

Microorganismos benéficos o agroquímicos

Betsie Martínez Cano
Genaro Martín Soto Zarazúa

¿Sabías que mediante la agricultura no solamente se producen nuestros alimentos? Gracias a los sistemas agrícolas también se cultivan el tabaco, así como las materias primas para la elaboración de textiles, alimentos para animales, bebidas alcohólicas y biocombustibles. Es por esto que, en la actualidad, la agricultura enfrenta el reto de producir gran cantidad de productos para satisfacer las demandas de la población. Sin embargo, la mayor parte de la producción agrícola se obtiene de sistemas intensivos que buscan incrementar el rendimiento de los cultivos a corto plazo, con frecuencia utilizando insumos de manera excesiva; uno de estos insumos son los agroquímicos, como plaguicidas y fertilizantes sintéticos, que generan un impacto negativo para el medio ambiente. Como resultado del uso de dichos insumos el suelo, los bosques, el agua, la calidad del aire y la biodiversidad se encuentran en constante degradación.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019), las malas prácticas agrícolas han ocasionado que un tercio de la superficie terrestre esté altamente degradada. Usualmente, en la agricultura de riego se hace un mal manejo del agua potable, ya que se suministran cantidades excesivas de agua a los cultivos. Además, el uso de agroquímicos contribuye con el 13 % de las emisiones de gases de

efecto invernadero provenientes de la agricultura y ganadería; dichas emisiones consisten en gas óxido nitroso generado por la adición de nitrógeno sintético en el suelo. Por ello se estima que, en el 2050, el 90 % de la tierra presentará un alto grado de deterioro, 700 millones de personas no tendrán acceso a la alimentación y el 40 % de la población no tendrá agua potable (FAO, 2017).

En este contexto, los esfuerzos se han enfocado en el desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas; estas tecnologías deben garantizar la explotación racional de los recursos naturales, preservar el suelo y el medio ambiente, así como mantener o maximizar la productividad y calidad de los cultivos. Es así como surge la agricultura sostenible, cuyos objetivos principales son:

- Procurar la seguridad alimentaria mundial.
- Promover ecosistemas saludables.
- Apoyar la gestión sostenible de la tierra, el agua y los recursos naturales.
- Satisfacer las necesidades de las generaciones actuales de productos y servicios, sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para hacerlo.

La agricultura sostenible busca incrementar el rendimiento de los cultivos en una menor unidad de superficie, disminuir las enfermedades y aumentar la calidad de los cultivos de manera económicamente viable; lo anterior a través de la minimización del uso de agroquímicos y apoyándose en el uso de recursos biológicos. Actualmente existen diferentes tecnologías que permiten disminuir el impacto ambiental negativo causado por la agricultura:

- Los invernaderos inteligentes, que permiten controlar el riego, la climatización y la iluminación para conseguir producciones de calidad y mayor rendimiento en cualquier época del año.
- Los sistemas hidropónicos, que utilizan agua y un medio de cultivo diferente al suelo para proporcionar nutrientes a las plantas, minimizando el uso de tierra para fines agrícolas.

- Los sistemas acuapónicos, que integran la producción de peces y la producción de hortalizas sin requerir tierra de cultivo. En estos sistemas, los desechos metabólicos de los peces son aprovechados por los vegetales como nutrientes, mientras que las plantas eliminan los compuestos tóxicos para los peces.
- Los reguladores de crecimiento y bioestimulantes, que tienen como finalidad manipular o regular procesos fisiológicos en las plantas y obtener un desarrollo más eficiente.
- Los microorganismos promotores de crecimiento vegetal, que son una alternativa promisoría para aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos sin afectar de manera negativa al medio ambiente.

En particular, los microorganismos promotores de crecimiento vegetal han llamado la atención por sus beneficios sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, así como en la salud y productividad de las plantas. En este trabajo se discuten los beneficios del uso de microorganismos en la agricultura, sus cualidades y la problemática que presentan para ser considerados una alternativa real de los agroquímicos. Finalmente, se abordarán los retos científicos y tecnológicos para que los microorganismos benéficos sean una opción viable y efectiva para su uso en la agricultura.

UTILIDAD DEL USO DE MICROORGANISMOS PARA LAS PLANTAS

En el suelo habitan una gran cantidad de microorganismos que tienen propiedades que benefician a los cultivos, a la estructura de la tierra y a la calidad ambiental. La importancia de estos organismos en la agricultura radica en su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes, por su capacidad para fijar, solubilizar, movilizar y reciclar compuestos necesarios para el crecimiento vegetal; asimismo, estos microorganismos tienen un efecto sobre la salud y productividad de los vegetales, aparte de su acción como remediadores de suelo contaminado. Por ello, estos microscópicos seres pueden utilizarse para mejorar las características de tierras

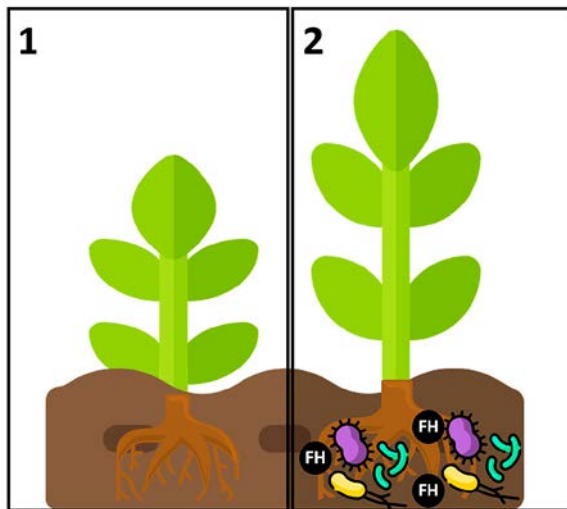


Figura 1. En suelos donde no hay microorganismos bioestimulantes el crecimiento se da de manera más lenta (1); los microorganismos bioestimulantes liberan fitohormonas (FH) en el suelo, las cuales son absorbidas por las plantas a través de la raíz y aumentan el crecimiento vegetal (2).

agrícolas, así como aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos.

Por lo anterior, el uso de microorganismos benéficos es una alternativa para sustituir de manera parcial o total a los agroquímicos. Estos microorganismos funcionan como bioestimulantes (estimulan el crecimiento de las plantas por la producción de hormonas), biofertilizantes (aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas), o biocontroladores (por su acción para minimizar plagas y enfermedades). A continuación se describen los tipos de microorganismos y las características que llevan a considerarlos una alternativa a los agroquímicos.

Microorganismos bioestimulantes. Las plantas, de manera natural, producen hormonas o reguladores de crecimiento, denominadas fitohormonas; estas son compuestos orgánicos complejos cuya finalidad es el control del crecimiento y productividad. En el suelo hay microorganismos capaces de sintetizar mayor cantidad de fitohormonas que las plantas, y al liberarlas en el suelo pueden ser utilizadas por los cultivos para mejorar su crecimiento (Figura 1). Estas hormonas actúan principalmente en la división celular, germinación de semillas, desarrollo de raíz y elongación de tallo.

Microorganismos biofertilizantes. Los microorganismos del suelo son responsables de llevar a

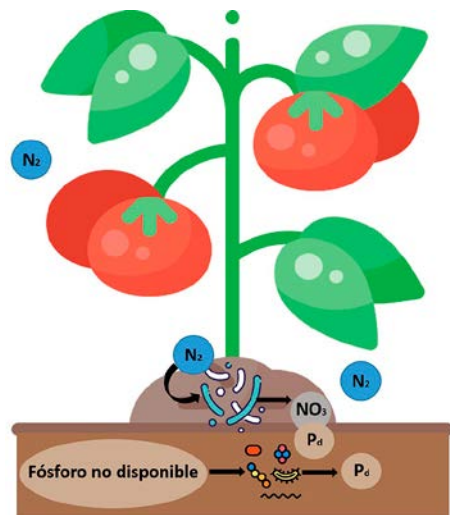


Figura 2. Los microorganismos biofertilizantes tienen la capacidad de aportar nutrientes esenciales para las plantas. Algunos microorganismos toman el nitrógeno atmosférico (N_2) y lo convierten en nitrato (NO_3), mientras que otros toman el fósforo no disponible del suelo y lo liberan como fósforo disponible (P_d). Estos compuestos son nutrientes importantes para el crecimiento vegetal.

cabo los ciclos de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica; asimismo, permiten que los nutrientes que se encuentran fijados químicamente, como el fósforo, el zinc, el potasio y el hierro, estén disponibles para las plantas (Figura 2). Los microorganismos empleados como biofertilizantes llevan a cabo diversos mecanismos, siendo los más importantes los que se describen a continuación:

- Fijación biológica del nitrógeno. Es la reacción en la que, a partir del nitrógeno atmosférico, se producen nitratos, que son aprovechados por las plantas.
- Solubilización de fosfatos. En la naturaleza el fósforo se encuentra en formas no disponibles para las plantas; sin embargo, algunos microorganismos producen ácidos orgánicos o enzimas que liberan el fósforo para hacerlo biodisponible.
- Solubilización de hierro. El hierro forma complejos insolubles que la planta no puede absorber para su nutrición. Algunos microorganismos secretan compuestos que solubilizan el hierro y aumentan su disponibilidad.

Microorganismos para biocontrol. Existen diferentes plagas y enfermedades (fitopatógenos) que afectan la salud de las plantas y disminuyen su

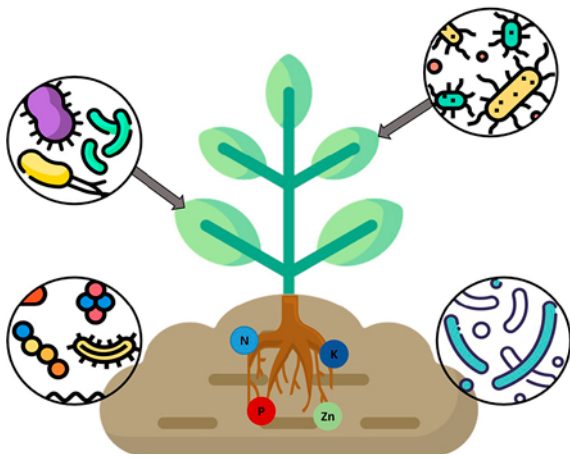


Figura 3. Microbioma de las plantas en hojas, tallos, raíces y suelo, el cual es útil para la obtención de nutrientes y la defensa contra fitopatógenos.

producción. Una alternativa para contrarrestar los fitopatógenos es el uso de microorganismos que son enemigos naturales de dichos organismos. A esta alternativa se le conoce como biocontrol. Generalmente, estos microorganismos provienen del microbioma de las plantas; es decir, de los microorganismos benéficos que habitan en las diferentes partes de la planta (Figura 3).

Actualmente, existen estudios del uso de microorganismos que reportan múltiples beneficios en la agricultura bajo un ambiente controlado (Tabla 1). Sin embargo, cuando los microorganismos benéficos son utilizados en campo no se obtiene el rendimiento alcanzado por un agroquímico, por lo cual este tipo de microorganismos no han podido sustituir dichos insumos. En la siguiente sección se brindará más información sobre este tópico.

PROBLEMÁTICA DEL USO DE MICROORGANISMOS

El uso de microorganismos benéficos para la agricultura no se ha extendido ampliamente debido a que presentan diferentes problemas.

El principal inconveniente que tienen es la selectividad; es decir, los microorganismos actúan de diferente manera de acuerdo con el tipo de planta y el tipo de suelo.

Mecanismo de acción	Cepa microbiana	Acción específica
Microorganismos bioestimulantes	Bacillus sp	Libera auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y ácido abscísico
	Rhizobium sp	Libera auxinas, giberelinas y citoquininas.
	Pseudomonas sp	Libera auxinas, citoquininas
	Trichoderma virens	Libera compuestos relacionados con las auxinas
	Trichoderma harzianum	Libera ácido indolacético y algunas citoquininas
	Penicillium sp	Libera giberelinas
	Fusarium oxysporum	Produce una gran cantidad de compuestos volátiles
Microorganismos biofertilizantes	Aspergillus niger	Solubiliza fósforo de roca fosfórica por producción de ácidos orgánicos
	Phoma sp	Aumenta la disponibilidad de nitrógeno
	Bradyrhizobium sp	Fijación de nitrógeno mediante simbiosis
	Azotobacter sp	Fijación de nitrógeno
	Azospirillum sp	Fijación de nitrógeno
	Burkholderia sp	Fijación de nitrógeno
	Enterobacter sp	Solubilización de fosfato
	Serratia sp	Solubilización de fosfato
Streptomyces	Producción de sideróforos	
Microorganismos para biocontrol	Bacillus licheniformis	Inhibe el crecimiento de Verticillium dahliae
	Enterobacter sp	Reduce la enfermedad por Clavibacter michiganensis
	Pseudomonas spp	Reduce la enfermedad por Xanthomonas euvesicatoria
	Bacillus spp	Disminuye el daño causado por Pythium sp., Rhizoctonia solani.
	Trichoderma harzianum	Induce resistencia sistémica contra Colletotrichum graminicola. Disminuye la marchitez bacteriana causada por Ralstonia solanacearum y Fusarium oxysporum.

Tabla 1. Microorganismos bioestimulantes, biofertilizantes y para biocontrol utilizados en la agricultura (Malgioglio *et al.*, 2022).

Por lo tanto, la variación en la selectividad puede dar como resultado una baja eficacia en condiciones de campo, donde varios componentes actúan simultáneamente. Además, los microorganismos



© **Emilio Salceda**. *Xinacates*.
San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

colocados directamente en el suelo pueden ser afectados negativamente por la competencia de microorganismos nativos y condiciones ambientales desfavorables.

Actualmente hay productos que contienen microorganismos benéficos denominados biofertilizantes; sin embargo, la mayor parte de ellos tienen una baja calidad y carece de una formulación adecuada. Adicionalmente, si el microorganismo no es robusto es difícil que sobreviva. Aunado a lo anterior, aún no se tiene un régimen establecido para las características de los productos que contienen microorganismos benéficos.

En un estudio se analizó un grupo de productos microbianos y se encontró que solamente el 37 % de los productos son puros; es decir, el 63 % se encuentra contaminado por otros microorganismos no benéficos, y el 40 % no contiene ningún microorganismo correspondiente al producto (Herrmann *et al.*, 2015).

Los resultados anteriores muestran la necesidad de mejorar la calidad y contenido de los productos comercializados actualmente, con principal atención en los microorganismos benéficos y en la formulación.

En resumen, existen cuatro principales problemas relacionados con el uso de microorganismos benéficos en la agricultura, los cuales pueden

considerarse los principales desafíos para detonar la tecnología de los biofertilizantes:

1. La selectividad de los microorganismos benéficos, ya que no tienen el mismo efecto sobre todas las plantas.
2. El tipo de formulación en ocasiones no es el adecuado, y los microorganismos mueren antes o durante su aplicación.
3. La baja calidad de los productos comerciales, debido a la nula normativa para productos microbianos en el país.
4. El poco o nulo conocimiento que tienen los productores agrícolas de los productos basados en microorganismos benéficos.

Esta problemática afecta la adopción de la nueva tecnología por parte de los productores agrícolas; por ello, esta no puede ser considerada una competencia real de los agroquímicos debido a las diferencias tan grandes en cuanto a efectividad. Pero, ¿qué producto es mejor? ¿Por qué deberíamos elegir microorganismos y no agroquímicos?

AGROQUÍMICOS VS MICROORGANISMOS BENÉFICOS

Agroquímicos. La razón principal por la que los agricultores usan los agroquímicos es para cultivar frutas y verduras más grandes, con mayores rendimientos y a un menor costo. El aumento en rendimiento es debido a que los agroquímicos fertilizantes proveen a los cultivos de los nutrientes necesarios directamente en la tierra para que las plantas crezcan; los herbicidas matan las plantas innecesarias; y los pesticidas eliminan totalmente a los fitopatógenos. Otra ventaja del uso de agroquímicos es la efectividad en cuanto al costo, ya que los nutrientes químicos tienen un precio bajo en comparación con alternativas naturales.

Sin embargo, el impacto ambiental negativo es muy grande. El uso repetido de fertilizantes químicos causa degradación en la tierra, dejándola inutilizable para el crecimiento vegetal; genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático global

y, en altas concentraciones, pueden ser altamente tóxicos para los seres humanos y animales.

Microorganismos. La aplicación de microorganismos benéficos en el suelo de cultivo permite minimizar el uso de agroquímicos, lo que brinda un impacto ambiental positivo. Los biofertilizantes mejoran la estructura del suelo y mantienen las condiciones adecuadas para el cultivo con una menor degradación de la tierra por pérdida de nutrientes. Los microorganismos mejoran la productividad de los cultivos y pueden utilizarse en cualquier tipo de suelo y cultivo.

La mayor ventaja del uso de microorganismos es ambiental, ya que el costo de los biofertilizantes es mucho mayor que el de un agroquímico y su productividad disminuye a corto plazo. Los biofertilizantes tienen condiciones específicas de aplicación y almacenamiento, ya que los microorganismos pueden morir si se exponen a temperaturas extremas o a condiciones ambientales desfavorables.

Las desventajas del uso de microorganismos benéficos radican en una mala formulación, por lo cual es importante buscar alternativas para mejorar la calidad y efectividad de los productos elaborados con base en microorganismos benéficos para que puedan competir de una manera más efectiva con los agroquímicos.

PERSPECTIVAS DE LOS BIOFERTILIZANTES

Como se mencionó en las secciones anteriores, la aplicación de microorganismos benéficos en el suelo agrícola puede ser una alternativa para aumentar la calidad y rendimiento de los cultivos sin utilizar agroquímicos contaminantes. No obstante, los resultados en el campo no han sido suficientemente exitosos para que los productores agrícolas adopten esta nueva tecnología. Actualmente, la formulación de los biofertilizantes es un problema crucial; sin embargo, se han realizado pocas investigaciones sobre este tema, por lo cual la investigación debe dirigirse a las propiedades de los microorganismos y a los componentes de la formulación.

Dichos componentes deben proporcionar condiciones óptimas para mejorar la vida de los microorganismos después de su aplicación en el suelo o en la planta.

Así, al mejorar la vida de los microorganismos se podrá aumentar la calidad y el rendimiento de los cultivos.

De igual manera, para que los agricultores adopten el uso de biofertilizantes, el producto debe ser económico y fácil de aplicar; también se debe asegurar que los microorganismos se suministren a la planta de la manera más apropiada.

La ciencia y tecnología de los biofertilizantes tienen el reto de proporcionar estudios sobre microorganismos benéficos aptos que generen un efecto positivo en el crecimiento y en la calidad de diferentes tipos de cultivos.

Además, se deben realizar propuestas de formulación para la protección de dichos microorganismos, mediante compuestos que no cambien las propiedades promotoras de crecimiento vegetal, sino que las potencien; lo anterior puede lograrse con estudios que permitan determinar la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales con la supervivencia celular y las propiedades benéficas microbianas.

Además, es necesario hacer una evaluación del crecimiento y el rendimiento del cultivo después de aplicar los microorganismos benéficos, ya que la implementación de compuestos para proteger a los microorganismos altera la efectividad de los mismos. Las investigaciones actuales se han centrado en el desarrollo de formulaciones más confiables y consistentes.

Las bioformulaciones futuras tenderán a la incorporación de metabolitos microbianos junto con microorganismos y definitivamente tendrán múltiples funciones beneficiosas junto con una eficacia comprobable en la agricultura sostenible (Aamir *et al.*, 2020).

Las tendencias futuras de los biofertilizantes van dirigidas al desarrollo de un ambiente microscópico, con condiciones que faciliten la reproducción, el crecimiento y las actividades funcionales de los microorganismos (Safari *et al.*, 2020).



© Emilio Salceda. *Xinacates*. San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.

Las condiciones adecuadas permitirán proporcionar productos eficientes, seguros, económicamente aceptables y fáciles de aplicar, que garanticen la salud y el crecimiento de las plantas y la aceptación por parte del consumidor.

Aún hay mucho trabajo por hacer para contrarrestar el daño que hemos generado (y que desafortunadamente se sigue generando) en el suelo, los bosques, el agua, la calidad del aire y la biodiversidad. Sin embargo, con la búsqueda de prácticas agrícolas alternativas, respetuosas con el medio ambiente, estamos avanzando hacia la solución de este problema. ¡Aún estamos a tiempo!

REFERENCIAS

FAO (2019). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía. En *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019*.

FAO (2017). El estado mundial de la agricultura y alimentación. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*.

Herrmann L, Atieno M, Brau L and Lesueur D (2015). Microbial Quality of Commercial Inoculants to Increase BNF and Nutrient Use Efficiency. *Biological Nitrogen Fixation*, Chapter 101:1031-1040.

Malgioglio G, Rizzo GF, Nigro S, Lefebvre du Prey V, Herforth-Rahmé J, Catara V and Branca F (2022). Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. *Sustainability* 14(4):2253.

Safari M, Motamedi E, Kari Dolatabad H and Modarres Sanavy S (2020). Nano-carriers effects on the viability and efficiency of *Pseudomonas* strains as phosphate solubilizing bacteria. *Heliyon* 6(10):e05076.

Betsie Martínez Cano
Genaro Martín Soto Zarazúa
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
betsiemtz@gmail.com



© Emilio Salceda. *Xinacates*. San Nicolás de los Ranchos, Puebla, 2017.