente iguales (Tukey > 0.05).

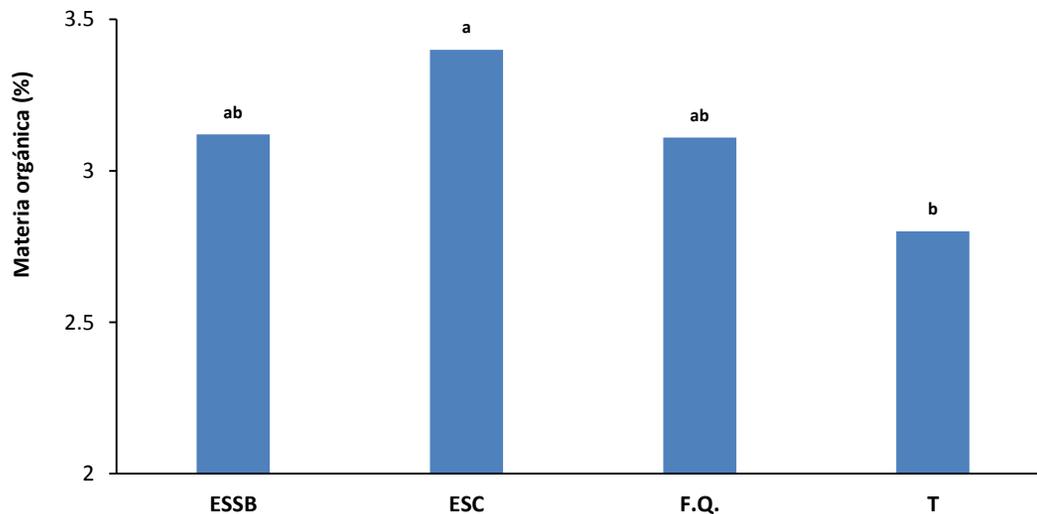
Fuente: Elaboración propia.

## Suelo

*Materia orgánica.* El contenido de MO en el muestreo inicial fue de 2.66 % en el estrato 0-30 cm de profundidad. Los resultados al final del ciclo de cultivo del 2014 mostraron diferencia estadística entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ) a una profundidad de 0-30 cm, siendo ESC el que mostró el mayor contenido de MO (3.64 %) El testigo obtuvo 2.8 %, siendo inferior a ESSB y FQ (3.12 %), los cuales fueron estadísticamente iguales (Figura 1). En las otras dos profundidades no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). En lo correspondiente a la evaluación de la materia orgánica, en el ciclo 2015, no se

encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos de fertilización o abonamiento ni entre profundidades ni en las interacciones ( $P > 0.05$ ).

Salazar *et al.* (2007) encontraron 2.21 % de MO al final de un experimento, después de haber incorporado 40 Mg ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino, lo cual se atribuyó a que el estiércol contenía un porcentaje alto de MO (5.35 %). Vázquez *et al.* (2011), en un estudio donde se aplicó estiércol solarizado al suelo en la producción de chile jalapeño, reportaron incrementos en el contenido de MO con dosis de 80 t ha<sup>-1</sup> de estiércol (2.47 %) y encontraron el nivel más bajo de MO (1.61 %) en el tratamiento con fertilización química.



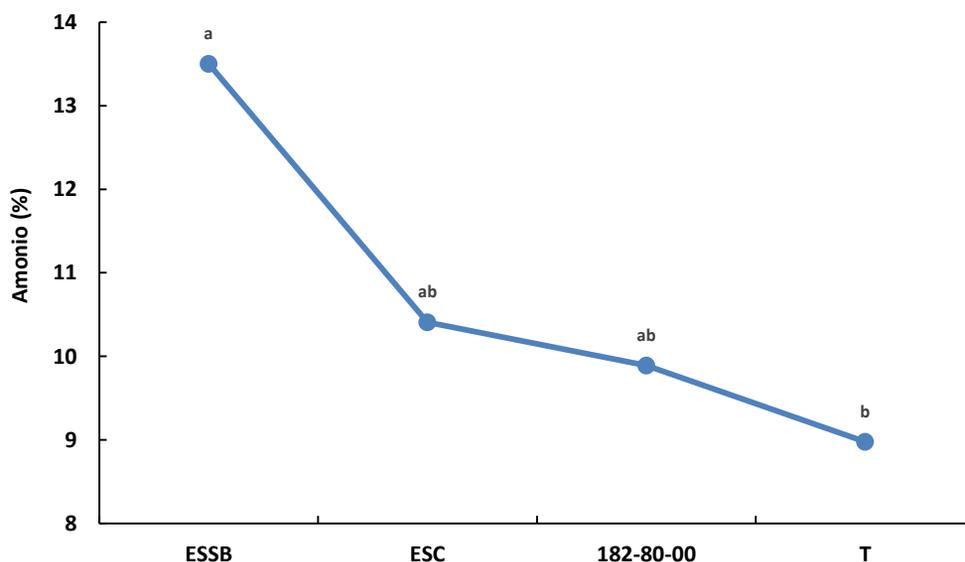
\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ )

Figura 1. Contenido de materia orgánica a una profundidad de 0-30 cm por tratamiento al final del ciclo de cultivo en 2014. P.P. Porvenir, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila

*Nitrógeno amoniacal en el suelo.* El contenido de amonio en el suelo, según el ANOVA, presentó diferencia estadística entre tratamientos (Figura 2) con una dms = 4.51, el valor más alto con el tratamiento ESSB (13.5 %) de amonio, seguido de ESC y FQ que se presentaron estadísticamente iguales (10.4 y 9.89 % de amonio, respectivamente). El tratamiento T tuvo 8.98 % de amonio, siendo el menor de todos los tratamientos, posiblemente estos valores están relacionados con el proceso de descomposición o fragmentación

biótica y abiótica de los tratamientos. Estos resultados concuerdan con Celaya *et al.* (2011), quienes mencionan que la mineralización neta de nitrógeno es un indicador de la disponibilidad de este nutriente sin ser la disponibilidad real actual.

*Nitrógeno nítrico en el suelo.* En el suelo del sitio experimental donde se llevó a cabo la investigación, se realizaron aplicaciones bianuales de estiércol, con un promedio de aplicación de 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de corral, por un período aproximado de 20 años. El ANOVA, para el contenido de nitratos en el suelo en el ciclo 2104, mostró diferencia estadística entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) (Figura 3), encontrando el contenido más alto de nitratos en el tratamiento ESC (83.5 Mg kg<sup>-1</sup>), ESSB y FQ fueron estadísticamente iguales (58 y 59.7 Mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), y el testigo mostró un valor de 47.4 Mg kg<sup>-1</sup> de nitratos.



\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

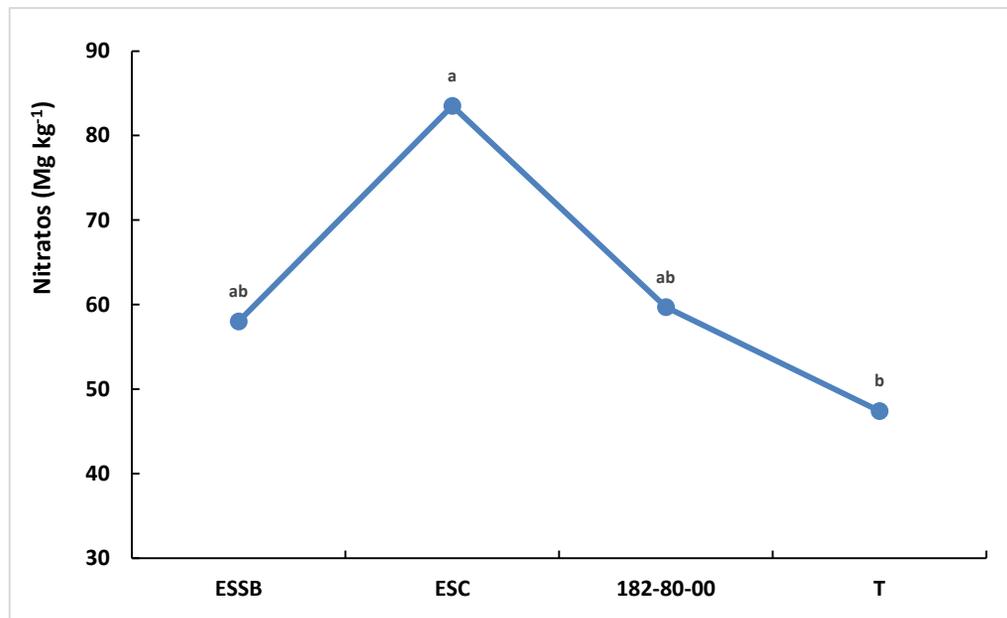
Figura 2. Contenido de N-NH<sub>4</sub> en el suelo a una profundidad de 0-30 cm por tratamiento al final del ciclo de cultivo en 2014. P.P. Porvenir, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila

En el ciclo de primavera 2015, el ANOVA realizado para el contenido de nitratos, mostró una diferencia estadística sólo entre las profundidades 0-30 y 30-60 cm, con una ( $P \leq 0.05$ ) de 0.0485 y 0.0505, mostrando

una dms de 12.69 y 16.19, respectivamente. Es importante mencionar que todos los tratamientos, en general, mostraron el mismo comportamiento en cada profundidad, revelando que el tratamiento con mayor contenido de nitratos fue ESC en ambos casos, con 63.81 y 62.46 Mg kg<sup>-1</sup> para las profundidades de 0-30 y 30-60 cm.

*Extracción de nutrientes.* En los ciclos 2014 y 2015, los parámetros medidos para la extracción de nutrientes no presentaron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). La extracción de N por el cultivo de maíz en el ciclo de primavera 2015 osciló entre 214.9 y 220 kg ha<sup>-1</sup>.

Los valores en la extracción de N son similares a los encontrados en otros estudios en maíz de Menezes *et al.* (2013), quienes reportan una extracción de N (129 - 224 kg ha<sup>-1</sup>) con un rendimiento de ms de 14.8 a 19.9 t ha<sup>-1</sup>; en cambio, Butler *et al.* (2008) reportan una extracción de N (176- 311 kg ha<sup>-1</sup>) con rendimientos de ms 13 a 25 Mg ha<sup>-1</sup>. La extracción de N por el cultivo **maíz osciló** entre 223 y 253 kg ha<sup>-1</sup> en el 2001, sin mostrar diferencias significativas (Figuroa *et al.*, 2010).



\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Figura 3. Contenido de nitratos (NO<sub>3</sub>) a una profundidad de 0-30 cm por tratamiento al final del ciclo de cultivo en 2014. P.P. Porvenir, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila

*Calidad de forraje.* Sólo se realizó para el ciclo 2015 encontrando diferencia no significativa entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). Para la proteína cruda (PC) osciló entre 8.65 y 9.31 %; la fibra ácido detergente (FDA), de 21.41 a 24.66 %; la fibra neutro detergente (FDN), de 40.3 a 44.39 % y la energía neta de lactancia (ENL), de 1.45 a 1.5 %. Los resultados encontrados concuerdan con los reportados por Núñez *et al.* (2015) en un estudio con híbridos de maíz de grano amarillo evaluados en el ciclo de primavera, donde el porcentaje de proteína cruda varió de 6.75 a 8.15 % con una media de 7.23 % ( $P < 0.05$ ). En relación con las fracciones fibrosas, en concentración de fibra detergente ácido, los híbridos tuvieron una variación de 16.56 a 30.92 % con media de 25.00 %. En concentraciones de fibra detergente neutro, se observaron variaciones de 27.47 a 51.06 %, con media de 41.80 %.

## Conclusiones

Es factible prescindir de la fertilización química convencional y orgánica hasta por dos ciclos de cultivo de maíz forrajero, sin afectar su rendimiento ni la calidad cuando se tiene tan elevada disponibilidad nutrimental como la que se tuvo antes de la siembra en el suelo del sitio experimental.

Lo anterior plantea la posibilidad real no sólo de ahorrarse los gastos en fertilizantes y fertilización, sino contribuir a reducir de manera significativa el riesgo de emitir nitrógeno a la atmósfera por desnitrificación microbológica o al subsuelo por lixiviación

## Literatura citada

- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle y A. Aguilar S. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto Nacional de Capacitación para la productividad Agrícola (INCAPA). Celaya, Gto., México.
- Celaya-Michel, Hernán, Castellanos-Villegas, Alejandro E., Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 2011, 29. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283013>
- Cueto-Wong, J. A.; Reta-Sánchez, D. G.; Figueroa-Viramontes, U.; Quiroga-Garza, H. M.; Ramos-Rodríguez, A. y Peña-Cabriales, J. J. (2013). Recuperación de nitrógeno aplicado en forma fraccionada en maíz forrajero utilizando 15N. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 5:11-16.
- De-Menezes, L. F. G.; Ronsani, R.; Pavinato, P. S.; Biesek, R. R.; Da-Silva, C. E. K.; Martinello, C. e Da Silveira, M. F. (2013). Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*. 34:1353-1362.

- Fallah, S. and Tadayyon, A. (2010). Absorción y eficiencia del nitrógeno en maíz forrajero: efectos del nitrógeno y la densidad de población. *Agrociencia*. 44:549-560.
- Ferraris, GN; M Toribio; R Falconi & L Couretot. (2015). Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. Pp. 137-142. En: FO García & AA., Correndo (eds). *Actas del Simposio Fertilidad 2015: Nutriendo los Suelos para las Generaciones del Futuro*. 19-20 de mayo de 2015. Rosario, Santa Fe, Argentina. IPNI-Fertilizar AC. ISBN 978-987-24977-6-7.
- Figuroa, V.U., G. Núñez H., J.A. Delgado, J.A. Cueto W. y J.P. Flores M. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. En: I. Orona C., E. Salazar S. y M. Fortis H. (Eds.), pp. 128-151. *Agricultura Orgánica*. 2a ed. FAZ-UJED, SMCS. Gómez Palacio, Dgo., México.
- Figuroa, V.U., J.A. Cueto, W., J.A. Delgado, G. Núñez, H., D.G. Reta, S., H.M. Quiroga, G., R. Faz, C. y J.L. Márquez, R. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.
- Figuroa V., U., J. A. Delgado, J. A. Cueto W., G. Núñez H., D. G. Reta S., and K. A. Barbarick. (2011). A new nitrogen index to evaluate nitrogen losses in intensive forage systems in Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142: 352-264.
- Godfray, H. C. J. *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327, 812–818. (2010).
- González T. A.; Figuroa-Viramontes, U.; Preciado R. P.; Núñez H. G.; Luna O. J. G. y Antuna G. O. (2016). Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 7 (2): 301-309. <http://www.infostat.com.ar>
- Infostat. (2008). Software estadístico. Versión actualizada 11-09-2017. Universidad Nacional de Córdoba
- Luna-Anguiano, J.; Salazar S. E.; López M.J.D.; Valenzuela, G.A.A.; Orona. C.I. & García H.J.L. (2018). Corn Forage Yield with Bovine Manure Solarized and Mycorrhiza. México. *International Journal of New Technology and Research*. 4 (2): 36-41.
- Naturales. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/> Consultado el 2 agosto de 2018.
- Ocampo, F. C. (2005). Revision of the southern South American endemic genus *Anomiopsoides* Blackwelder.1944. Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Eucraniini with description of its food relocation behavior. *Journal of Natural History*, 39: 2537–2557.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2014). Delegación Comarca Lagunera. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Rev. Int. Bot. Exp.* 76: 169-185.

- Norma Oficial Mexicana SEMARNAT (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Schoney, RA. 1985. The economic impact of extended crop rotations on Saskatchewan grain farms. Analytical Division, Prairie Farm Rehabilitation Administration, University of Saskatchewan, Regina, Sask.
- Trejo-Escareño, Héctor Idilio, Salazar-Sosa, Enrique, López-Martínez, José Dimas, y Vázquez-Vázquez, Cirilo. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,4(5), 727-738. Recuperado en 09 de noviembre de 2015, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S20079342013000500006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20079342013000500006&lng=es&tlng=es)
- Vázquez-Vázquez, Cirilo, García-Hernández, José Luis, Salazar-Sosa, Enrique, López-Martínez, José Dimas, Valdez-Cepeda Ricardo David., Orona-Castillo Ignacio., Gallegos-Robles Miguel Ángel., Preciado-Rangel Pablo. 2011. Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo serie horticultura* 17 (Especial 1): 69-74, 2011.
- Zentner, RP & CA Campbell. 1988. First 18 years of a long-term crop rotation study in Southwestern Saskatchewan: yields, grain protein and economic performance. *Can. J. Plant Sci.* 68(Jan): 1-21.

# Análisis de variables bromatológicas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) fertilizada con fuentes orgánicas e inorgánicas

Rafael Ávila Cisneros<sup>1</sup>, Juan Leonardo Rocha Valdez<sup>1</sup>,  
Anselmo González Torres<sup>1</sup>, Alfredo Ogaz<sup>1</sup>, Sheila Mayela Ávila Berumen<sup>2</sup>

## Resumen

A mediados del cuarto trimestre del año 2017, se estableció un experimento con alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Sundor en el ejido San Ignacio, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, mediante el diseño de experimentos de bloques al azar, con seis tratamientos y cinco repeticiones. Tres tratamientos (A, B y E) fueron fuentes orgánicas de fertilizantes, C y D fuentes inorgánicas, y F fue el testigo (sin fertilizante). La finalidad fue demostrar la verdad concedida, a crédito de que las fuentes orgánicas de fertilizante a base de vermicompost enriquecen la calidad bromatológica de la alfalfa y mejoran la correlación entre % de materia seca y % de proteína cruda (PC). En ambas afirmaciones, después de validar el análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) por medio del software de Olivares-FAUANL (2012), no se presentaron diferencias estadísticas significativas. Se puede concluir que las fuentes orgánicas a base de vermicompost no generan resultados diferenciados en la calidad bromatológica de la alfalfa a pesar de ser más caros que las fuentes tradicionales inorgánicas.

**Palabras clave:** calidad, bromatológica, vermicompost, alfalfa, experimentación.

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coah., México (raavci2003@yahoo.com.mx).

<sup>2</sup> Consultora Independiente de Diseño, Calidad y Automatización de Proyectos.

## Introducción

### *Revisión de literatura*

Molina y Córdova (2006), en un estudio presentado, nos dan a conocer que de las 229 especies cultivadas en México, 179 son cultivos introducidos, 108 de ciclo anual y 71 perennes, con 9,694 millones de hectáreas en donde está ubicada la alfalfa (*Medicago sativa* L.). Además, en la mayoría de los países latinoamericanos y del mundo, los forrajes constituyen aproximadamente el 80 % del alimento consumido por los rumiantes durante su vida productiva. En México, la alfalfa (*M. sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero en las regiones árida, semiárida y templada. Su importancia radica en la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie cultivada, valor nutritivo, aceptabilidad y consumo animal, ya sea en estado fresco, heno o ensilado.

Villarreal-González *et al.* (1998) realizaron análisis bajo el auspicio de la compañía LALA, S.A. de C.V., sobre los impactos que ha tenido la ganadería lechera en la Comarca Lagunera (Coahuila y Durango), y sobre el particular reportan: “la leche y sus derivados juegan un papel fundamental en la alimentación humana, el hombre usa la leche de varios animales para su propia alimentación. Por su alto valor nutritivo, la leche es uno de los alimentos esenciales para la alimentación del ser humano, su creciente consumo en México y el mundo se debe a que este producto es una de las fuentes de proteína económicamente más accesibles y, por tanto, de mayor demanda en la población de bajos recursos”. En la Comarca Lagunera –cuenca lechera del país– la alimentación del ganado se conforma básicamente de alfalfa, ensilaje de maíz y alimentos balanceados que se producen a nivel local, mismos que, en el año 1997, se aprovisionaron en los siguientes porcentajes, según el cuadro 1.

Cuadro 1. Aprovisionamiento de insumos para la ganadería de la Comarca Lagunera en toneladas de forraje para el año 1997

<b>Año</b>	<b>AF</b>	<b>ZB</b>	<b>MF</b>	<b>SF</b>	<b>A</b>	<b>Total</b>
1997(t)	5,500	2,194	15,962	12,154	34,499	70,309
t/ha	31.36	41.55	47.24	42.16	71.65	
% ms	19	23	26	28	24	

AF = Avena forrajera, ZB = Zacate ballico, MF= Maíz forrajero, SF= Sorgo forrajero, A = Alfalfa, ms = Materia seca.

Fuente: Villarreal-González *et al.* (1998), citado por Banco de México/FIRA (1997).

Tal como se aprecia en el cuadro 1, desde hace más de 20 años la alfalfa es el forraje más utilizado por los productores de leche, acercándose en el año 1997, a 34,500 toneladas, y representando el cultivo

forrajero que promedia el mayor rendimiento por hectárea (casi 72 t), ocupando el tercer lugar en contenido de materia seca (MS), con 24 %.

En México, en 1968 se sembraron 160,000 hectáreas, con una producción de 9 millones de toneladas de materia verde; mientras que en 2006 la superficie cultivada con alfalfa fue de 379,103 hectáreas y se cosecharon 28 millones de toneladas de forraje verde con un rendimiento promedio anual de 75.24 t ha<sup>-1</sup> (Mendoza-Pedroza *et al.*, 2010).

Como se puede observar en los dos estudios anteriores, la producción de alfalfa en forraje verde promedia las 73 toneladas por hectárea, referencia que será de utilidad para comparar los resultados de la producción obtenida en el período y región analizados, relacionada con alfalfa fertilizada con fuentes orgánicas e inorgánicas. Además, hay que agregar que la alfalfa forrajera es muy importante en la alimentación del ganado, en especial, de producción lechera. La alfalfa se cultiva en una amplia variedad de suelos y climas; se adapta a altitudes comprendidas entre 700 y 2800 msnm y a suelos profundos bien drenados, alcalinos y tolera la salinidad moderada; sin embargo, su desarrollo es limitado en pH inferior a 5.0. La temperatura óptima de crecimiento fluctúa entre los 15 y 25 °C durante el día, y de 10 a 20 °C en la noche. Por la longitud y profundidad de sus raíces es resistente a la sequía, ya que obtiene agua de las capas profundas del suelo. Pertenece a la familia de las Fabaceae y tiene un notable consumo de calcio (Ca) y magnesio (Mg) que, de contenerlos el suelo en proporciones suficientes para satisfacer sus requerimientos, es necesario solamente agregar fertilizantes fosfatados y potásicos. La alfalfa es una planta perenne, de crecimiento erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura; tiene hojas trifoliadas con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, foliolos ovalados, generalmente sin pubescencia, con márgenes lisos y bordes superiores ligeramente dentados (Muslera y Ratera, 1991).

Jolalpa-Barrera *et al.* (2009) mencionan que, en México, la producción de alfalfa se obtiene, en su mayoría, en condiciones de riego, y tiene una relación directa con el desarrollo de la ganadería bovina productora de leche, ya que este cultivo constituye un forraje de alta calidad. De ahí que las más importantes zonas productoras de alfalfa se ubiquen cerca de las cuencas lecheras. Los principales estados que producen alfalfa son Chihuahua, Hidalgo y San Luis Potosí.

Valdés-Quintanilla (2016) reporta datos actualizados de la producción de alfalfa para la Comarca Lagunera, y menciona que, en el ciclo de cultivos perennes 2017, destaca la producción de alfalfa verde con una siembra por gravedad de 33,941 hectáreas y una producción de 3,060,233 toneladas. Por bombeo se sembraron 5,831 hectáreas con una producción de 443,585 toneladas. El valor de la producción de alfalfa sumó \$2,047,721, donde el cultivo de la alfalfa participó con 71 % del valor de la producción en la agricultura de La Laguna de Coahuila y Durango en el año señalado; esto sirvió para alimentar a un sector pecuario que, en su totalidad, fue un negocio del orden de \$32,283,960.

a) Efectos de fertilización orgánica e inorgánica en la producción de forraje, materia seca, proteína cruda y algunos minerales en forrajes

La fertilización con fuentes orgánicas no es una corriente nueva para lograr buenas producciones en la alfalfa; hay una serie de trabajos que se mencionan más adelante, relacionados sobre todo con estiércol bovino, pero, en lo relacionado con vermicompost en alfalfa, vale la pena citar el trabajo de Correa-Morocho, quién, mediante un diseño de experimentos completamente al azar, evaluó en la provincia de Chimborazo, Ecuador diferentes dosis de vermicompost en tratamientos de 4, 6 y 8 toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) y concluye de la manera siguiente:

La aplicación de diferentes niveles de vermicompost, afectaron estadísticamente su comportamiento productivo, en el primer corte ya se encontraron mejores respuestas, con la utilización de  $8\ t\ ha^{-1}$  de vermicompost; se mejoró la cobertura basal (45.07 %), producción de forraje verde (pfv) logrando 16.87 t/pfv/ha, número de tallos por planta (51.33 tallos planta<sup>-1</sup>); y en número de hojas por tallo se logró la cantidad de 117.43 hojas. En el análisis económico se ratifica que se logra rentabilidad costo-beneficio de 1.7 aplicando la dosis de  $8\ t\ ha^{-1}$  (Correa-Morocho, 2013).

Con relación a materia seca ( $t/ha/año$ ), la mejor producción se obtuvo con el menor nivel de vermicompost, es decir,  $4\ t\ ha^{-1}$ ; éste generó una producción de 33.53 t/ms/ha/año; superior a los niveles de fertilización de 6 y  $8\ t\ ha^{-1}$ , mismos que generaron 31.95 y 31.32 t/ms/ha/año, respectivamente. En términos estadísticos no hubo diferencia significativa.

Determinar la bromatología de cada uno de los cultivos es poder cuantificar variables que participan directamente en la nutrición de los hatos ganaderos y, generalmente, esto se hace tomando muestras representativas. Cuando una muestra de alimento se coloca en un horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, el agua se evapora y el alimento seco restante se llama materia seca (ms). En sus etapas inmaduras las plantas contienen 70-80 % de agua y 20-30 % de materia seca. Sin embargo, las semillas no contienen más de 8-10 % de agua y un 90-92 % de materia seca. La materia seca del alimento contiene todos los nutrientes requeridos por la vaca (González-Crende, 2014). De ese nivel de importancia es esta característica bromatológica, por lo que buscar alternativas de fertilización que mejoren la calidad en las plantas en su altura, materia seca y niveles proteicos, y si además esto se logra con metodologías sostenibles, se está incidiendo en el cuidado del medio ambiente.

Sobre cultivos forrajeros se tiene la experiencia de Torres Moya *et al.*, en un experimento con cultivos forrajeros de *Avena sativa*, no encontraron diferencia estadística en algunas variables bromatológicas para los tratamientos aplicados de fuentes orgánicas e inorgánicas de fertilización, y lo relacionan con las siguientes circunstancias:

Los resultados se pueden relacionar directamente con la disponibilidad de nitrógeno de los fertilizantes inorgánicos en comparación con los abonos orgánicos. Los fertilizantes inorgánicos de liberación rápida se solubilizan fácilmente en el suelo, por lo cual su efecto en la nutrición de las plantas es directo y rápido. Por otro lado, los abonos orgánicos liberan algunos nutrientes a una manera más lenta ya que este proceso depende directamente de la actividad microbiana en el suelo y de algunos factores abióticos; ello dificulta garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos inmediatamente (Torres Moya *et al.*, 2016).

En estudios sobre alfalfa y muy cercanos al área de estudio del proyecto presentado por Vázquez-Vázquez *et al.* (2010) trabajaron con cinco tratamientos de estiércol con 0, 40, 80, 120 y 160 t ha<sup>-1</sup>, y como testigo el fertilizante químico (30-100 kg ha<sup>-1</sup> de N y P) con las variedades CUF 101, Sandor y Altaverde. Relacionado con el rendimiento de materia seca en toneladas, los resultados más importantes se presentan en el cuadro 2 para 120 t ha<sup>-1</sup> de estiércol y el testigo a base de nitrógeno y fósforo, donde se observa un incremento en los valores, cuya explicación es que el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el estiércol, es debido a la forma gradual que libera minerales este tipo de fertilización.

Cuadro 2. Rendimiento promedio del T4 vs el Testigo (t ha<sup>-1</sup> de ms)

Mes de corte	T4	Testigo
Diciembre 2004	3.1	2.7
Enero 2005	1.6	1.45
Febrero	3.8	2.8
Marzo	4.4	3.3
Abril	4.2	3.1
Junio	4.3	3.2

Fuente: por Vázquez-Vázquez *et al.* (2010).

Flores-Aguilar *et al.* (2012) han aportado una investigación relacionada con alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su fertilización con fuentes orgánicas, inorgánicas y la combinación de ambas, pues mediante un diseño de experimentos en bloques al azar con cuatro tratamientos (T1: testigo, T2: fertilizante orgánico de estiércol ovino, T3: fertilizante inorgánico superfosfato triple y T4: una combinación de orgánico e inorgánico), generaron como resultados que, para la variable bromatológica microgramos (por tonelada) de materia seca por hectárea (ms ha<sup>-1</sup>), el mejor, en términos cuantitativos, fue T4 con 3.3 t de ms ha<sup>-1</sup> y el de menor rendimiento fue T1, con sólo 2.1 t de ms ha<sup>-1</sup>; es decir, fue la fertilización combinada de fuentes orgánicas e inorgánicas la que mejores resultados arrojó a favor de la variable materia seca.

Otro componente bromatológico de importancia es la proteína cruda (PC) o proteína bruta, que se refiere al % de proteína que contiene un alimento después de haberlo sometido al análisis químico o al análisis bromatológico.

El método de Kjeldahl se utiliza para determinar la PC tomando como base el nitrógeno de la muestra, pues la proteína es el elemento plástico de todo ser vivo y es el componente fundamental de los tejidos blandos que dan forma a los cuerpos vivos, de ahí su importancia y, en combinación con la energía, son los nutrientes que sostienen la vida. La proteína cruda se expresa en % por cada kg de materia seca, la cual puede expresarse también en gramos  $\text{kg}^{-1}$ ; por ejemplo, un kg de ms de un alimento contiene 12 % de proteína cruda o sea, 120 gr  $\text{kg}^{-1}$  (Gasque-Gómez, 2008).

Por lo antes expuesto, conocer los requerimientos de algunos elementos bromatológicos para las vacas productoras de leche permite un mejor aprovechamiento de los mismos. En el cuadro 3 se puede observar que la necesidad de materia seca y proteína cruda está en función del nivel de producción de leche.

Cuadro 3. Guía para la composición de la ración totalmente mezclada para vacas lecheras de alta producción

Niveles de producción	Altas productoras	Medias productoras	Bajas productoras
N/C de A	>35 kg día <sup>-1</sup>	25 a 35 kg día <sup>-1</sup>	<25 kg día <sup>-1</sup>
ms kg día <sup>-1</sup>	20	18	16
PC % ms	18	17	16
Ca % ms	0.8	0.7	0.5
P % ms	0.5	0.4	0.4

N/C de A = Nutrientes por cantidad de alimento; ms kg día<sup>-1</sup> = Materia seca kg por día;  
 PC % ms = Proteína cruda % materia seca; Ca % ms = Calcio % materia seca; P % ms = Fósforo % materia seca.  
 Fuente: Gasque-Gómez, 2008.

Sobre el contenido de proteína cruda en forrajes, tenemos las aportaciones de Reyes-Porata *et al.* (2009), que en sus trabajos encontraron una correlación inversa entre la producción de ms y la concentración de proteína; es decir, los genotipos de forraje evaluados presentaron una mejor producción de ms, según los de mayor altura, y una disminución en la concentración de proteína. En el experimento que nos ocupa, la altura de la alfalfa es una variable a medir; otra es el % de ms y, finalmente, el porcentaje de proteína cruda.

Relacionado con la altura de planta antes del corte y con % de floración recomendado, Ávila-Cisneros *et al.* (2018), en una investigación con alfalfa de la variedad Sundor, reportan que se logró una altura promedio de 37 cm al fertilizar con vermicompost, y de 38 cm al fertilizar con sulfato de magnesio. En el proceso investigativo no se presentó diferencia estadística entre la fuente orgánica y la inorgánica.

### ***Planteamiento del problema***

La producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la Comarca Lagunera tradicionalmente ha sido fertilizada con fuentes inorgánicas a base de fósforo y magnesio, estancando la calidad bromatológica del cultivo.

### ***Objetivo general***

Evaluar la calidad bromatológica de la alfalfa fertilizando con fuentes orgánicas sustentables a base de vermicompost.

### ***Objetivo particular***

Incrementar la calidad bromatológica de la alfalfa en lo relacionado a altura de planta, % de materia seca y proteína cruda, utilizando fuentes de fertilización orgánica a base de vermicompost.

### ***Hipótesis***

La fertilización orgánica a base de vermicompost y lixiviados incrementa los porcentajes de materia seca y proteína cruda en el cultivo de la alfalfa.

## **Materiales y métodos**

Mediante un diseño de experimentos con bloques al azar, se evaluaron seis tratamientos de fertilización con cinco repeticiones cada uno, con arreglos de parcelas de 3 m x 10 m para una superficie de 30 m<sup>2</sup> cada uno, en el ejido San Ignacio, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México para el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad SW10. El análisis bromatológico y de mineralización se realizó en el laboratorio comercial AGROLAB®, mismo que se encuentra en la 2<sup>a</sup> sección de la zona industrial de Gómez Palacio, Durango. El análisis de varianza se efectuó por medio del software de Olivares-FAUANL versión 2012 para una  $\alpha$  del 5 %, y el análisis de correlación entre variables bromatológicas se realizó aplicando la

metodología propuesta por Rocha-Valdez y Ávila-C. (2017). El experimento se llevó a cabo en el tercer trimestre del año 2017. La definición de los tratamientos se presenta a continuación:

- A = Fertilización con vermicompost a razón de 1 kg/m<sup>2</sup>
- B = Lixiviado de vermicompost a razón de 1 L/m<sup>2</sup>
- C = Fertilizante sintético MAP (11-52-00) de constituyente a razón de 1.2 kg/m<sup>2</sup>
- D = Sulfato de magnesio a razón de 1.5 kg /m<sup>2</sup>
- E = Solución nutritiva mineralizada a razón de 20 L por cada 30 m<sup>2</sup>
- F = Testigo

## Resultados y discusión

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta para los seis tratamientos y sus cinco repeticiones con un alfa de 5 % no arrojó diferencia estadística significativa entre los tratamientos, es decir, todos se comportaron de manera similar. Sin embargo, destaca el tratamiento B (lixiviado de vermicompost) que generó el mayor valor promedio, con una altura cercana a los 33 cm, como se puede apreciar en la figura 1.

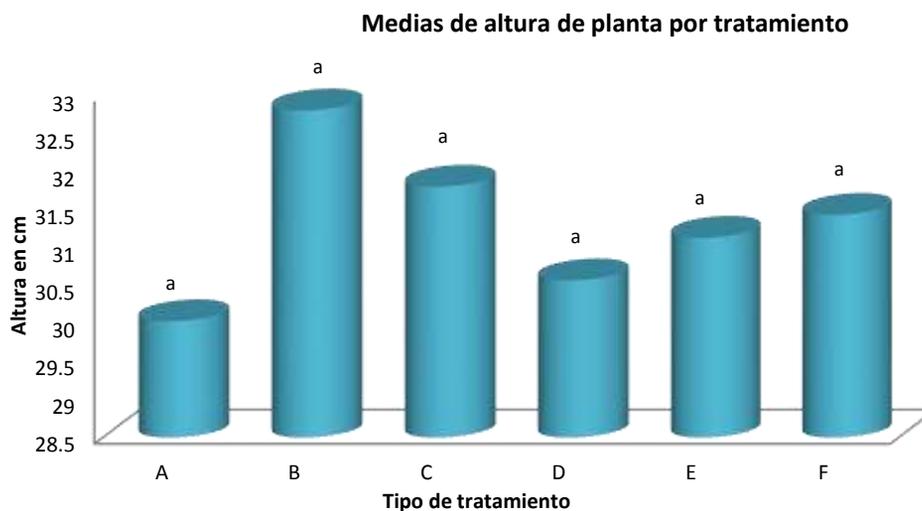


Figura 1. Análisis estadístico de las medias de altura de planta, en cm  
Fuente: Realización del gráfico con datos generados en la investigación.

La segunda variable analizada fue la determinación del porcentaje de materia seca; tal como se visualiza en la figura 2, no hay cambio de letra (parte superior de las barras) lo que indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos. Los porcentajes de ms que han arrojado los seis tratamientos son muy similares entre ellos; destaca de manera mínima el del tratamiento E (solución nutritiva mineralizada), con 20.4 %, similar al tratamiento F (testigo).

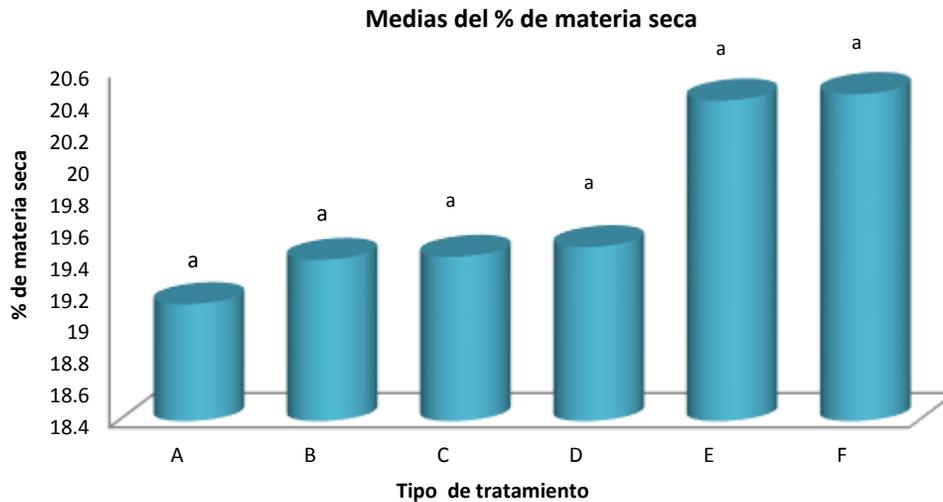


Figura 2. Análisis estadístico de las medias del porcentaje de materia seca (ms) para los seis tratamientos

Fuente: Gráfico generado con datos propios de la investigación.

En la figura 3 se puede encontrar el análisis estadístico realizado para la variable bromatológica % de proteína cruda o proteína bruta (PC), en la misma tampoco existió diferencia estadística entre los seis tratamientos; destaca el tratamiento A (fertilización con vermicompost) con un valor de 25.8 % de PC.

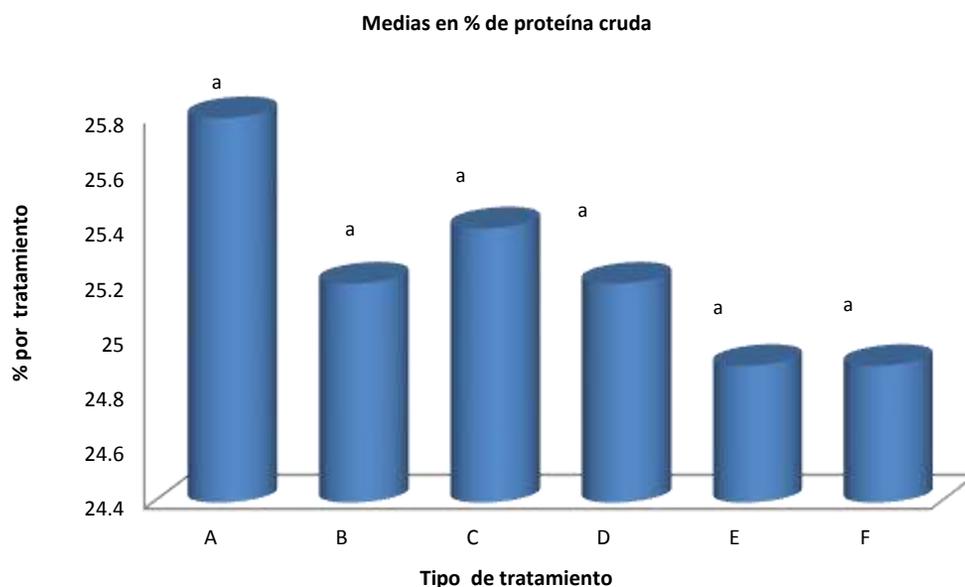


Figura 3. Análisis estadístico de las medias del porcentaje de proteína cruda (PC) para los seis tratamientos

## Conclusiones

Las fuentes orgánicas de fertilización en la alfalfa no fueron mejores ni peores que las fuentes de fertilización inorgánicas con las que tradicionalmente se ha enriquecido el suelo al sembrar las diferentes variedades de alfalfa en la Comarca Lagunera. En las tres variables evaluadas (altura de planta, porcentaje de materia seca y por ciento de proteína cruda) no se presentó diferencia estadística.

El estudio indica la posibilidad real de sustituir los fertilizantes químicos por los orgánicos. Estudios de este tipo deben continuar para demostrar la conclusión anterior.

## Literatura citada

- Ávila-Cisneros, R., Rocha-Valdez; J.L., Ogaz; A., González-Torres; A. y González-Avalos R. (2018). La fertilización orgánica: Un área de oportunidad sustentable para incrementar los rendimientos físicos y económicos de la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Agronegocios*. Séptima época. Año XXII, volumen 42. Hermosillo Sonora México.
- Banco de México-FIRA. (1997). *Análisis de rentabilidad de la producción de leche. Subdirección regional norte*. Residencia estatal, Comarca Lagunera, Gómez Palacio Durango.
- Correa-Morocho, S.P. (2013). Evaluación de diferentes dosis de vermicompost y giberelinas en la producción de forraje de *Medicago sativa* L. (alfalfa). Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Riobamba, Ecuador.
- Flores-Aguilar, J. de J.; Vázquez-Rosales, R.; Solano-Vergara, J. de J.; Aguirre-Flores; V.; Flores-Pérez, F.I.; Bahena-Galindo, M.E.; Oliver-Guadarrama, R.; Gramnjero-Colin, A.E.; y Orihuela-Trujillo, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. *Terra latinoamericana*, Vol. 30(3) Chapingo Estado de México.
- Gasque-Gómez, R. (2008). *Enciclopedia bovina*. Primera edición. Capítulo I: Alimentación de bovinos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM. ISBN: 978-970-32-4359-4. Ciudad Universitaria, México, D.F.
- González-Crende, C. (2014). *Nutrición animal*. Primera edición. ISBN: 004260. Facultad de Ciencias Agrarias/Universidad de Belgrano, Torre universitaria, Zavala 1837, Primer nivel. Buenos Aires, Argentina. P. 16.
- Jolalpa-Barrera, J.L., Espinoza-García, J.A.; Cuevas-Reyes; V.; Moctezuma-López, G.; y Romero-Santillán; F. (2009). Necesidades de investigación de la cadena productiva de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*. XIII (25). Torreón Coahuila México.
- Mendoza-Pedroza S.I., Hernández-Garay A., Pérez-Pérez J., Quero-Carrillo A.R., Escalante-Estrada J.A.S., Zaragoza-Ramírez J.L. y Ramírez-Reyna O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(3). Mérida Yucatán México.
- Molina M.J.C y Córdova T.L. (2006). Informe nacional sobre el estado de los recursos filogenéticos para la agricultura y la alimentación. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación y la Sociedad Mexicana de Filogenética. Chapingo, Edo. De México En: <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/mexico.pdf>
- Muslera, P. y Ratera C. (1991). *Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento*. 2a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 674.

- Olivares-Sáenz; E. (2012). FAUANL, versión 1.1, Prueba. Escobedo, Nuevo León, México.
- Reyes-Porata; A., Bolaños-Aguilar; ED., Hernández-Sánchez; D., Aranda-Ibañez; EM. Y Reyes-Izquierdo; F. (2009). Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos de pasto humidícola *Brachiaria humidícola* (Rendle) Scheweick. *Revista Universidad y Ciencia* 25(3). Villahermosa, Tabasco, México.
- Rocha-Valdez; J.L. y Ávila-C; R. 2017. Bioestadística aplicada a la medicina veterinaria e investigación pecuaria. Editorial Académica Española. *BahnhofstraBe* 28, 66111. Saarbrucken, Alemania.
- Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C. D., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L., & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y forrajes*, 39(2), 102-110.
- Valdés Quintanilla M. (2016). Sector agropecuario 2015. Resumen económico y compendio noticioso 2015 Comarca Lagunera. Suplemento especial. El siglo de Torreón; periódico regional. Cía. Editora de la Laguna S.A. de C.V. 01 de enero de 2016. Torreón Coahuila México.
- Vázquez-Vázquez, C; García-Hernández, J.L.; Salazar-Sosa, E.; Murillo-Amador, B.; Orona-Castillo, I.; Zuñiga-Tarango, R.; Rueda-Puente, E.; y Preciado-Rangel, P. (2010). Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. INIFAP, 1(4). Morelos, México.
- Villarreal-González, J.R; Aguilar-Valdez, A. y Luevano-González, A. (1998). El impacto socioeconómico de la Ganadería Lechera de la Región Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*. III (3). Torreón Coahuila México.

# Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de malla sombra con diferentes dosis de fertilización orgánica en la Comarca Lagunera

Cirilo Vázquez Vázquez<sup>1</sup>, Alejandro Espinoza Barajas<sup>2</sup>,  
Miguel Ángel Gallegos Robles<sup>2</sup>, Ignacio Orona Castillo<sup>2</sup>,  
Edmundo Castellanos Pérez<sup>2</sup>, Manuel Fortis Hernández<sup>3</sup>

## Resumen

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar los efectos que tuvieron diversas fuentes de fertilización química y orgánica sobre parámetros de producción en el cultivo de tomate, y sobre características físicas y químicas del suelo. El trabajo se llevó a cabo en la Comarca Lagunera bajo el sistema de producción en malla sombra. El experimento se realizó en el campo experimental de la FAZ-UJED. Los tratamientos fueron aplicaciones de abonos orgánicos a base de estiércol bovino solarizado (EBS) en cantidades de 30 y 60 t ha<sup>-1</sup>, así como fertilización química (FQ) aplicando la dosis 250–80–00 de N–P–K (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), y un testigo absoluto. Asimismo, se evaluó el sistema de producción a tallo sencillo (S) y tallo doble (D). Las variables evaluadas fueron: análisis inicial y final del suelo, calidad comercial y nitratos en frutos de tomate y rendimiento. Los resultados muestran que el tratamiento con fertilización química presenta los mejores resultados en rendimiento (89.79 Mg ha<sup>-1</sup>) y calidad comercial (91.7 %), sin embargo, con la dosis de 60 t ha<sup>-1</sup> de

---

<sup>1</sup> Autor responsable. Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Ejido Venecia, Durango (cirvaz60@hotmail.com).

<sup>2</sup> Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Ejido Venecia, Durango.

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Ejido Ana km 7.5. Carr. Torreón -San Pedro. Torreón, Coah., México.

estiércol solarizado se pueden obtener rendimientos ( $83.41 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y frutos de buena calidad (88.6 %). Por lo que la producción de tomate en malla sombra, aplicando abonos orgánicos y con manejo agronómico a un solo tallo puede ser una alternativa económica y ecológica para los productores de esta región.

Palabras clave: *Solanun lycopersicum*, estiércol, solarización.

## Introducción

México ocupó el décimo lugar en la producción de tomate a nivel mundial con 2,875,174 toneladas en 2017, mientras que China se mantiene en el primero, con 52,586,860 toneladas, que significa una producción diecisiete veces mayor que la de México. La mayor parte del tomate producido en México se exporta a los Estados Unidos, país que adquiere el 99.7 % de las exportaciones. La producción nacional la encabeza el estado de Sinaloa, con 924,153 toneladas, de las cuales el 81 % se practica en condiciones de malla sombra mientras que el resto se realiza en invernadero. La producción nacional crece 8.1 % gracias a un incremento de 3 kg en el rendimiento por metro cuadrado, comparado con lo registrado en 2015 (SIAP, 2017).

La superficie destinada a este cultivo en México es de aproximadamente 52,000 hectáreas anuales, y en la Comarca Lagunera el tomate es la tercera hortaliza en cuanto a superficie cultivada. Datos presentados en el resumen económico de la SAGARPA señalan que en la Comarca Lagunera se sembraron, en el año 2017, un total de 960 hectáreas, superficie de la cual se obtuvieron 119,623 toneladas de tomate fresco con un valor de producción de 1,070,214 miles de pesos, representando el 20.4 % del valor total producido por los cultivos del ciclo agrícola primavera-verano, dejando ver claramente su importancia económica.

La mayor producción de tomate se obtiene a campo abierto utilizando técnicas convencionales de producción, lo que acarrea a su vez una serie de problemáticas. Este tipo de agricultura está basada en el uso de agroquímicos, como insecticidas, fungicidas, fertilizantes, herbicidas y otros productos sintéticos, generando un alto nivel de contaminación ambiental y afectando la salud de los consumidores. La principal alternativa de solución a la problemática actual es la agricultura sustentable, la cual es una combinación de métodos genéticos, agronómicos y biotecnológicos; es un sistema de producción económico que busca optimizar la calidad del producto, proteger el medio ambiente y la salud humana.

Con relación a los fertilizantes, estos han sido una de las herramientas más importantes para el desarrollo de la agricultura tendiente a fomentar la seguridad alimentaria y a mantener la productividad del suelo (FAO, 2002). A nivel mundial, su uso está siendo cada vez más habitual debido al impacto de las prácticas de cultivo más intensivas y a los períodos de barbecho más cortos, lo cual afecta la fertilidad del suelo.

En América Latina y el Caribe el uso de fertilizantes creció en forma sostenida entre 2002 y 2012, en tanto que, el promedio de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados por hectárea de tierra arable

en México, en el 2011, osciló entre 57 y 77 kg/ha (FAO, 2014). Sin embargo, son varios los efectos negativos por su uso; uno de ellos es precisamente la llamada eutrofización, que es el arrastre de estos nutrientes a cuerpos de agua e incluso al sistema marítimo. Hay 250,000 km<sup>2</sup> de mar que están muertos por el arrastre de fertilizantes químicos en todo el mundo (Morales, 2013). El uso intensivo de agroquímicos en la producción agrícola acarrea problemáticas de salud, contaminación ambiental y un excesivo gasto.

El desarrollo integral de las hortalizas y frutales está condicionado a que las plantas tengan las condiciones ambientales adecuadas y a que puedan nutrirse con oportunidad y suficiencia con los elementos que son esenciales para iniciar y concluir su ciclo de vida. Los nutrientes constituyen la materia prima básica para cualquier actividad en el interior de las plantas (Yáñez-Reyes, 2008). Por lo que urge encontrar propuestas de nuevos métodos de cultivo que sean más amigables con el ambiente, que permitan generar una metodología enfocada a tener un mayor rendimiento o igualarlo al que se genera con insumos agroquímicos, sin contaminar o generar tantos deshechos.

En este sentido, la investigación que da origen al presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de estiércol bovino solarizado en el rendimiento y calidad del cultivo de tomate.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del estado de Durango (FAZ-UJED), ubicado en la Comarca Lagunera de Durango. Dicha zona se halla localizada en la porción Norte de los Estados Unidos Mexicanos. Las coordenadas geográficas donde se estableció el experimento corresponden a 25°46'54.50'' de latitud y 103° 20'30'' de longitud; con una altura sobre el nivel del mar de 1110 metros.

### ***Características de la malla sombra***

La malla sombra fue fabricada con perfiles cuadrados de 1.25" y 1.5" en calibre de 2 mm, estructura de acero galvanizado. La ventilación está provista de cortinas enrollables por medio de manivela, acondicionada con malla anti-insectos color cristal 25 x 25 hilos/pulgada cuadrada. La cubierta de polietileno fue tratada contra rayos Ultravioleta, Cal. 720, difuso, 30 % sombra. Cuenta con un sistema de riego por goteo.

### ***Diseño experimental y tratamientos utilizados***

La investigación se realizó con un diseño de bloques al azar con dos factores (fertilización X tallo sencillo y doble) y tres repeticiones. Los tratamientos emplearon aplicaciones de abonos orgánicos a base de estiércol bovino solarizado (EBS) en cantidades de 30 y 60 t ha<sup>-1</sup>, así como fertilización química (FQ) aplicando la dosis 250–80–00 de N–P–K (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), y un testigo absoluto, al cual no se le aplicó ningún tipo de fertilización. Asimismo, se evaluó el sistema de producción a tallo sencillo (S) y tallo doble (D). Quedando los tratamientos de la siguiente manera: T1 = Testigo absoluto a tallo sencillo (S), T2 = testigo absoluto a doble tallo (D), T3 = 30 t ha<sup>-1</sup> EBS a tallo sencillo (S), T4 = 30 t ha<sup>-1</sup> EBS a doble tallo (D), T5 = 60 t ha<sup>-1</sup> EBS a tallo sencillo (S), T6 = 60 t ha<sup>-1</sup> EBS a doble tallo (D), T7 = 250-80-00 FQ a tallo sencillo (S), T8 = 250-80-00 FQ a doble tallo (D).

Se llevaron a cabo análisis de varianza y prueba de separación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) en el paquete estadístico SAS®. (SAS, 1999).

El estiércol bovino que se solarizó se obtuvo del establo de la Facultad (FAZ), y para el proceso de solarización durante dos meses se cubrió el estiércol con plástico transparente sin albedo, con un grosor de **100 µm**; la temperatura máxima que se alcanzó en la pila de solarización fue de 65 °C. Se incorporó el EBS un mes antes del trasplante.

La fertilización química fue a base de urea (46–00–00) como fuente de nitrógeno y MAP (fosfato monoamónico: 11–56–00) como fuente de fósforo. A los 40 días después del trasplante (ddt) se aplicó un tercio del fertilizante químico, y las otras dos partes restantes se aplicaron cada 20 días, después de la primera aplicación.

Respecto a las líneas de tallo sencillo (S) y doble tallo (D), durante los primeros días, después del trasplante, fueron seleccionados en cada planta los tallos a manejar. Una vez seleccionados estos el manejo se realizó de igual manera, es decir, fueron retiradas las yemas axilares de todas las plantas.

### ***Manejo agronómico del cultivo***

Fueron adquiridas plántulas de tomate Cv Palermo; se utilizó un distanciamiento de camas de 1.6 m y se hizo un trasplante en tresbolillo, con una distancia de 25 cm entre plantas, de manera que se estableció una densidad 40,000 plantas por ha<sup>-1</sup>. La preparación del suelo fue de manera convencional, con barbecho, dos pasos de rastra y nivelación del terreno. Se utilizó un sistema de riego por cintilla. Un día antes del trasplante se aplicó un riego de 12 horas hasta lograr que los bulbos de humedad lograran unirse. Posteriormente, se realizó un riego de sellado el cual duró seis horas para evitar la desecación de la plántula por la aireación

de la raíz. Durante el ciclo del cultivo se aplicaron riegos cada tres o cuatro días, dependiendo de las necesidades hídricas del cultivo, los cuales tuvieron duración de ocho a diez horas.

Para el control de plagas como la mosquita blanca, trips y el gusano del fruto, se aplicaron periódicamente productos orgánicos como Insecta-plus® y extractos de ajo y neem. Las aplicaciones se realizaron cada cuatro días a razón de 250 cc en 20 litros de agua. El control de hongos fue preventivo, para ello se aplicó al suelo y cerca del tallo, sulfato cúprico en intervalos de 10 a 15 días.

Al alcanzar aproximadamente 45 cm, el tallo principal fue tutorado con rafia agrícola para mantener erguidas las plantas. Cada tercer día se eliminaron los brotes axilares, y cuando los primeros racimos alcanzaron el punto rosado, se eliminaron las hojas por debajo de estos, facilitando la aireación y la coloración de los frutos.

Se efectuaron labores culturales como colocación de tapetes de cal a la entrada de la malla sombra, extracción y eliminación de plantas enfermas o que presentaron síntomas y limpieza del área de trabajo, así como la desinfección de las herramientas que se usaron para podas, aclareos y manejo del cultivo.

### ***Variables evaluadas***

Análisis de suelo. Antes de empezar y al finalizar el experimento, se tomaron muestras representativas a dos profundidades 0 – 15 y 15 – 30 cm. Las variables que se evaluaron en las muestras de suelo fueron: materia orgánica (%) (MO), pH, CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y nitratos (ppm) ( $\text{NO}_3^-$ ), se determinaron de acuerdo a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002).

Rendimiento y calidad comercial. Para evaluar la producción, se cosecharon tres plantas de tomate por cada repetición, realizando los cortes a los 70, 75, 80, 85, 90, 95 y 100 ddt. Estas plantas sirvieron para determinar el diámetro ecuatorial y polar de 10 frutos de tomate por planta, así como su peso, sólidos solubles (°Brix) y contenido de nitratos. Para el rendimiento se pesaron todos los frutos cosechados. La lectura de °Brix se realizó con un refractómetro (Poket refracometer®) de la marca ATAGO®, y los nitratos, con ayuda de un sensor especial de marca HORIBA®.

El diámetro polar y ecuatorial son variables que se tomaron con el fin de dar una clasificación a los frutos de tomate. Dicha variable se realizó con ayuda de un vernier midiendo todos los tomates que fueron cosechados.

## Resultados y discusión

### **Sólidos solubles totales (°Brix)**

En el cuadro 1 se puede observar que no hubo diferencias significativas en los sólidos solubles (°Brix) entre tratamientos ni repeticiones. Sin embargo, en cuanto al tipo de espalderas (tallo doble o sencillo), se presentan diferencias estadísticas.

Cuadro 1. Análisis de varianza para sólidos solubles (°Brix) en el cultivo de tomate con diferentes fuentes de fertilización y sistema de manejo de producción (tallo sencillo y doble)

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	
Repetición	2	2.738358	1.399117	23.79	<0.0001 NS
Tratamiento	3	0.356918	0.118972	2.07	0.1507 NS
Factor	1	0.875391	0.875391	15.21	0.0016
Tratam*Factor	3	0.130131	0.043377	0.75	0.5383 NS
Error	14	0.805798	0.055755		
Total	23				

C.V. = 5.4430. NS = No significativo (0.05).

Al realizar la prueba de separación de medias para el tipo de manejo del cultivo (Cuadro 2), se observa que el manejo a doble tallo presentó el mayor contenido de azúcar en los frutos de tomate. Al respecto, Santiago *et al.* (1998), señalan que el tomate para consumo en fresco debe de tener contenidos mayores de 4.0 °Brix. Díez (1995), señala que en tomate destinado para procesado y consumo en fresco, los contenidos de los sólidos solubles deben situarse entre 4.5 y 5.5, esto es, que en la presente investigación el tomate a doble tallo sería aceptado, ya que cumple con estos rangos.

Cuadro 2. Comparación de medias para sólidos solubles (°Brix) para tallo sencillo y doble

Tratamiento	Valor medio (Brix)
1 Tallo doble (D)	4.5986 (a)
2 Tallo sencillo (S)	4.2167 (b)

DMS = 0.2101. \*Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).  
Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

### Nitratos en frutos de tomate

Los resultados muestran que el tratamiento testigo presentó la mayor concentración de nitratos en fruto. Los tratamientos con aplicación de abonos orgánicos estadísticamente fueron iguales a las concentraciones de nitratos en fruto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias para la concentración de nitratos (ppm) en frutos de tomate

Tratamientos	Valor medio (ppm)
Testigo absoluto	204.02 a
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	186.60 b
Fertilización química (250-80-00)	180.99 b
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> EBS	169.90 b

\*Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).  
Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

### Rendimiento

Respecto al rendimiento, el análisis de varianza mostró diferencia significativa para los diferentes tratamientos de fertilización (Cuadro 4). Al realizar la prueba de separación de medias, el mayor rendimiento se presentó en el tratamiento químico (250-80-00). Los tratamientos con aplicación de EBS fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 4. Comparación de medias para la variable rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), obtenido en el cultivo de tomate por efecto de aplicación de diferentes fuentes de fertilización

Tratamiento	Valor medio	Valor obtenido en t ha <sup>-1</sup>
Fertilización química (250-80-00)	2155.1 a	89.79
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	2002.2 b	83.41
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> de EBS	1694.9 b	70.58
Testigo absoluto	1572.9 b	65.53

DMS = 532.24. \*Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).  
Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

### Calidad comercial

El análisis de calidad mostró que el tratamiento con dosis químicas obtuvo la mejor calidad, con 91.7 % de primera calidad (CH+M), mientras que el tratamiento testigo tuvo un porcentaje de calidad más bajo (85). Los tratamientos con abonos orgánicos registraron 89 % de calidad, que podrían competir con el tratamiento químico, pero sin necesidad de aplicar tantos fertilizantes sintéticos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Calidad comercial de frutos de tomate producidos en malla sombra con aplicaciones de fertilizantes químicos (FQ) y abonos orgánicos (EBS)

Tratamiento	CH	M	G	XL	SC
	%				
Testigo absoluto	50.7	33.1	1.4	0	14.9
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> de EBS	51.4	37.7	1.4	0	9.4
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	59.4	29.2	1.0	0	10.4
Fertilización química (250-80-00)	55.6	36.1	0.0	0	8.3

Donde: CH = Chico, M = Mediano, G = Grande, XL= Extragrande, SC = Sin calidad. Estándar de tamaños según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano.

Al realizar el análisis de calidad comercial considerando el sistema de producción de tallo sencillo (S) y tallo doble (D), los resultados muestran que se obtuvieron mejores resultados al inducir la planta a tallo sencillo (S). El porcentaje de frutos de primera calidad en tallo sencillo (S) fue, en promedio, de 90.37 %, mientras que en tallo doble su valor promedio fue de 86.67 % (Cuadros 6 y 7).

Cuadro 6. Calidad comercial de frutos de tomate producidos en malla sombra con aplicaciones de fertilizantes químicos (FQ), abonos orgánicos (EBS) y manejados a tallo sencillo (S)

Tratamiento	CH	M	G	XL	SC
	%				
Testigo absoluto	45.5	36.0	1.5	0	16.7
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> de EBS	40.8	49.0	3.1	0	7.1
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	61.30	33.3	2.2	0	3.2
Fertilización química (250-80-00)	47.10	48.5	0.0	0	4.4

Donde: CH = Chico, M = Mediano, G = Grande, XL= Extragrande, SC = Sin calidad. Estándar de tamaños según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano (DOF, 1998).

En el caso de los frutos obtenidos a un solo tallo (S), el tratamiento químico presentó la mayor calidad, con un porcentaje de 95.6 %, seguido del tratamiento con 60 t ha<sup>-1</sup> de EBS, con 94.6 %. Para el manejo a doble tallo (D), los valores fueron de 89 y 84 %, respectivamente (Cuadro 7). El tratamiento de 30 t ha<sup>-1</sup> EBS a doble tallo (D) presentó 88.6 % de frutos de primera calidad, y el tratamiento testigo (sin fertilizar), en ambos manejos (S y D) presentaron los porcentajes más bajos de calidad comercial, siendo 81.5 y 84.8 %, respectivamente.

Cuadro 7. Calidad comercial de frutos de tomate producidos en malla sombra con aplicaciones de fertilizantes químicos (FQ), abonos orgánicos (EBS) y manejados a tallo doble (D).

Tratamiento	CH	M	G	XL	SC
%					
Testigo absoluto	54.45	30.40	1.20	0	13.40
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> de EBS	60.50	28.10	0.00	0	11.14
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	60.00	24.30	0.00	0	15.60
Fertilización química (250-80-00)	61.30	27.70	0.00	0	10.80

Donde: CH = Chico, M = Mediano, G = Grande, XL = Extragrande, SC = Sin calidad. Estándar de tamaños según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano.

### ***Análisis inicial y final del suelo***

En el cuadro 8 se presentan los valores iniciales de los parámetros físicos y químicos del suelo al iniciar el experimento.

En el caso de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el tratamiento con fertilización química fue el que mayor cantidad dejó en el suelo; el análisis final presentó un incremento de los nitratos en más del 300 % respecto a la concentración inicial. Los tratamientos con estiércol de 30 y 60 t ha<sup>-1</sup> incrementaron el contenido de nitratos en 269 % y 230 %, respectivamente.

El análisis de las muestras de suelo realizado al final del experimento, mostró en el análisis de varianza diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 9). Esto significa que al aplicar los diferentes tipos de abonos éstos modificaron su concentración.

Cuadro 8. Características iniciales del suelo, físicas y químicas, donde se llevó a cabo el experimento de tomate en malla sombra

Propiedades	Valor
CE	< 2.0 dSm <sup>-1</sup>
Ph	6.8
MO	1.36 %
CIC	> 25 meq. 100 g <sup>-1</sup>
Textura	Arcillosa
Nitratos	6 mg kg <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.68 mg kg <sup>-1</sup>
K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.9 mg kg <sup>-1</sup>
Ca	3.8 mg kg <sup>-1</sup>
Mg	3.8 mg kg <sup>-1</sup>

Fuente: Análisis realizado en el Laboratorio de suelos de la FAZ – UJED.

Cuadro 9. Comparación de medias para nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), materia orgánica (MO), fósforo (P) y conductividad eléctrica (CE) en muestras de suelo obtenidas al finalizar el experimento de producción de tomate

Tratamiento	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg kg <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	MO %	P mg kg <sup>-1</sup>	CE dS m <sup>-1</sup>
Testigo absoluto	11.15 c	31.19 b	1.36 c	32.63 c	3.07 b
Aplicación de 30 t ha <sup>-1</sup> de EBS	14.86 b	37.22 b	1.77 b	38.49 b	4.22 a
Aplicación de 60 t ha <sup>-1</sup> de EBS	16.14 b	41.30 a	2.25 a	48.29 a	3.99 b
Fertilización química (250-80-00)	20.62 a	42.67 a	1.37 c	50.45 a	3.61 b

Fuente: Análisis realizados en el Laboratorio de suelos de la FAZ – UJED. \*Diferencias entre medias obtenidas mediante prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes.

Con respecto a amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), la fertilización química y la aplicación de 60 t ha<sup>-1</sup> de EBS, presentaron concentraciones altas de este ion. Mientras que el tratamiento de 30 t ha<sup>-1</sup> EBS y el tratamiento testigo presentaron los valores más bajos. Los resultados para materia orgánica (MO), indican que los tratamientos

de 30 y 60 t ha<sup>-1</sup> de estiércol incrementaron la MO del suelo, dejando claro que la aplicación de abonos a base de estiércol bovino solarizado incrementa notoriamente su concentración.

Para fósforo, en el cuadro 9 se observa que el tratamiento químico y el de 60 t ha<sup>-1</sup> EBS presentaron el mayor incremento de P en el suelo, mientras que el tratamiento de 30 t ha<sup>-1</sup> EBS y el testigo presentaron incrementos menores. Se puede señalar que el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y orgánicos modifica de manera significativa la concentración de P en el suelo en condiciones de malla sombra.

Con relación a conductividad eléctrica (CE) todos los tratamientos incrementaron su valor (Cuadro 9). Esto es importante, ya que se asume que cantidades elevadas de fertilizantes químicos, así como de estiércol, incrementan la salinidad en los suelos, lo que obliga a dosificar estas cantidades en función de los análisis de suelo y el cultivo a producir.

## Conclusiones

El tratamiento con fertilización química mostró los mejores resultados en rendimiento y calidad comercial en frutos de tomate; sin embargo, la dosis de 60 t ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino solarizado puede representar una alternativa a la aplicación de fertilizantes sintéticos, ya que se obtienen rendimientos y frutos de buena calidad. El tipo de manejo de tallo doble registra un efecto negativo en la calidad comercial de los frutos, no obstante, tiene un efecto al aumentar ligeramente la cantidad de azúcares en los frutos. En este sentido, la producción de tomate en malla sombra, aplicando abonos orgánicos y con manejo agronómico a un solo tallo, puede ser una alternativa económica y ecológica para los productores de la Comarca Lagunera. Esto es importante, ya que en el futuro estos productores tendrán que buscar producir tomates con un enfoque ecológico, logrando con esto que en el mediano plazo puedan llegar a obtener la certificación de su producto como orgánico.

## Literatura citada

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2002). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México, D.F. 85 p.
- Díez, M.J. (1995). Tipos varietales en el cultivo del tomate. Mundi-Prensa, Madrid. 793 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). World Fertilizer Trends and Outlook to 2019. Summary Reports. Italia, Roma, 38 p.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002). Los fertilizantes y su uso. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. Land and Water Division. Italia, Roma, 83 p. (<http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>).
- Morales Ibarra, M. (2013). Los biofertilizantes, una alternativa viable y deseable. Insumos para la producción agrícola, semillas, agua y energía fertilizantes y agroquímicos. Procuraduría Agraria, Estudios Agrarios, 93-119 p.
- Norma Oficial Mexicana (NMX). (1997). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Hortalizas frescas – Tomate - (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – Especificaciones NMX-FF-031-1997-SCFI. México, D.F. 29 p.
- Santiago J., Mendoza, M., Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Producción agrícola: Información estadística sobre producción de la agricultura mexicana. México. (<https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>) (Consulta: septiembre 20, 2019).
- Statistical Analysis System (SAS).** (1999). **SAS/STAT® 9.2. Users's guide release.** Cary: SAS. Institute Inc., USA.
- Yañes Reyes, J. N. (2008). Efectos de nutrientes sobre la fisiología y desarrollo de hortalizas y frutales. *De Riego*, 70-75.

## Fertilización orgánica del cultivo de tomate en Ecuador

Juan José Reyes Pérez<sup>1</sup>, Emmanuel Alexander Enríquez Acosta<sup>2</sup>,  
Ricardo Augusto Luna Murillo<sup>2</sup>, Miguel Ángel Ramírez Arrebato<sup>3</sup>,  
Aida Tania Rodríguez-Pedroso<sup>3</sup>, Liliana Lara Capistrán<sup>4</sup>,  
Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>5</sup>

### Resumen

La fertilización orgánica constituye una alternativa amigable con el medio ambiente que puede emplearse para lograr una producción sustentable de tomate. El objetivo del presente capítulo es documentar la información acumulada sobre la nutrición con fertilizantes orgánicos en el cultivo del tomate, basada en las experiencias mundiales y, en particular, de Ecuador. Para ello se discuten experiencias donde se caracterizan los abonos orgánicos que suelen emplearse con mayor frecuencia en este cultivo, tanto para su aplicación edáfica (humus de lombriz y bocashi), como para la aplicación foliar (ácidos húmicos, Agrostemín y otros bioestimulantes). Se presentan resultados del efecto de dos abonos edáficos: bocashi y humus de lombriz, y dos abonos foliares: ácido húmico y Agrostemín sobre las variables del crecimiento vegetal: altura de la planta, número de flores y hojas, así como el rendimiento y sus componentes, número de frutos totales y

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia (jjreyesp1981@gmail.com), Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. La Maná, Ecuador.

<sup>3</sup> UCTB Los Palacios, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Los Palacios Pinar del Río.

<sup>4</sup> Universidad Veracruzana Campus Xalapa, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universitaria. Xalapa, Veracruz, México.

<sup>5</sup> Autor de correspondencia (lhernandez@cibnor.mx), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

por cosecha, peso de los frutos por cosecha y total. Se demuestra que la aplicación de fertilizantes orgánicos, tanto edáficos como foliares, provoca valores superiores en altura de la planta y número de hojas, que los controles sin fertilizar, cuando se emplea bocashi o humus de lombriz; además, todos los tratamientos que recibieron fertilizantes orgánicos tuvieron mayor número y peso de los frutos de tomate que el control sin fertilizar. Adicionalmente, estos frutos se obtienen sin los conocidos problemas de contaminación del medio ambiente y toxicidad de los fertilizantes químicos, lo cual le aporta un valor agregado para su comercialización y consumo seguro por los seres humanos.

Palabras clave: humus, bocashi, hortaliza, nutrición.

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) procede de las regiones tropicales de América del Sur. En países como Perú, Bolivia y Ecuador aún se encuentran variedades silvestres, de las cuales procede el tomate cultivado. Esta es la hortaliza de mayor preferencia y de más alto consumo en el mundo, tanto como producto fresco como procesado (FAO, 2018). Se estimó que en 2016 la producción global llegó a las 130 millones de toneladas (Freshplaza, 2016). Específicamente, en el Ecuador se produjeron 71,935 toneladas en 2015, en siembras distribuidas en todas las regiones del país (INEC, 2016).

El tomate tiene buena calidad nutritiva; posee entre 3.4 y 8 % de materia seca, 2.4 - 6.6 % de azúcares, 0.95 % de albumina, también es relativamente rico en vitaminas; contiene entre 20 y 45 mg de vitamina C, 0,045 mg de vitamina B2, entre otras. En los frutos también se encuentran pequeñas cantidades de ácido cítrico, málico y pectinas.

Este cultivo extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, por lo que se necesita aplicarle una fertilización adecuada para cumplir sus requerimientos nutricionales y lograr buenas cosechas (Betancourt y Pierre, 2013). Al igual que otras hortalizas, la mayoría de la producción se obtiene bajo un sistema de producción intensiva, con una grande y creciente utilización de agroquímicos sintéticos que puede dañar la salud humana y contaminar el medio ambiente lo cual se ha señalado como una tendencia preocupante en América Latina (Reyes y Cortés, 2017).

Dentro de las alternativas utilizadas para reducir las aplicaciones de fertilizantes minerales se encuentra el uso de abonos orgánicos (Luna *et al.*, 2015) así como de microorganismos que establecen asociaciones simbióticas con las plantas tales como las micorrizas o las bacterias asociativas, que realizan procesos importantes como la fijación biológica de nitrógeno o solubilización de elementos para que estén más disponibles para las plantas (Rosales *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2015).

El uso de abonos orgánicos es una práctica que rápidamente se ha extendido a escala mundial por su posibilidad de reciclaje eficiente de los incorrectamente conocidos como “desechos agropecuarios”, lo cual limita importantes problemas actuales, entre estos, la creciente pérdida de fertilidad y contaminación de los suelos o el calentamiento global al que contribuye significativamente la aplicación de fertilizantes minerales.

Por otra parte, en años recientes, la demanda de productos agrícolas desarrollados orgánicamente se ha incrementado, debido a que el empleo de los abonos orgánicos permite una mínima contaminación con productos químicos sintéticos y sustancias nocivas, además se mejoran las características cualitativas de los vegetales consumidos por el hombre (Tourat, 2000). En ese sentido, los tomates producidos orgánicamente tienden a concentraciones más altas de vitamina C, licopeno y bajas concentraciones de nitratos (Worthington, 2001).

Respecto a los abonos orgánicos, son enmiendas a base de productos de origen animal o vegetal que se incorporan al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas o biológicas o que se aplican al follaje para potenciar su vigor y resistencia.

Algunos ejemplos de los abonos orgánicos edáficos, es decir, que pueden ser aplicados directamente al suelo, son el bocashi y el humus de lombriz, mientras que dentro de los que pueden aplicarse de forma foliar se encuentran los téis de compost, extractos de ácidos húmicos y bioestimulantes de distinta naturaleza tales como extractos de algas, formulaciones conteniendo aminoácidos y vitaminas, entre otros, que sirven para corregir deficiencias nutrimentales, así como estimular el crecimiento vegetal.

Adicionalmente, el humus de lombriz es uno de los abonos orgánicos más utilizados. Se ha demostrado que estimula el rendimiento de los cultivos, mejora la fertilidad natural de los suelos y aumenta su actividad microbiana (Borges *et al.*, 2014). Sin embargo, otros abonos orgánicos también han ganado la atención de los especialistas, entre ellos se encuentra el té de compost o extractos que contienen ácidos húmicos y fúlvicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta contribución tiene el propósito de discutir la aplicación de distintos abonos orgánicos, tanto foliares como edáficos, que pueden ser empleados en el cultivo del tomate en las condiciones del Ecuador.

### ***Requerimientos nutricionales del tomate y fertilización convencional***

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto al tipo de suelo, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante, se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados (Salvatore, 2012). En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados.

Es necesario suministrar los suficientes nutrientes al cultivo del tomate para cubrir su demanda nutricional y lograr buenas cosechas. Según estudios realizados, por cada 10 toneladas de tomate comercial se extraen del suelo 27 kg de N<sub>2</sub>, 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 46 kg de K<sub>2</sub>O, estas extracciones varían de acuerdo a las variedades sembradas, pero la diferencia no es significativa. Otros autores (Betancourt y Pierre, 2013) han encontrado que la extracción de nutriente por planta es 970-358-147 mg de NPK, 2603 y 405 mg de Ca y Mg, respectivamente.

Se ha determinado que la función de cada uno de estos elementos en la planta es muy importante para las cosechas. De esta forma, el suministro adecuado de nitrógeno es vital para el crecimiento y la fructificación, mientras que el fósforo ayuda a la regulación de los órganos vegetativos y generativos, asimismo, es imprescindible para garantizar la calidad del fruto. Respecto al potasio, éste ayuda fundamentalmente en el aumento del contenido de materia sólida y carbohidratos en el fruto, así como está directamente ligado a su correcta coloración y calidad

Como se ha mencionado anteriormente, la inmensa mayoría de la producción de tomate se obtiene en sistema de producción intensiva basado en fertilizantes químicos sintéticos. Estos compuestos tienen innegables ventajas como la rápida entrega de nutrientes a la planta y las altas concentraciones que pueden obtenerse con relativas pequeñas cantidades aplicadas.

Sin embargo, la aplicación de fertilizantes químicos tienen grandes desventajas, entre éstas se encuentra que más de la mitad de los nutrientes liberados se pierden por volatilización, lixiviación, escorrentía o se convierten a formas no disponibles —entre otros procesos—, mucho antes de que puedan ser totalmente aprovechados por las plantas, lo que provoca nuevas y excesivas aplicaciones. Adicionalmente, destruyen parte de la microbiota del suelo y provocan pérdidas de la fertilidad conllevando a procesos de salinización (Villarreal *et al.*, 2012; Mogollón *et al.*, 2016). Contaminan al medio ambiente, especialmente a los cuerpos de agua (FAO, 2011). También son responsables de la mayor parte de la emisión de gases de efecto invernadero por cambio de uso del suelo agrícola y la energía vinculada a la producción de fertilizantes (Benbi, 2013). Además, los costos son cada vez más elevados, lo que ha encarecido la producción agrícola.

### ***Fertilización orgánica en el cultivo del tomate***

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles de aplicación de los abonos orgánicos. En ese sentido, en el cultivo del tomate existen múltiples experiencias satisfactorias de buenas cosechas y efectos positivos en las plantas cuando se les aplicó fertilizantes orgánicos (Márquez-González *et al.*, 2013). Un resumen de estas experiencias se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Algunas experiencias en la fertilización del tomate con abonos orgánicos

Abonos	Tratamiento	Efectos	Referencias
Humus de lombriz líquido	Aplicaciones foliares a tomate var Amalia en condiciones de producción	Mejores indicadores de crecimiento y rendimiento	Arteaga <i>et al.</i> , 2006
Compost de jacinto de río	Aplicación al suelo	Aumento del rendimiento	Mashavira <i>et al.</i> 2015
Composta + composta solarizada	Tratamiento en invernadero var. Brillante	Alta producción con sustitución parcial de la solución nutritiva	Piña <i>et al.</i> , 2016
Extracto de algas <i>Grammatophora</i> sp.	Aplicación foliar al cv. <i>Río grande</i> en condiciones de invernadero	Plántulas de tomate con mayor biomasa y mejor nutridas	Fortis <i>et al.</i> , 2016
Té de compost	Aplicación foliar cv. <i>Granitio</i> y <i>Romina</i> en condiciones de invernadero	No se encontró diferencias de rendimiento con la fertilización mineral	Rodríguez <i>et al.</i> , 2009

Fuente: Elaboración propia.

Bocashi. Es un material orgánico fermentado que se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos y temperaturas controladas a través de poblaciones de microorganismos existentes en los propios residuos que, en condiciones favorables, producen un material parcialmente estable de lenta descomposición. Está formado por una mezcla de residuos vegetales, minerales, abonos animales y tierra negra. La fermentación producida permite la proliferación de los microorganismos que se encargan de la descomposición con lo cual, al aplicar bocashi en los cultivos, se estimula a los microorganismos existentes en el suelo. El bocashi es una receta japonesa que transforma residuos orgánicos a un material parcialmente descompuesto.

En el proceso de elaboración del bocashi hay dos etapas bien definidas. La primera etapa es la fermentación de los componentes del abono cuando la temperatura puede alcanzar hasta 70-75 °C por el incremento de la actividad microbiana. Posteriormente, la temperatura del abono empieza a bajar por agotamiento o disminución de la fuente energética. La segunda etapa es el momento cuando el abono pasa a un proceso de estabilización, y solamente sobresalen materiales que presentan mayor dificultad para degradarse a corto plazo para luego llegar a su estado ideal para su inmediata utilización (Boudet *et al.*, 2017).

Abonos orgánicos foliares. La fertilización foliar generalmente complementa a las aplicaciones convencionales de fertilizantes edáficas, cuando éstas no se desarrollan suficientemente bien. Mediante la aplicación foliar se superan las limitaciones de la fertilización del suelo tales como la lixiviación, la precipitación de fertilizantes insolubles, el antagonismo entre determinados nutrientes, los suelos heterogéneos que son

inadecuados para dosificaciones bajas, y las reacciones de fijación/absorción, como en el caso del fósforo y el potasio (Pérez *et al.*, 2017).

La fertilización foliar puede ser utilizada para superar problemas existentes en las raíces cuando éstas sufren una actividad limitada debido a temperaturas bajas/altas (<10 °C, >40 °C), falta de oxígeno en campos inundados, ataque de nematodos que dañan el sistema radicular, y una reducción en la actividad de la raíz durante las etapas reproductivas en las cuales la mayor parte de los fotoasimilados es transferida para reproducción, dejando pocos para la respiración de la raíz. La nutrición foliar ha probado ser la forma más rápida para curar las deficiencias de nutrientes y acelerar la producción de las plantas en determinadas etapas fisiológicas.

Ácido húmico. Los ácidos húmicos son de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales son los constituyentes principales del humus, materia orgánica del suelo. Contribuyen a la calidad físico-química del mismo y también son precursores de combustibles fósiles (Arteaga *et al.*, 2006).

Las sustancias húmicas son una parte importante de materia oscura del humus y consisten en mezclas heterogéneas de moléculas de pequeño tamaño que se forman a partir de la transformación biológica de células muertas y se asocian mutuamente en estructuras supramoleculares, que pueden separarse en sus componentes de menor tamaño por fraccionamiento químico.

Agrostemín. Desde el punto de vista químico, este producto es una mezcla de aminoácidos de origen natural y otros compuestos orgánicos como: triptofano, adenina, ácido fólico (QSI, 2018).

El agrostemín tiene un amplio uso en el sector agrícola, pudiendo ser aplicado eficazmente y con importantes beneficios sobre una amplia variedad de cultivos.

## Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental “La Playita”, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la provincia de Cotopaxi. (Ubicación geográfica WGS84: Latitud S0°56' 27", Longitud W79°13' 25").

Las plántulas se obtuvieron de semillas previamente sembradas en bandejas de polietileno y cultivadas por 25 días; se trasplantaron a un suelo franco arenoso cuyas características se presentan en el cuadro 2.

En el momento de la siembra se aplicaron los abonos orgánicos edáficos a razón de 5 kg por metro cuadrado (33.6 kg por parcela) y los abonos foliares (1cc por cada litro de agua), según se muestra en el cuadro 3. Por otra parte, la composición química de los abonos utilizados se muestra en el cuadro 4, para los abonos edáficos, y cuadro 5, para abonos foliares.

Cuadro 2. Análisis de suelo del centro experimental La Playita de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Extensión La Maná

Parámetros	Valor	Interpretación
p H	5.80	Medio ácido
M.O %	4.40	Medio
NH <sub>4</sub> ppm	13.00	Bajo
P ppm	9.00	Bajo
K meq/100 g	0.16	Bajo
Ca meq /100 g	8.00	Medio
Mg meq/100 g	1.10	Medio
S ppm	10.00	Medio
Zn ppm	1.30	Bajo
Cu ppm	7.20	Alto
Fe ppm	118.00	Alto
Mn ppm	3.50	Bajo
Boro ppm	0.16	Bajo
Ca/Mg	7.20	
Mg/K	6.88	
Ca+Mg/K	56.88	

M.O. = Materia orgánica.

Fuente: Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas INIAP-Pichilingue.

Cuadro 3. Tratamientos con abonos edáficos y foliares

Tratamientos		
T1	E1 Humus de lombriz	+ F1 Ácido húmico
T2	E1 Humus de lombriz	+ F2 Agrostemín
T3	E2 Bocashi	+ F1 Ácido húmico
T4	E2 Bocashi	+ F2 Agrostemín
T5	E1 Humus de lombriz	
T6	Testigo (Sin fertilizante)	

Fuente: Elaboración propia.

En la información del cuadro 4 no se observan diferencias marcadas entre los abonos orgánicos edáficos; humus de lombriz y bocashi, aunque se conoce que en el bocashi hay una carga bacteriana significativa que no tiene el humus de lombriz.

Cuadro 4. Análisis de abonos edáficos

Parámetros	Abonos edáficos	
	<i>Humus</i>	<i>Bocashi</i>
Nitrógeno %	2.50	2.20
Fósforo %	0.24	1.00
Potasio %	0.56	1.29
Calcio %	1.28	5.36
Magnesio %	0.22	0.40
Azufre %	0.25	0.19
Boro ppm	39.00	54.00
Zinc ppm	66.00	150.00
Cobre ppm	24.00	31.00
Hierro ppm	1082.00	1037.00
Manganeso ppm	255.00	306.00

Fuente: Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas INIAP-Pichilingue.

Adicionalmente, las diferencias más marcadas entre los abonos foliares están en el apreciable mayor contenido de nitrógeno del ácido húmico, respecto al agrostemín, 8 % por 2 %, y el potasio 9,5 % por 0,2 %. Sin embargo el agrostemín tiene un significativo mayor contenido de potasio, con 14 % en comparación a un 2 %.

Cuadro 5. Análisis químico de abonos foliares

Parámetros (%)	Abonos foliares	
	<i>Ácidos húmicos</i>	<i>Agrostemín</i>
Nitrógeno	8.00	1.20-2.00
Fósforo	2.00	1.00-2.00
Potasio	2.00	14.0-16.0
Calcio	9.50	0.20-0.50
Magnesio	1.00	0.30-0.60
Azufre	1.50	1.00-2.00
Boro	2.50	
Hierro	0.25	0.01-0.350
Manganeso	0.02	0.005

Fuente: Ficha técnica NEDEAGRO.

Por otra parte, se evaluó la variable altura de planta a los 45 y 60 días; la altura se la tomó desde el suelo hasta el ápice final de la planta. Para la toma de esta variable se empleó un flexómetro, y los datos se registraron en centímetros. También se evaluó el número de frutos y el peso de los mismos frutos (g) por cosecha, con una balanza digital de precisión.

Se aplicó un diseño experimental de bloques, completamente al azar, (DBCA) con cuatro repeticiones. Cada repetición constituyó una parcela experimental con dimensiones 3.2 x 1.2 m por cada parcela, en cada una de ellas se distribuyeron nueve plantas sembradas con un marco 0.5 m entre plantas. Todos los resultados se procesaron por análisis de varianza y se obtuvieron las medias.

Las medias de los tratamientos se compararon por la Prueba de rangos múltiples de Tukey al 5 % de probabilidad, los datos fueron procesados en el paquete estadístico INFOSTAT.

## Resultados y discusión

Los abonos orgánicos aplicados mostraron distintos efectos en la altura de las plantas (Cuadro 6). Sin embargo, a los 45 días no se observaron diferencias significativas con el tratamiento control sin aplicación de fertilizante.

Cuadro 6. Altura de planta en la producción de tomate con la aplicación de dos abonos orgánicos

Tratamientos	Altura de planta (cm)	
	45 días	60 días
T1 = Humus de lombriz + Ácido húmico	138.19 a	165.83 a
T2 = Humus de lombriz + Agrostemín	130.31 a	157.28 ab
T3 = Bocashi + Ácido húmico	138.34 a	162.25 a
T4 = Bocashi + Agrostemín	133.03 a	161.92 a
T5 = Humus de lombriz	132.17 a	157.94 ab
T6 = Bocashi	135.03 a	164.56 a
T7 = Testigo (Sin fertilizante)	124.58 a	150.34 b
CV (%)	5.96	2.56

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes  $p < 0.05$ .

Fuente: Elaboración propia.

La mayor altura de planta de tomate se registró en el tratamiento bocashi más ácido húmico, con 138.34 cm, y la menor, con 124,58 cm en el tratamiento testigo (sin fertilizante). El tratamiento humus de lombriz más ácido húmico, presentó la mayor altura de planta a los 60 días, con 165.83 cm, y la menor altura en el

tratamiento testigo (sin fertilizante), con 150.34 cm, presentando diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, el humus de lombriz solo o en conjunto con agrostemín como fertilizante foliar, no mostró diferencias con el control. Este resultado puede atribuirse a los efectos estimulantes del crecimiento que presenta ácido húmico, lo cual está de acuerdo con lo planteado por Arteaga *et al.* (2006). También la aplicación bocashi solo o en combinación con los abonos foliares, tuvo diferencias con el control, lo cual evidencia la importancia de los microorganismos en el desarrollo de las plantas. En ese sentido, se conoce que el bocashi es un promotor de la actividad microbiana, y se ha demostrado incluso, que varios microorganismos del suelo son capaces de sintetizar promotores del crecimiento (Barea *et al.*, 2005), así también hormonas del crecimiento vegetal como el ácido indol-3-acético (AIA) (Srivastava *et al.*, 2009) con efecto estimulante en la altura de las plantas (Taiz y Zieger, 2002).

Por otra parte, al analizar la variable número de flores (Cuadro 7) no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos y el control.

De acuerdo con información del cuadro 7, el resultado puede indicar que esta variable puede estar más relacionada con la genética del cultivar empleado y, por lo tanto, no varía significativamente con tratamientos de fertilización.

Cuadro 7. Número de flores y hojas en las plantas de tomate con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos

Tratamientos	Número	
	Flores	Hojas
T1 = Humus de lombriz + Ácido húmico	8.25 A	15.86 a
T2 = Humus de lombriz + Agrostemín	8.47 A	14.64 ab
T3 = Bocashi + Ácido húmico	7.72 A	15.31 a
T4 = Bocashi + Agrostemín	7.47 A	15.50 a
T5 = Humus de lombriz	9.09 A	15.15 ab
T6 = Bocashi	7.64 A	15.28 a
T7 = Testigo (Sin fertilizante)	7.50 A	13.64 b
CV (%)	19.81	4.33

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, para el número de hojas se mantuvo la misma tendencia encontrada en la variable altura de las plantas. El tratamiento humus de lombriz más ácido húmico, y los que aplicaron bocashi solo o en

combinación, fueron superiores con diferencias significativas respecto al control, mientras que los que aplicaron humus de lombriz solo o con agrostemín no tuvieron diferencias con el control (sin fertilizante).

Estos resultados evidencian la importancia que pueden tener los microorganismos del suelo en los suministros de nutrientes en las plantas para alcanzar un desarrollo pleno en las potencialidades productivas del cultivo del tomate (Welbaum, *et al.*, 2014; Hang *et al.*, 2014).

Adicionalmente, el indicador número de frutos por cosecha también varió con la aplicación de los abonos orgánicos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Número de frutos por cosecha en la producción de tomate con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos

Tratamientos	Número de frutos por cosecha por planta											
	2 <sup>a</sup>		3 <sup>a</sup>		4 <sup>a</sup>		5 <sup>a</sup>		6 <sup>a</sup>		7 <sup>a</sup>	
T1 = Humus de lombriz + Ácido húmico	6.89	Ab	5.20	a	3.72	a	3.39	ab	2.36	ab	2.32	a
T2 = Humus de lombriz + Agrostemín	5.64	B	5.64	a	3.20	a	3.69	a	2.83	a	1.81	a
T3 = Bocashi + Ácido húmico	6.89	ab	5.25	a	3.36	a	3.47	a	2.56	ab	1.67	a
T4 = Bocashi + Agrostemín	7.34	A	5.06	a	3.20	a	2.92	ab	2.75	ab	2.57	a
T5 = Humus de lombriz	6.15	ab	5.46	a	3.18	a	2.73	ab	2.32	ab	2.37	a
T6 = Bocashi	6.97	ab	5.03	a	2.97	a	2.78	ab	2.28	ab	1.98	a
T7 = Testigo (sin fertilizante)	3.82	C	3.13	b	2.77	a	2.25	b	1.63	b	2.05	a
CV (%)	11,57		8,71		14,07		15,24		21,31		31,06	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda cosecha todos los tratamientos que recibieron fertilizantes orgánicos tuvieron valores superiores a los del tratamiento control (no fertilizado). Sin embargo, también hubo diferencias significativas entre el tratamiento de bocashi más agrostemín, con 7.34 frutos como media, y humus de lombriz más agrostemín, con 5.64.

Esta diferencia pudiera explicarse si se tiene en cuenta que el alto aporte de potasio del agrostemín puede provocar algún desbalance nutricional en las plantas de tomate; en el caso del bocashi, los microorganismos que contiene podrían rápidamente solubilizar los nutrientes y hacerlos disponibles a las raíces de las plantas (Bashri *et al.*, 2018), que permiten balancear los altos contenidos de potasio, pero cuando se

aplica solamente humus de lombriz no existe esta alta actividad microbiana en el suelo y la planta tiene que corregir este desbalance con sus propios mecanismos.

Este planteamiento se realiza de acuerdo con algunos autores que han encontrado que los microorganismos ayudan a las plantas a corregir rápidamente el desbalance nutricional (Bashri *et al.*, 2017) que se presenta en su metabolismo, como pudiera ser la aplicación de altos niveles foliares de potasio causados por agrostemín.

También en la tercera cosecha todos los tratamientos con abonos orgánicos fueron superiores, con diferencias significativas respecto al control. Sin embargo, en esta cosecha no hubo diferencias entre los tratamientos fertilizados.

En contraste, en la cuarta cosecha no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, incluido el control. Para la quinta y sexta cosecha el tratamiento bocashi más agrostemín fue el único superior con diferencias significativas con el control. No obstante, no se diferenciaron de los otros tratamientos fertilizados. La séptima cosecha tampoco mostró diferencias estadísticas entre tratamientos.

El mayor número de frutos totales (Figura 1) se registró en el tratamiento humus de lombriz más ácido húmico, con 23.88 frutos, y el menor valor se registró en el tratamiento control con 15.63, presentándose diferencias estadísticas. Algunos autores como Durand *et al.* (2013), han encontrado incluso valores muy superiores –37.28 frutos– con el empleo de micorrizas más humus de lombriz, lo cual demuestra que las enmiendas orgánicas favorecen significativamente el cultivo del tomate.

Asimismo, la variable peso de fruto (g) por cosecha mostró diferencias significativas cuando se aplicaron los distintos abonos orgánicos.

En las primeras cinco cosechas todos los tratamientos fertilizados con abonos orgánicos fueron superiores al control. Se destaca que el tratamiento humus de lombriz más ácido húmico siempre fue superior al control, excepto en la séptima y última cosecha, en la cual ningún tratamiento tuvo diferencias. No obstante, los mayores valores se registraron en la segunda cosecha en el tratamiento bocashi más ácido húmico, con 1201.92 g; en la tercera, quinta y sexta cosecha del tratamiento humus de lombriz más agrostemín, con 856.9; 422.06 y 333.28 g.

En la cuarta cosecha los mayores pesos se presentaron en el tratamiento humus de lombriz más ácidos húmicos, con 430.75 g, y en la séptima cosecha en el tratamiento bocashi más agrostemín, con 282.95 g. Se debe señalar que aunque no se encontraron diferencias en los tratamientos fertilizados, excepto en la cuarta cosecha donde el humus de lombriz más ácido húmico fue superior a la aplicación al suelo de bocashi, los tratamientos en combinación tuvieron siempre una tendencia a mayores pesos que los basados solamente en abonos edáficos (Cuadro 9).

7. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA DEL CULTIVO DE TOMATE EN ECUADOR

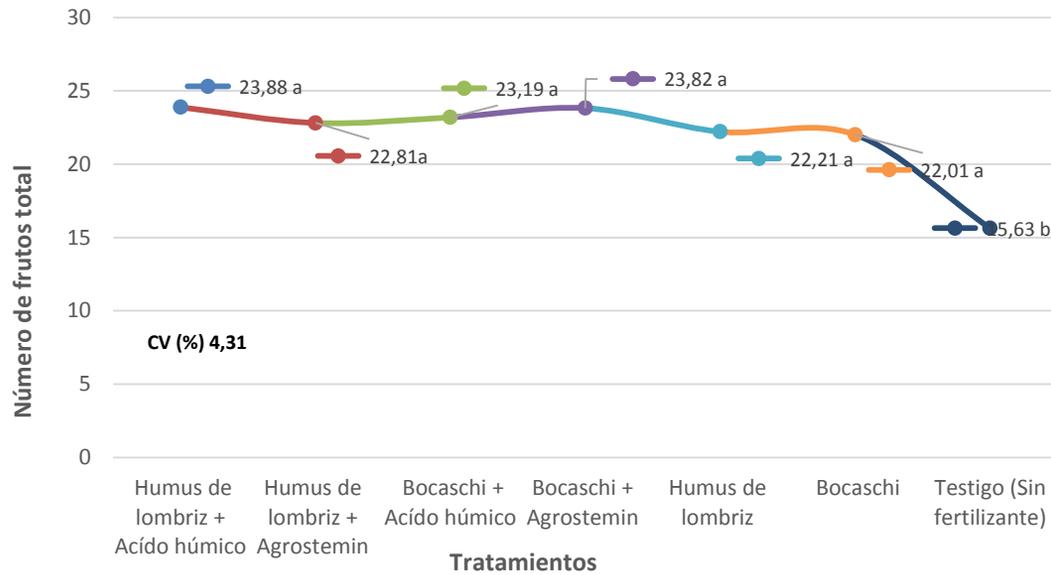


Figura 1. Número total de frutos de tomate con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos  
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9. Peso de fruto (g) por cosecha por planta en la producción de tomate con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos

Tratamientos	Peso de fruto (g) por cosecha por planta											
	2da	3era	4ta	5ta	6ta	7ma						
T1 = Humus de lombriz + Ácido húmico	1072.53	a	786.31	a	430.75	a	383.81	a	275.25	a	268.98	a
T2 = Humus de lombriz + Agrostemin	914.22	a	856.94	a	370.06	ab	422.06	a	333.28	a	209.16	a
T3 = Bocashi + Ácido húmico	1201.92	a	791.19	a	402.33	ab	385.50	a	288.67	a	180.32	a
T4 = Bocashi + Agrostemin	1143.00	a	751.11	a	381.09	ab	345.70	a	314.59	a	282.95	a
T5 = Humus de lombriz	956.80	a	768.29	a	338.21	ab	306.11	a	251.47	ab	232.69	a
T6 = Bocashi	1185.00	a	734.78	a	313.36	b	292.28	a	231.17	ab	193.98	a
T7 = Testigo (Sin fertilizante)	386.78	b	283.63	b	176.19	c	148.71	b	115.16	b	144.39	a
CV (%)	14.82		9.69		12.94		18.68		23.20		33.22	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  
Fuente: Autores.

Estos resultados pueden explicarse teniendo en cuenta que para el crecimiento del fruto la planta necesita un suministro adicional de fotoasimilatos que se producen fundamentalmente en las hojas. Al utilizarse además abonos foliares la parte aérea recibe directamente un suministro que puede utilizarse en la producción de biomasa de los frutos.

La hipótesis anteriormente planteada puede evidenciarse cuando se analizan los resultados de la variable peso total de los frutos (Figura 2). Aunque todos los tratamientos fertilizados fueron superiores con diferencias estadísticas con el tratamiento control, los tratamientos a los cuales se aplicó solamente abonos edáficos bocashi y humus de lombriz fueron inferiores como tendencia a los tratamientos que recibieron la combinación de un abono edáfico y uno foliar incluso en el caso del humus de lombriz con 2853.56 g tuvo diferencias significativas con el tratamiento bocashi más ácido húmico con 3249.93 g.

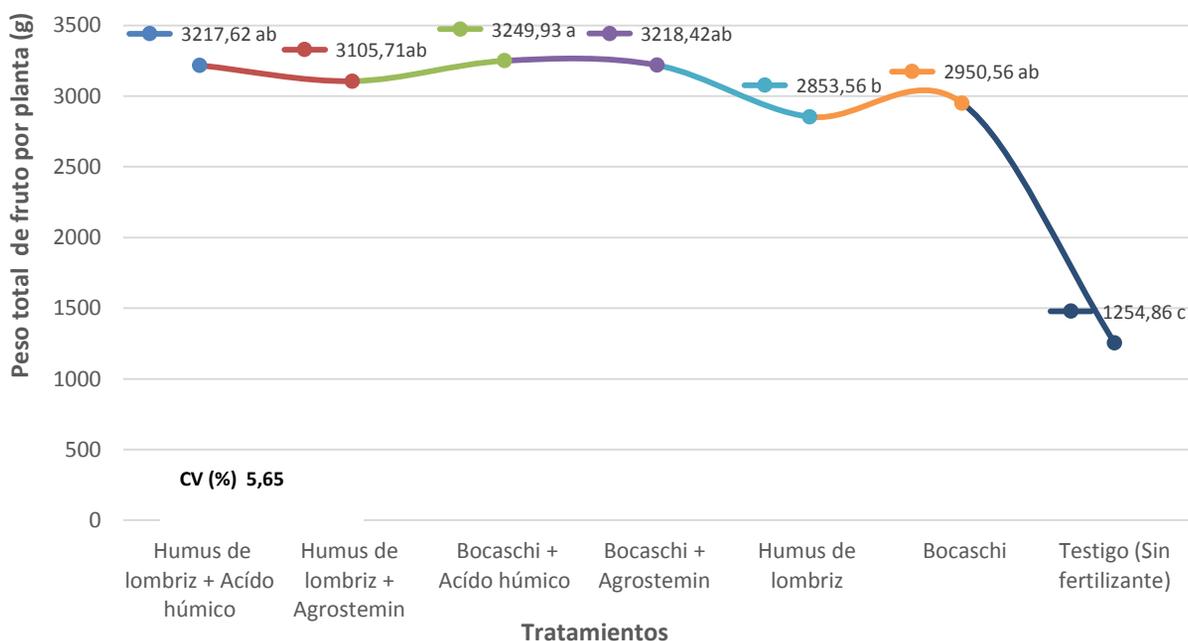


Figura 2. Peso total (g) en la producción de tomate con la aplicación de abonos orgánicos foliares y edáficos

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Dentro de los fertilizantes orgánicos, los tratamientos con bocashi o ácido húmico –solo o en combinación–, provocaron los incrementos más significativos en el crecimiento de las plantas de tomate. Sin embargo, en todos los tratamientos que recibieron fertilización orgánica los indicadores del rendimiento fueron significativamente superiores a un tratamiento sin fertilización.

## Prospectivas

La fertilización orgánica se convierte cada día más en una alternativa utilizada para la producción de hortalizas como el tomate: teniendo en cuenta que la fertilización química convencional siempre genera toxicidad para la vida humana y el medio ambiente, que no permitirá a los ecosistemas en el futuro sostener las prácticas agrícolas actuales. La diversidad de fertilizantes orgánicos, tanto edáficos como foliares, suministra una amplia gama de posibilidades para la producción del tomate con prácticas sostenibles. Los frutos obtenidos son más saludables, lo cual garantiza mayores posibilidades de comercialización y, a la vez, se establecen mecanismos naturales de conservación de los ecosistemas que hacen sustentables las producciones en el futuro.

## Literatura citada

- Arteaga M, N. Gárces, F Guridi, J Pino, J. Menéndez, O Cartaya, (2006). Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Amaliaen condiciones de producción. Cultivos Tropicales, 27 (3): 95-101.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R. & Azcón, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere.
- Bashri G., Patel A., Singh R., Parihar P., Prasad S.M. (2017) Mineral Solubilization by Microorganism: Mitigating Strategy in Mineral Deficient Soil. In: Patra J., Vishnuprasad C., Das G. (eds) Microbial Biotechnology. Springer, Singapore DOI [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_12)
- Benbi D K, (2013). Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Soils: Sources and Mitigation Potential. Journal of Crop Improvement 27 (6): 752–72.
- Betancourt, P y F. Pierre.2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var Alba) en casa de cultivos en Quibor, estado Lara. Bioagro 25(3):181-188.
- Borges J, M Barrios, A Chavez R Avendano (2014). Efecto de la fertilización foliar con humus líquido de lombriz durante el aviveramiento de la morera (*Morus alba* L.) Bioagro 26(3):159-164.

- Boudet, A., Boicet T, Durán A Santos M, Meriño Y. (2017). Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro Agrícola*, 44(4), 37-42.
- Durand, J., M. Riera, A. Fernández, and J. Goulet. 2013. Respuesta del tomate al uso de alternativas orgánicas y micorriza en producción protegido en Guantánamo. *Centro Agrícola*, 40:15–21.
- FAO, (2011). Los fertilizantes en cuanto a contaminantes de agua. <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>; consultado el 10 de abril de 2017.
- FAO (2018). Anuario estadístico de la FAO, FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Fecha de consulta: 23 de julio 2018.
- Fortis M, Córdova L, Preciado P, Sánchez E, Trejo R, Segura M. 2016. Capítulo 13. Aplicación de extractos de algas marinas para incrementar el contenido nutrimental de plántulas de tomate En: *Nutrición Mineral de las Plantas: Avances en la Nutrición de Cultivos* ed. Sánchez E., Preciado P., Romero I., Soto J., Sida P. Depósito legal: GR 1312-2016 ISBN: 978-84-89720-23-7.
- Freshplaza (2016). Datos de la I Conferencia Internacional de Tomate. [www.freshplaza.es/.../La-producción-mundial-de-tomates-alcanza-los130-millones-de-tonelada](http://www.freshplaza.es/.../La-producción-mundial-de-tomates-alcanza-los130-millones-de-tonelada). consultado 20 de abril de 2017.
- Hang S, E Castán, G Negro, A. Daghero, E Buffa, A Ringuet, P Satti and MJ Mazzarino, (2014). *Composting of feedlot manure with sawdust-woodshavings: process and quality of the final product*. *Agriscientia* 32 (1): 55-65.
- Hernández, I., M. Nápoles, B. Morales.2015. Caracterización de aislados de rizobios provenientes de nódulos de soya (*Glycinemax* (L.) merril) con potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal. *Cultivos Tropicales* 36(1):65-72.
- INEC (2016). Instituto Nacional de Estadísticas Ecuador Informe *Datos ESPAC 2015*. [www.ecuadorencifras@gob.ec](http://www.ecuadorencifras@gob.ec) consultado 12 de abril de 2018.
- Luna-Murillo, R., J. Reyes, R. López, M. Reyes, A. Alava-Murillo, A. Velasco, G. Álvarez, H. Castillo, D. Cedeño, R. Macías. 2015. Efectos de abonos orgánicos en el crecimiento y desarrollo del pimiento (*Capsicum annum* L.) *Centro Agrícola*, 42 (4): 11-19.
- Mashavira M, T Chitata, RL Mhindu, S Muzemu, A Kapenzi and P Manjeru. (2015) The Effect of water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) *compost on tomato (Lycopersicon esculentum) growth attributes, yield potential and heavy metal levels*. *American Journal of Plant Sciences*, 6, 545-553.
- Mogollón J, A Martínez, D. Torres, (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Bioagro* 28(1): 29-36.

- Pérez H, Morales J. Carrillo G *et al.* (2017) Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2) p. 333-343.
- Piña, F.J., Soto-Parra, J.M., Sánchez-Chávez, E., Pérez-Leal, R. (2016). Capítulo 5. Nutrientes orgánicos e inorgánicos en tomate bajo invernadero En: *Nutrición Mineral de las Plantas: Avances en la Nutrición de Cultivos* ed. Sánchez E, Preciado P, Romero I, Soto J, Sida P. Depósito legal: GR 1312-2016 ISBN: 978-84-89720-23-7.
- QSI, (2018). Agrostemin ficha técnica disponible en línea [http://www.agroplm.com/src/productos/10849\\_87\\_345.htm](http://www.agroplm.com/src/productos/10849_87_345.htm); fecha de consulta 2 de septiembre 2018.
- Reyes G, D. Cortés (2017). Intensidad en el uso de fertilizantes en América Latina y el Caribe (2006-2012) *Bioagro* 29(1):45-52.
- Rodríguez N., Cano P., Figueroa U., Favela E., Moreno A., *et al.* (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(4).
- Rosales P., P. González, J. Ramírez, J. Arzola. (2017). Selección de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto guinea (*Megathyrsus maximus* cv. Likoni) *Cultivos Tropicales*, 38(1): 24-30.
- Taiz L. y Zeiger E (2002) *Plant Physiology*, 3rd ed n. Hardcover: 690 pages. Publisher: Sinauer Associates; 3 edition (Aug 30 2002). Language: English.
- Tourat, A. P. (2000). Time for compost tea in the northwest. *BioCycle* 41: 74-77.
- Villarreal J., B. Name, R. García. (2012). Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. *Agronomía mesoamericana* 23(2):301-309.
- Welbaum, Strug A, Dory Z. Nowak J 2014 Fertilizing soil microorganism to improve productivity in agroecosystem *Critic Rev Plant Sci* 23:175-193.
- Worthington, V. (2001). Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Altern.Complementary Medicine* 7: 161-173.

# Producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni con sustratos orgánicos de vermicompost:arena

Manuel Fortis Hernández<sup>1,2</sup>, María Teresa Salazar Ramírez<sup>2</sup>, Pablo Preciado Rangel<sup>2</sup>, Jorge Sáenz Mata<sup>3</sup>, Cirilo Vázquez Vázquez<sup>4</sup>, Miguel Ángel Gallegos Robles<sup>4</sup>, José Luis García Hernández<sup>4</sup>

## Resumen

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar diferentes proporciones de vermicompost:arena en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni, como una alternativa ecológica para la producción de un cultivo alternativo de gran valor económico y medicinal. Para ello se evaluaron las proporciones: 15:85, 30:70, 45:55, 60:40, 75:25 y fueron comparadas contra un sustrato de vermicompost con suelo agrícola. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones. El material genético fue la *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2. Las variables evaluadas en los sustratos fueron características físicas, químicas y microbiológicas. En planta, las variables fueron tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), área foliar específica (AFE) y el índice de área foliar (IAF). Los resultados muestran que la proporción 45 % vermicompost + 55 % arena destacó por tener un desarrollo equitativo de bacterias benéficas presentes en la rizósfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni. Asimismo, esta proporción mostró los

---

<sup>1</sup> Autor para correspondencia (fortismanuel@hotmail.com).

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). (fortismanuel@hotmail.com; teresalazaramirez@gmail.com; ppreciador@yahoo.com.mx).

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México (jsaenz\_mata@ujed.mx).

<sup>4</sup> Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ), Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México. (cirvaz60@hotmail.com; garoma64@hotmail.com; luis\_garher@hotmail.com).

mejores resultados para las variables de materia seca, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, TCC e IAF. El uso de mezclas de vermicompost y arena, en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni puede ser una alternativa para el manejo ecológico de este cultivo.

Palabras clave: *Stevia rebaudiana* Bertoni, grupos microbianos, manejo ecológico.

## Introducción

En los últimos años, y debido a la creciente demanda de productos ecológicos en el mercado, se ha producido un incremento considerable en la producción y la aplicación de abonos orgánicos; al mismo tiempo, ha aumentado la investigación acerca de los posibles efectos beneficiosos de estos sobre el crecimiento vegetal y los mecanismos responsables (Domínguez *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista microbiológico, se ha puntualizado que el vermicompost posee gran riqueza de microorganismos, así como un efecto supresor sobre algunos patógenos del suelo. Estudios microbiológicos realizados en vermicompost muestran la ausencia de patógenos humanos como *Salmonella* y *E. coli* (Duran y Henríquez, 2007).

Entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, descomponen desechos y residuos orgánicos, desintoxican el suelo de pesticidas, suprimen enfermedades de plantas y patógenos del suelo, incrementan el reciclaje de nutrientes y producen componentes bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002).

Si bien existen trabajos que estudian el efecto del agregado de vermicompost en diferentes proporciones, como se señaló anteriormente, no existen trabajos en los que se relacione la actividad microbiana del vermicompost y el desarrollo de un cultivo. Esta relación es fundamental para entender el efecto de las enmiendas en la producción agrícola.

El uso de plantas medicinales es una práctica tradicional en la población mundial, el cual se ha fomentado de generación en generación. Entre las especies con uso medicinal destaca el caso de la *Stevia rebaudiana* Bertoni por su alto poder edulcorante sin aportar calorías (Salgado, 2013).

*Stevia rebaudiana* es una planta selvática subtropical del alto Paraná, nativa del noroeste de la provincia de Misiones, en Paraguay, donde era utilizada por los nativos del lugar como edulcorante y curativa. En 1899, por primera vez el sabio Moisés Santiago Bertoni tuvo posesión de algunas plantas provistas por los indígenas del lugar, la cultivó y le dio su clasificación botánica en 1905 (Jarma *et al.*, 2006).

La stevia es una planta considerada medicinal, pues varios estudios demuestran que puede tener efectos beneficiosos sobre la diabetes tipo II, ya que posee glucósidos con propiedades edulcorantes sin calorías. El esteviósido y el rebaudiósido A son los principales compuestos responsables de la edulcorancia y normalmente están acompañados por pequeñas cantidades de otros steviol glucósidos (Landazuri y Tigrero, 2009).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue llevar a cabo la caracterización física, química y microbiológica de diferentes proporciones de vermicompost y arena sobre la comunidad microbiana, el tipo de microorganismos y el desarrollo y producción del cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni bajo condiciones de malla sombra.

## Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera verano, en malla sombra, en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), ubicado en el km 7.5 de la antigua carretera Torreón-San Pedro, Coahuila, México. Las coordenadas son 25°36'47.65" latitud norte y 103°22'23.66" longitud oeste, a 1200 msnm.

Las mezclas fueron realizadas con base en el volumen (v:v), utilizando arena como material inerte, la cual fue cribada y esterilizada con una solución de ácido sulfúrico al 1 %. Se evaluaron cinco mezclas de vermicompost:arena y una de vermicompost:suelo, que generaron los siguientes tratamientos: T1 = 15:85, T2 = 30:70, T3 = 45:55, T4 = 60:40, T5 = 75:35 y T6 = 15:85. La vermicompost fue obtenida en el lombricario del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT).

El diseño experimental fue completamente al azar, con seis tratamientos y seis repeticiones cada uno, dando como resultado 36 unidades experimentales. Los análisis estadísticos de la identificación microbiológica se realizaron mediante un diseño factorial AxB, donde FA es el tratamiento evaluado y FB es el medio de cultivo utilizado, los análisis estadísticos restantes, análisis de varianza y prueba de separación de medias, se ejecutaron utilizando el índice de TUKEY ( $P \leq 0.05$ ). Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Inst., 1999).

El material evaluado fue la planta de *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Morita 2, procedente de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, México y propagado mediante esqueje en charolas de germinación, y trasplantadas durante el verano. Los riegos se aplicaron diariamente en un rango de 100 a 300 mL de agua, a partir del índice de la Capacidad de retención de agua (CRA) de cada maceta.

Las variables evaluadas fueron para a) sustrato: Porosidad total, Densidad aparente, Densidad de partícula, Capacidad de retención de agua y porcentaje de aireación, pH, Conductividad eléctrica (CE), Contenido de fósforo y de nitratos, así como el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la

rizósfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni. En esta última variable se determinaron grupos microbianos como: pseudomonas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacilos y actinomicetos; b) planta: Tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), área foliar específica (AFE) y el índice de área foliar (IAF).

## Resultados y discusión

### **Características químicas de los sustratos**

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (DOF, 2008) Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, donde se establece un pH de 5.5 a 8.5, en el cuadro se puede observar que todos los tratamientos están dentro del rango determinado. En cuanto al parámetro de conductividad eléctrica que se establece en  $\leq 4$  dSm<sup>-1</sup>, sólo el tratamiento 1 (15:85) y el tratamiento 6 (15:85) cumplen con los valores de CE establecidos. Los tratamientos restantes están por arriba del valor óptimo, lo cual indica que al incrementar las proporciones de vermicompost se incrementa la CE.

Cuadro 1. Características químicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de stevia en malla sombra

Sustratos	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	MO (%)	Nitratos (mg kg <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub> = 15v:85a	7.30	2.88	2.15	7.20	8.71
T <sub>2</sub> = 30v:70a	7.38	4.18	3.30	14.40	17.42
T <sub>3</sub> = 45v:55a	7.48	5.03	4.10	21.60	26.12
T <sub>4</sub> = 60v:40a	7.52	8.03	5.20	28.80	34.83
T <sub>5</sub> = 75v:25a	7.62	9.36	6.20	36.10	45.52
T <sub>6</sub> = 15v:85s	7.24	2.23	5.37	15.90	35.43

Fuente: Análisis elaborados en la Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera S.C.L., Gómez Palacio, Durango y en el laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón. Donde: a = arena, v = vermicompost, s = suelo.

Zapata *et al.* (2005) y De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009), encontraron valores de 1.68 dS m<sup>-1</sup> en sustratos de compost y vermicompost para producción de tomate. Rippey *et al.* (2004) señalan que la CE óptima para un sustrato se encuentra en un rango de 2 a 3.5 dS m<sup>-1</sup> y un pH óptimo para la absorción de nutrientes de 5 - 7. En este sentido, el tratamiento 1 (15v:85a) y el tratamiento 6 (15v:85s) son los que más se asemejan a los resultados óptimos de CE y pH deseados.

Para la variable materia orgánica (MO), la NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba, señala un contenido de 20 a 50 % (base seca), por lo cual los tratamientos 3 (45:55), 4 (60:40) y 5 (75:25) cumplen con lo establecido en la norma mexicana. En cuanto a la fertilización de la stevia, Salgado (2013) recomienda el suministro de 94.6 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N) para una densidad de 55 mil plantas por hectárea, esto resulta en 0.00172 kg planta<sup>-1</sup> de nitrógeno. Los seis tratamientos evaluados cumplen con estos requisitos de fertilización, ya que sus niveles de N son considerados suficientes para satisfacer la demanda energética por planta.

### ***Propiedades físicas de los sustratos***

Las propiedades físicas de los sustratos evaluados mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. Para las propiedades de porosidad total y capacidad de retención de agua, el tratamiento 5 (75:25) y el tratamiento 6 (15:85) mostraron los valores más altos estadísticamente; en porosidad de aireación, el tratamiento 1 (15:85) y el tratamiento 2 (30:70) fueron los mejores; para densidad aparente se presentaron los valores más altos en el tratamiento 1 (15:85) y el tratamiento 6 (15:85), y para densidad de partícula, destacó el tratamiento 6 (15:85), cabe señalar que este tratamiento fungió como testigo.

Con respecto a la porosidad total, Raviv *et al.* (1993) señalan que el espacio poroso que facilita el drenaje requiere de un volumen alto de aireación, característica que favorece el libre drenaje, disminuye al mismo tiempo la capacidad de retención de agua lo cual podría acarrear problemas de manejo de cultivo, ya que éste requeriría riegos excesivamente frecuentes. Pire y Pereira (2003) reportan valores de porosidad total en sustratos de arena de 37.3 %. Con base en el resultado obtenido en este estudio, el tratamiento 3 (45:55), con un valor de 31 %, es el más cercano a este valor.

Pire y Pereira (2003) mencionan que el suelo posee sólo 2.2 % de porosidad de aireación y la arena fina con 3.8 %. Hernández *et al.* (2008) reportan que la vermicompost, según su granulometría fina y sin cernir, posee una porosidad de aireación de 1.24 % y de 2.07 %, respectivamente. Por lo tanto, el tratamiento 1 (15:85) y el tratamiento 2 (30:70) cumplen con estas especificaciones.

Respecto a la capacidad de retención de humedad Pire y Pereira (2003) reportan para arena fina una retención de humedad de 32.6 %. Hernández *et al.* (2008) reportan para vermicompost fina 52.46 % y sin cernir 50.99 %. En el cuadro 2 se observa que los tratamientos 5 (75:25) y 6 (15:85) son los más cercanos a estos valores. De acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2007, la densidad aparente con la que se debe cumplir es de 0.40 a 0.90 g mL<sup>-1</sup>.

La densidad aparente de materiales orgánicos con arena fina, evaluados por Pire y Pereira (2003), presentaron un valor medio de 1.458 t m<sup>-3</sup>; la mayor densidad de partículas o densidad real en la arena

tuvieron un valor medio de  $2.327 \text{ t m}^{-3}$ . Hernández *et al.* (2008) reportaron para densidad aparente en vermicompost fina  $0.57 \text{ t m}^{-3}$ , y sin cernir  $0.54 \text{ t m}^{-3}$ ; para densidad de partícula registraron  $1.23 \text{ t m}^{-3}$  en fina, y  $1.16 \text{ t m}^{-3}$  sin cernir. Con base en lo anterior, el tratamiento 6 (15:85), con un valor obtenido de  $0.846 \text{ t m}^{-3}$ , es el más cercano a los valores obtenidos por Pire y Pereira (2003) y Hernández *et al.* (2008). De acuerdo a lo señalado, el tratamiento 6 (15:85) es el que presenta mejores resultados estadísticamente, destacando en cuatro de las cinco propiedades físicas medidas.

Cuadro 2. Comparación de medias por la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) del análisis de las propiedades físicas de las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de stevia en malla sombra

Tratamientos	PT	Pa	CRA	Da	Dp
		%			$\text{t m}^{-3}$
T <sub>1</sub> = 15v:85a	18.333 c	2.620 a	15.553 c	0.841 a	1.028 cd
T <sub>2</sub> = 30v:70a	21.667 c	2.650 a	18.993 c	0.801 b	1.022 cd
T <sub>3</sub> = 45v:55a	31.000 b	2.156 b	28.57 b	0.770 c	1.113 c
T <sub>4</sub> = 60v:40a	28.333 b	1.936 bc	26.200 b	0.703 d	0.978 d
T <sub>5</sub> = 75v:25a	49.667 a	1.693 cd	47.977 a	0.696 d	1.385 b
T <sub>6</sub> = 15v:85s	51.333 a	1.283 d	50.160 a	0.846 a	1.745 a

Propiedades físicas determinadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Torreón. Donde: PT = Porosidad total %, Pa = Porosidad de aireación %, CRA = Capacidad de retención de agua%, Da = Densidad aparente  $\text{g/cm}^3$ , Dp = Densidad de partículas  $\text{g/cm}^3$ ; a = arena, v = vermicompost, s = suelo. \*Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.05$ ).

Con relación al número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizósfera de la *Stevia rebaudiana* Bertoni, las diferentes proporciones de vermicompost:arena no mostraron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos; no obstante, se puede observar que la tendencia fue que el tratamiento 3 desarrolló el mayor número de bacterias. Esto puede deberse a que la proporción utilizada en este tratamiento, 55 arena + 45 vermicompost, generó las condiciones para el desarrollo bacteriano (pH, temperatura, humedad, etcétera).

En un estudio realizado por Duran y Henríquez (2010), donde se realizó una caracterización microbiológica de la vermicompost, el análisis estadístico de los datos microbiológicos tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la cantidad de bacterias, sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en las poblaciones.

Con base en los medios de cultivo utilizados: Lb para bacterias en general, Kb para pseudomonas, Czapek para actinomicetos, NFb para fijadoras de nitrógeno, se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, donde el medio Czapek para desarrollo de actinomicetos obtuvo

la mayor respuesta, con  $20 \times 10^7$  UFC  $g^{-1}$  de sustrato; mientras que el medio Lb hervido para el desarrollo de bacilos tuvo la menor, con  $1 \times 10^6$  UFC  $g^{-1}$  de sustrato (Figura 1).

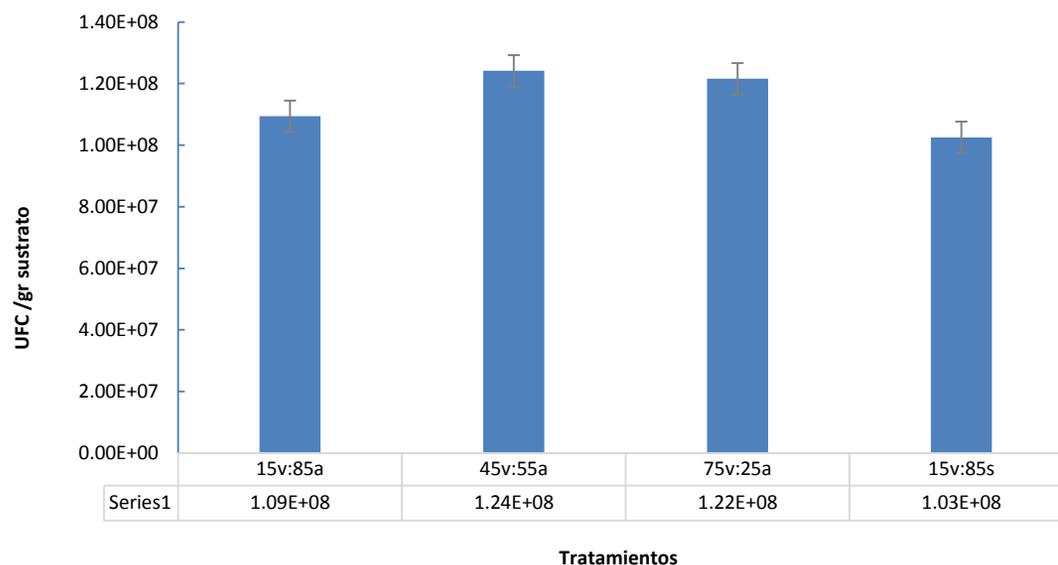


Figura 1. Número de bacterias (UFC  $g^{-1}$  sustrato) presentes en la rizósfera de la stevia de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena

De acuerdo con Arteaga *et al.* (2007), en el análisis microbiológico de vermicompost de estiércol bovino, se reportaron para bacterias  $3.44 \times 10^9$  UFC  $g^{-1}$  y para actinomicetos  $2.4 \times 10^5$  UFC  $g^{-1}$ , en este último grupo microbiano las proporciones de vermicompost:arena que se analizaron tienen un mayor desarrollo de los mismos.

En un estudio similar realizado por Duran y Henríquez (2010) en vermicompost derivado de estiércol bovino, los grupos microbianos que se analizaron fueron bacterias y actinomicetos, reportando  $1.8 \times 10^7$  UFC y  $2.2 \times 10^6$  UFC, respectivamente. Por lo tanto, las UFC en bacterias y actinomicetos reportadas en esta investigación, son mayores. Esto puede estar relacionado a los porcentajes de materia orgánica que se manejaron en las diferentes proporciones de vermicompost:arena, ya que oscilan entre el 20 y 40 %.

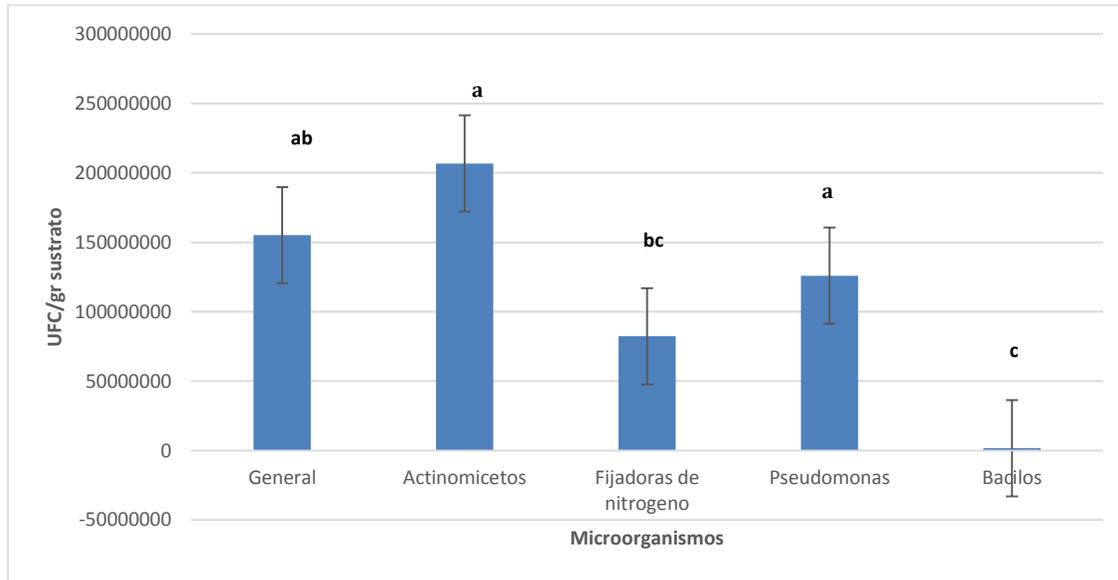


Figura 2. Comparación de medias por la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) del análisis de grupos microbianos presentes en la rizósfera (UFC  $g^{-1}$  sustrato) de la stevia de acuerdo con los diferentes medios de cultivo

La gran abundancia microbiana del vermicompost viene dada, principalmente, por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbiana que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos (Duran y Henríquez, 2010). La función de los actinomicetos está dirigida a la descomposición de residuos orgánicos, además de que intervienen activamente en la síntesis húmica y favorece la nutrición de las plantas (Ferrera-Cerrato y Alarcon, 2007). Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta investigación sugieren un mayor aprovechamiento de los nutrientes a una mayor concentración de actinomicetos.

En la figura 3 se representa el comportamiento observado durante el desarrollo de UFC  $g^{-1}$  de sustrato de acuerdo a las diferentes proporciones de vermicompost:arena y vermicompost:suelo utilizadas en esta investigación. Lo primero que cabe destacar es que, los tratamientos 1 y 6 manejan las mismas proporciones de vermicompost (15 %), sin embargo, un sustrato se mezcla con arena y otro con suelo agrícola, por lo que se puede observar que los grupos de bacterias predominantes son diferentes; en el tratamiento 1 se desarrollaron más actinomicetos y en el tratamiento 6 (15:85), pseudomonas y fijadoras de nitrógeno, esto podría

atribuirse a la carga de materia orgánica con la que ya contaba este suelo y las condiciones de pH y CE que se desarrollaron en él para el desarrollo de las mismas.

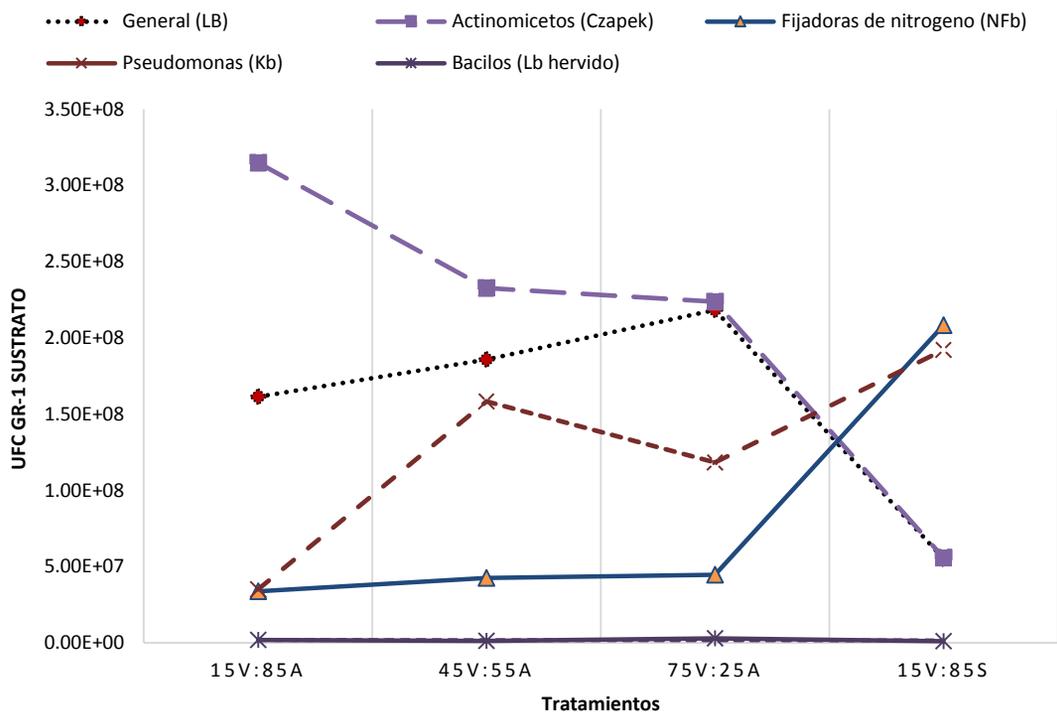


Figura 3. Relación entre el número de bacterias y los grupos microbianos presentes en la rizósfera del cultivo de stevia de acuerdo a las diferentes proporciones evaluadas de vermicompost:arena y vermicompost:suelo

Por otra parte, los tratamientos 1 (15:85), 3 (45:55) y 5 (75:25) con mezclas de vermicompost:arena solamente, el desarrollo de UFC que se presentó en ascenso con relación a los porcentajes de vermicompost, fue en los grupos microbianos de bacterias en general y fijadoras de nitrógeno, al contrario de los actinomicetos que, conforme aumentaba el porcentaje de vermicompost, estos disminuían. También se puede observar que las bacterias del grupo de las pseudomonas empiezan con una concentración baja en

el tratamiento 1 (15v:85a), y conforme se incrementan las proporciones de vermicompost:arena, aumenta su número, alcanzan su máximo en el tratamiento 3 (45v:55a), pero al seguir aumentando el porcentaje de vermicompost, éstas disminuyen.

De igual forma, se puede observar que en el tratamiento 3 (45:55) existe un desarrollo equitativo de bacterias, esto puede atribuirse a que en el tratamiento 3 se generó el ambiente ideal, tanto físico como químico. En el cuadro 3 se observa que los resultados obtenidos de pH y CE propician el crecimiento adecuado de los microorganismos; al igual que datos reportados en campo, este sustrato reportó temperaturas que oscilaban entre los 24 y 30 °C. Por lo tanto, el tratamiento 3 es el idóneo para el desarrollo de los microorganismos analizados en esta investigación.

Cuadro 3. Variables fisiológicas con base en las diferentes proporciones de vermicompost:arena utilizadas en la producción de stevia en malla sombra

Tratamientos	TCC	TAN	AFE	IAF
	----- g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> -----		cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
T1 = 15v:85a	0.073 b	0.035 c	317.243 a	0.040 a
T2 = 30v:70a	0.063 b	0.031 c	328.387 a	0.052 a
T3 = 45v:55a	0.217 a	0.061 b	272.960 ab	0.088 a
T4 = 60v:40a	0.198 a	0.074 b	242.947 ab	0.056 a
T5 = 75v:25a	0.030 b	0.029 c	346.647 a	0.038 a
T6 = 15v:85s	0.054 b	1.037 a	165.287 b	0.040 a

Donde, a = arena, v = vermicompost, s = suelo. TCC = Tasa de crecimiento del cultivo, TAN = Tasa de asimilación neta, AFE = Área foliar específica, IAF = Índice de área foliar.

### ***Evaluación fisiológica***

El análisis estadístico para las variables de evaluación fisiológica de la stevia mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, comportándose de la siguiente manera: Para la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) el tratamiento 3 (45:55) destaca con 0.217 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>; para la tasa de asimilación neta (TAN) sobresale el tratamiento 6 (15:85) con 1.037 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>; para el área foliar específica (AFE) el tratamiento 5 (75:25) muestra mayores resultados con 346.647 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Sólo en la variable de Índice de área foliar (IAF) no se presentaron diferencias significativas en el análisis estadístico, sin embargo, resalta un mayor IAF en el tratamiento 3 (45:35), con 0.088 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>.

Atiyeh *et al.* (2000) y Atiyeh *et al.* (2002) señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando el vermicompost constituye una proporción relativamente pequeña (10 – 40 %) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados.

En un estudio similar realizado por Romero-Figueroa *et al.* (2017), se analizó la dinámica de crecimiento de stevia cultivada en sustratos orgánicos. Estos autores obtuvieron resultados donde a mayor proporción de vermicompost se observó mayor efecto benéfico sobre el crecimiento y desarrollo de stevia. Las plantas de stevia crecieron mejor con las mayores concentraciones de vermicompost (75 y 100 %), debido a la considerable disponibilidad nutrimental.

Por lo tanto, parece muy probable que el vermicompost estimula el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en el vermicompost o a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh *et al.*, 2002).

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que al incrementar las proporciones de vermicompost:arena aumentan las propiedades físicas y químicas. Los grupos microbianos y las UFC que resulten de ellas se ven modificados, afectando las variables agronómicas del cultivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni. La proporción 45 % vermicompost + 55 % arena (tratamiento 3) destacó por tener un desarrollo equitativo de bacterias benéficas presentes en la rizósfera del cultivo debido a sus propiedades físicas y químicas. Hubo mayor supervivencia de grupos microbianos tales como pseudomonas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacilos, hongos, actinomicetos, aunque estos últimos se presentaron en mayor cantidad en los seis tratamientos. Asimismo, esta proporción (45:55) mostró los mejores resultados para las variables de materia seca, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, TCC, e IAF. Por todo lo anterior, usar sustratos orgánicos de vermicompost para la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni puede ser una alternativa para el manejo ecológico de este cultivo.

## Literatura citada

- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, Ronald. (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*. 26: 191-203.
- Arteaga, M., Garcés, N., Novo, R., Guridi, F., Pino, P.A., Acosta, M., Pasos, M., Besù, D. (2007). Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. *Rev. Protección Veg.* 22:110-117.
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Metzger, J.D. (2002). The influence of humic acids derived from earthwormsprocessed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84:7–14.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., Metzger, J.D. (2000). Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigolds and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization* 8:215–223.
- De la Cruz-Lázaro, E. Estrada-Botello, Ma. Robledo-Torres, V. Osorio-Osorio, R. Márquez-Hernández, C. Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*, 25:59-67.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2008). NMX-FF-109SCFI-2007. Humus de lombriz (Lombricomposta) – Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía.- Subsecretaría de Normatividad, Inversión Extranjera y Prácticas Comerciales Internacionales. - Dirección General de Normas.- Dirección de Normalización. México, D.F. 28 p.
- Domínguez, J. Lazcano, C. y Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo; *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.). Número Especial 2. ISSN 0065-1737. Pp.359-371. Departamento de Ecología y Biología Animal. Universidad de Vigo. Vigo E-36310. España.
- Duran, L., y Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Durán, L., y Henríquez, C. (2010). El Vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agron. Mesoam.*, 21: 85-93.
- Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (2007). Microbiologías agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. México. Trillas. ISBN 978-968-24-7810-9. Pp. 568.
- Hernández, J., Guerrero, F., Mármol, L., Bárcenas, J. y Salas, E. (2008). Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *INTERCIENCIA*, 33: 668-671.

- Jarma, A. Rengifo, T. Araméndiz-Tatis, H. (2006). Fisiología de Estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agronomía Colombiana*; 24(1). Pp. 38-47.
- Landazuri, P. y Tigrero, J. (2009). Boletín técnico. Edición especial. *Stevia rebaudiana* Bertoni, una planta medicinal. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de ciencias de la vida. Carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias. ISBN-978-9978-301-05-0. pp. 34.
- Martínez, V.R. (2002). Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XIII Congreso Científico del INCA. Programa y resúmenes. La Habana.
- Pire, R., y Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta Metodológica*. Bioagro 15: 55-63.
- Raviv, M., S. Medina, Y Shamir y Z. Ben Ner. 1993. Very low medium moisture tension. A feasible criterion for irrigation control of container-grown plants. *Acta Horticulturae* 342:111-119.
- Rippy J. f. M., Peet., M. M., Louis, F., L. and Nelson, P. V. 2004. Plant development and Harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hort science* 39(2):223-229.
- Romero-Figueroa, J. C., Rodríguez-Mendoza, Ma. De las N., Escalante-Estrada, J. A.S., Gutiérrez-Castorena, Ma., Peña-Valdivia, C., Cueto-Wong, J.A., Burguete-Hernández, E. (2017). Dinámica de crecimiento de *Stevia* cultivada en sustratos orgánicos en invernadero. 2017. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 40: 341-350.
- Salgado, C. L. (2013). Requerimientos de nitrógeno en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni en hidroponía e invernadero. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Postgrado de Edafología. Campus Montecillo. Pp. 50.
- Statistical Analysis System (SAS). (1999). **SAS/STAT® 9.2. Users's guide release**. Cary: SAS. Institute Inc., USA.
- Zapata, N., Guerrero, F., y A. Polo. (2005). Evaluación de Corteza de Pino y Residuos Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo. *Agricultura Técnica*, 65(4):387-387.

Impreso por Master Copy, S.A., de C.V.  
Plásticos 84 Loc. 2 Ala sur, Fracc. Ind. Alce Blanco,  
Naucalpan de Juárez,  
Estado de México,  
esta obra se terminó de imprimir el 26 de marzo de 2021.  
Tiraje: 200 ejemplares.

## Otras publicaciones del CIESTAAM

### Libros

- Los negocios del café ¿Cómo innovar en el contexto de la paradoja del café, en pro de una red de valor más inclusiva y accesible?
- La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo
- ¡Otro campo es posible! Agenda pública y política con relación al campo mexicano
- Modelos alternativos de capacitación y extensión comunitaria
- Ingresos y costos de producción 2013. Unidades Representativas de Producción. Trópico Húmedo y Mesa Central - Paneles de productores
- Colección Trópico Húmedo: 1) Cacao, 2) Miel, 3) Palma de aceite, 4) Nuez de macadamia, 5) Pimienta gorda, 6) Hule
- Veracruz. Agricultura e historia. Estudios regionales y desarrollo rural
- Desarrollo agrícola y rural, cambio climático y políticas públicas



### Metodologías y herramientas para la investigación

- Genealogías, Trayectorias y Redes. Metodologías para los Estudios Sociales de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, V7
- Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en Unidades Representativas de Producción, V6
- Análisis de redes sociales: conceptos clave y cálculo de indicadores, V5
- Herramientas metodológicas para aplicaciones del experimento de elección, V4
- Herramientas metodológicas para aplicaciones del método de valoración contingente, V3
- Herramientas digitales en la investigación académica, V2
- Pautas para citar y construir la lista de referencias en documentos académicos, V1

### Reportes de Investigación

- Análisis del potencial productivo y comercial de durazno en México. Reporte 96
- ¿Qué significa innovar en el ámbito del sector agroalimentario? ...y ¿cómo lo hemos hecho! Reporte 95
- Gestión de la innovación para la producción sostenible de maíz en regiones de alta marginación: Lecciones para el diseño e implementación de políticas públicas. Reporte 94
- Políticas públicas para el fomento de clústeres de horticultura protegida con pequeños productores: Lecciones aprendidas. Reporte 93
- El enfoque de sistemas agroalimentarios localizados - SIAL: propuestas para el fortalecimiento metodológico. Reporte 92



ISBN: 978-607-12-0579-7



9 786071 205797