



SRE
SECRETARÍA DE
RELACIONES
EXTERIORES

AMEXCID
AGENCIA MEXICANA DE COOPERACIÓN
INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO



Uruguay
Presidencia



auci
AGENCIA URUGUAYA
DE COOPERACIÓN
INTERNACIONAL

PROYECTO BILATERAL MÉXICO-URUGUAY

INOCULANTES MICROBIANOS

Promotores del crecimiento vegetal como
alternativa sustentable a los agroquímicos

Coordinación editorial:
Zahaed Evangelista Martínez
Élida Gastélum Martínez



INOCULANTES MICROBIANOS

Promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable a los agroquímicos

Zahaed Evangelista Martínez
Élida Gastélum Martínez
Coordinadores



INOCULANTES MICROBIANOS

Promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable a los agroquímicos

Primera edición: 2024

© Por la coordinación: Zahaed Evangelista Martínez y Élide Gastélum Martínez (coordinadores)

© Todos los textos son propiedad de sus autores

D. R. © Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado del Jalisco Av. Normalistas no. 800 Colonia Colinas de la Normal Guadalajara, Jalisco, 44270

ISBN: 978-607-8734-63-4

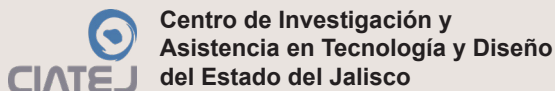
Título: Impreso y hecho en México



CONTENIDO

- 01 **pág. 08** **Desarrollo de inoculantes microbianos basados en microorganismos promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable al uso de agroquímicos**
Zahaed Evangelista-Martínez
- 02 **pág. 09** **Las bacterias *Streptomyces* para la elaboración de bioinoculantes**
Zahaed Evangelista-Martínez
- 03 **pág. 11** **Manejo fitosanitario de las enfermedades en los cultivos**
Alberto Uc-Varguez
- 04 **pág. 14** **Ventajas económicas del uso de bioinoculantes**
Ariel Vazquez-Elorza, Élica Gastélum-Martínez y Alberto Uc-Varguez
- 05 **pág. 15** **¿Qué son los bioinsumos agrícolas?**
Zahaed Evangelista-Martínez, Élica Gastélum-Martínez y Federico Battistoni-Urrutia
- 06 **pág. 17** **La vida del suelo y la sustentabilidad agrícola**
Cecilia Taulé, Federico Battistoni Urrutia y Zahaed Evangelista-Martínez
- 07 **pág. 19** **Bacterias benéficas**
Federico Battistoni Urrutia, María Inés Siri y Zahaed Evangelista-Martínez
- 08 **pág. 21** **El papel de los microorganismos en la agricultura sostenible**
Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Cecilia Taulé, Patricia Vaz y Gabriel Rincón-Enriquez
- 09 **pág. 23** **¿Cómo se elabora un inoculante microbiano?**
Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Zahaed Evangelista-Martínez y Gabriel Rincón-Enriquez
- 10 **pág. 25** **Encapsulando a los microorganismos benéficos** *Élica Gastélum-Martínez y Zahaed Evangelista-Martínez*

Autores
México | Uruguay



Instituto de Investigaciones
Biológicas Clemente Estable

Subsede Sureste

Dr. Zahaed Evangelista Martínez

zevangelista@ciatej.mx

Dra. Érida Gastélum Martínez

egastelum@ciatej.mx

Dr. Alberto Uc Varguez

auc@ciatej.mx

Sede Zapopan

Dra. Evangelina E. Quiñones Aguilar

equinones@ciatej.mx

Dr. Gabriel Rincón Enriquez

grincon@ciatej.mx

Dr. Ariel Vázquez Elorza

avazelor@gmail.com

Laboratorio de Interacción
Planta-Microorganismo

Dra. Cecilia Taulé

ctaule@iibce.edu.uy

Dra. Patricia Vaz Jauri

pvaz@iibce.edu.uy

**Dr. Federico Battistoni
Urrutia**

fbattistoni@iibse.edu.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Universidad de la República Uruguay. Facultad de Química

Dra. María Inés Siri

msiri@fq.edu.uy



Exención de responsabilidad

«El presente material ha sido elaborado con la asistencia de los Gobiernos de México y Uruguay. El contenido del mismo es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista del Gobierno de México, ni del Gobierno de Uruguay, así como tampoco de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo, ni de la Agencia Uruguaya de Cooperación Internacional».

Créditos de fotografía e imagen

- www.pexels.com
- Dr. Zahaed Evangelista Martínez
 - Dr. Alberto Uc Varguez
- Dra. Evangelina E. Quiñones Aguilar
 - Dr. Gabriel Rincón Enriquez
 - Dra. Cecilia Taulé
 - Dra. Patricia Vaz Jauri
- Dr. Federico Battistoni Urrutia
 - Dra. María Inés Siri



Mensaje del Fondo de Cooperación

El proyecto “Desarrollo de inoculantes microbianos basados en microorganismos promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable al uso de agroquímicos” es financiado por el Fondo Conjunto de Cooperación México-Uruguay, resultado del Acuerdo de Asociación Estratégica firmado entre los gobiernos de México y Uruguay en el año 2009, cuyo objetivo es promover el desarrollo de capacidades y el fortalecimiento económico y social sustentable entre ambos países.

En el marco de los lineamientos del Acuerdo entre ambos países, el proyecto tiene como objetivo: Promover el uso de bioinoculantes basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), como alternativa sustentable al uso de agroquímicos en los sistemas de producción agrícolas. De manera particular se contempla:

1. Implementar un programa de cooperación científico-técnico focalizado en el desarrollo de bioinoculantes basados en BPCV, con énfasis en cepas del género *Streptomyces*.
2. Promover la transferencia al sector productivo de conocimientos científicos- tecnológicos innovadores para la producción y aplicación de bioinoculantes basados en BPCV.

Para mayor información sobre el proyecto los datos de contacto de los responsables técnicos de ambos países son:

Dr. Zahaed Evangelista Martínez - (responsable técnico México)

Investigador Titular.

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y

Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ, AC), Subsede Sureste.

zevangelista@ciatej.mx

Dr. Federico José Battistoni Urrutia - (responsable técnico Uruguay)

Profesor Agregado de Investigación.

Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE).

Departamento de Bioquímica y Genómica Microbianas (BIOGEM)

Laboratorio de Interacción Planta-Microorganismo

fbattistoni@iibce.edu.uy

Desarrollo de inoculantes microbianos basados en microorganismos promotores del crecimiento vegetal como alternativa sustentable al uso de agroquímicos



El desarrollo de bioinsumos basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal es una propuesta de la AgroBiotecnología para que los productores del campo logren incrementar la productividad agrícola de cultivos de importancia para la alimentación, mejorar sus ingresos económicos y ofrecer alimentos libres de agroquímicos contaminantes. El uso de los bioinsumos tendrían enormes beneficios para pequeños productores (productores de los pueblos originarios y aquellos organizados en huertas familiares de traspatio), así como a medianos y grandes productores que se enfocan en cultivar de manera extensiva.

La finalidad de incentivar el uso de los bioinsumos de origen microbiano es para lograr disminuir el uso de los productos agroquímicos en la producción de alimentos del campo, con dicha acción se reducirá la liberación de pesticidas y fertilizantes que causan toxicidad al ambiente, a los animales e insectos benéficos y polinizadores de las plantas, así como a la salud humana. Con el uso de los bioinsumos se podrán obtener frutas y verduras libres de contaminantes tóxicos y nocivos.

Las bacterias *Streptomyces* son un grupo de microorganismos que habitan en el suelo en el cual cumplen la función de formar nutrientes que son aprovechados por las plantas a partir de residuos de materia orgánica de origen vegetal y animal. Estos microorganismos también son importantes porque son capaces de asociarse con las raíces de las plantas y promover el crecimiento vegetal. Además, son excelentes productores de compuestos capaces de controlar diferentes plagas que pueden funcionar como fungicidas, antibióticos, nematocidas, acaricidas o insecticidas.

Los atributos de las bacterias *Streptomyces* antes mencionadas son muy importantes para poder desarrollar y producir bioinoculantes altamente efectivos y eficientes que puedan adaptarse a diferentes tipos de suelo y condiciones ambientales.

Zahaed Evangelista Martínez
Federico Battistoni Urrutia
Responsables del proyecto



Las bacterias *Streptomyces* para la elaboración de bioinoculantes

Los ecosistemas agrícolas en los cuales se llevan a cabo la mayor parte de las actividades productivas de alimentos vegetales requieren hacer uso de diversos productos agroquímicos de manera intensa y constante, entre los que destacan los productos como los fertilizantes, insecticidas, fungicidas, herbicidas y nematocidas. Todos estos productos ayudan a los cultivos para alcanzar un rendimiento máximo en la producción vegetal, sin embargo, su uso continuo y excesivo con el paso del tiempo tiene un efecto negativo sobre la calidad del suelo afectando a buena parte de los microorganismos benéficos repercutiendo sobre la producción y salud vegetal.

Bajo este escenario, el uso de bioinoculantes basados en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) debe ser una acción a implementar en el corto plazo y ser empleados de manera alternativa al uso de los agroquímicos con la idea de que puedan funcionar como biofertilizantes, bioestimulantes o biocontroladores de otros microorganismos patógenos. Es importante recalcar que las BPCV son un conjunto de bacterias que provienen del suelo, que generalmente se asocian a las plantas sin causarles daño, favoreciendo su crecimiento y productividad.

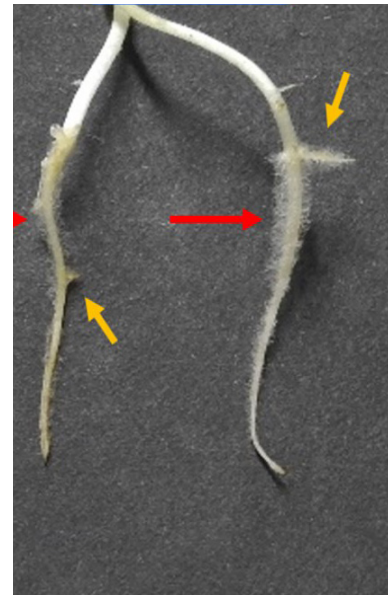
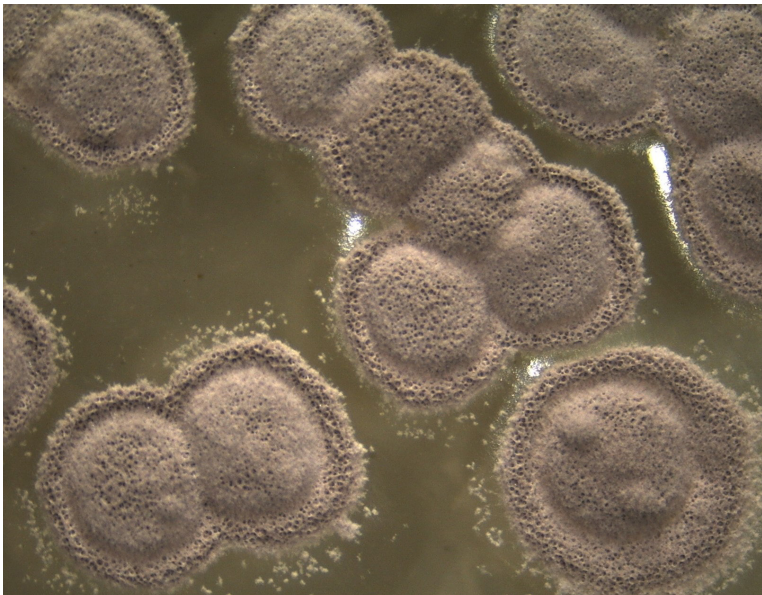
Durante varias décadas, diversas especies de microorganismos han sido empleados como BPCV sobresaliendo especies de los géneros *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Azospirillum*. Sin embargo, considerando la relevancia de las bacterias del género *Streptomyces*.

Entre las características que sobresalen de las bacterias *Streptomyces* para considerarlas como microorganismos potenciales para desarrollar formulaciones biológicas destacan: están ampliamente distribuidas en todos los suelos, en su mayoría son especies ubicuas, por su estructura filamentosa tienen la capacidad de colonizar la rizosfera, resisten condiciones ambientales adversas, presentan esporas resistentes que les permiten sobrevivir en el suelo por periodos de tiempo prolongados y ser almacenadas en diversos recipientes, promueven el crecimiento vegetal y participa en reciclar la materia orgánica del suelo y transformarla en nutrientes asimilables para las plantas. Además, son bacterias que pueden participar en la disponibilidad del fósforo y asimilación del nitrógeno para el crecimiento de las plantas y producir diferentes compuestos con actividad biológica benéfica como fitohormonas, fungicidas, nematocidas, antibióticos. También tienen la capacidad de producir enzimas que degradan materia orgánica que podrá ser aprovechada por las plantas. Con base en todo lo mencionado, es importante tomar en cuenta que la actividad que ejercen sobre la salud vegetal y el incremento en la producción vegetal puede darse de manera directa, indirecta, o ambos.

En este escenario, las BPCV resultarán clave en el futuro próximo como alternativas a los agroinsumos tradicionales, con la idea de que mejoren el número de frutos producidos, la producción de granos, el crecimiento aéreo de las plantas, o contribuyan en mejorar la calidad

de los vegetales y frutos, así como lograr que la planta tenga mayor resistencia al estrés biótico y abiótico que puedan presentarse en un ciclo de cultivo.

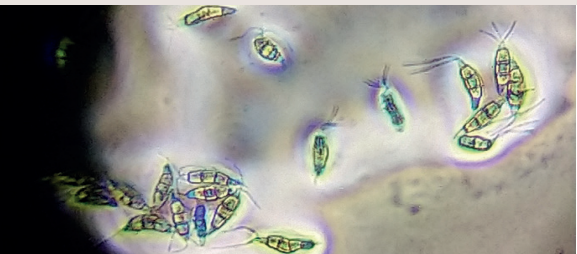
Contacto:
Dr. Zahaed Evangelista Martínez
zevangelista@ciatej.mx





Manejo fitosanitario de las enfermedades en los cultivos

ALBERTO UC-VARGUEZ



Introducción

Los cultivos agrícolas usados para producir alimentos generalmente son susceptibles a presentar problemas fitosanitarios que afectan negativamente a los cultivos de forma moderada a grave, que repercutirá en la economía de los productores. Las afectaciones severas que se observan en los cultivos pueden fluctuar entre el 37 al 50% del área total cultivada. Los daños provocados a las plantas generalmente son causados por organismos fitopatógenos como bacterias, hongos, virus, nemátodos e insectos.

Tomando en cuenta los aspectos antes mencionados, para poder realizar el manejo fitosanitario de la enfermedad, lo primero que los productores deben realizar es identificar al agente patógeno. Con esta información, el segundo paso se debe enfocar en conocer algunas características importantes sobre el agente patógeno, como pueden ser: a) su biología; b) el o los cultivos que infecta; y, c) los factores ambientales que afectan el cultivo y aquellos que benefician el desarrollo del patógeno. Por ejemplo, factores que tienen una influencia directa en el desarrollo de la enfermedad y su severidad tales como la temperatura, la humedad ambiental y del suelo, la intensidad lumínica, el sombreado, y otros factores más, pueden afectar o beneficiar la multiplicación del patógeno. Estos mismos factores, también pueden condicionar la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades.

Por tanto, considerando los aspectos antes mencionados, a continuación, se describen tres elementos fundamentales que deben considerarse para establecer un programa de manejo de las enfermedades en los cultivos:

a) Consideraciones relacionadas al patógeno

La identificación de manera precisa de un patógeno que causa enfermedades en los cultivos, antes de aplicar alguna medida de control, es un requisito fundamental para un manejo adecuado de una enfermedad en campo. Esta acción permitirá conocer la probable ruta de acceso del patógeno para infectar a las plantas, sea esta radicular, foliar, o por aberturas provocadas por heridas previas.

Una vez identificado el patógeno, se tendrá información suficiente que permitirá estudiar los aspectos biológicos, hábitos y comportamiento del patógeno, así como asociarlo con algunos de los factores externos que favorecen o disminuyen su reproducción en el cultivo. Con todo ello se tendrá identificada la etapa en la cual es más probable contralar su dispersión.

Como ejemplo sobre la importancia de conocer al patógeno causante de la enfermedad de los cultivos, podemos mencionar a especies de hongos patógenos de los grupos *Colletotrichum*, *Sclerotium*, o *Fusarium*, que forman estructuras de resistencia que les ayudan a sobrevivir cuando

existen condiciones adversas para su crecimiento como pueden ser la temperatura, humedad, o la ausencia de un hospedante. Es justo en la etapa de presencia de estas estructuras de resistencia en el hongo que resulta de poca utilidad aplicar los productos agroquímicos que controlan su desarrollo, e incluso pudiera ser más perjudicial con el tiempo, porque se corre el riesgo de seleccionar cepas resistentes a estos productos. Además, efectos contrarios a los deseados podrían ocurrir como consecuencia de la contaminación ambiental provocada al usar productos químicos en exceso, como son las afectaciones a las poblaciones de insectos y microorganismos benéficos del suelo, así como la salud de los agricultores y consumidores.

b) Consideraciones relacionadas a la planta

Cuando se encuentra un cultivo con síntomas de alguna enfermedad, es importante conocer:

- a) si el número de plantas afectadas por el patógeno justifica la aplicación de alguna medida de control.
- b) si los síntomas que presentan las plantas enfermas causan una disminución en la producción (afectaciones en el tamaño de las plantas, caída de hojas, flores y frutos), y
- c) si se corre el riesgo de que las plantas mueran por defoliación parcial o total.

La información se puede obtener a partir de plantearse las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el número de plantas enfermas con relación al total de plantas en nuestro cultivo?
- ¿Cuáles son las condiciones fisiológicas y de nutrición de las plantas que propician el desarrollo de la enfermedad?
- ¿Cuáles condiciones podrían ayudar a disminuir los efectos adversos en las plantas?

Las respuestas a estas preguntas determinarán la gravedad de los síntomas en las plantas enfermas y permitirán detectar las acciones que se pueden tomar de manera preventiva para evitar daños al cultivo. Por ello, será importante conocer la variedad de la planta utilizada, su estado nutricional, la humedad ambiental y del suelo; en este sentido, algunas plantas con deficiencias nutricionales de N, P, K y Ca, son más susceptibles al ataque de patógenos como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Pythium*. Caso contrario sucede cuando existe un exceso de fertilizantes nitrogenados hacia los cultivos que son más susceptibles al ataque por bacterias *Pseudomonas* y *Xanthomonas*.

c) Consideraciones relacionadas a los factores ambientales

Los factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, tipo de suelo, región donde se ubica el cultivo, velocidad de los vientos, son factores que influyen en la multiplicación y el movimiento de los organismos patógenos dentro de un cultivo y que ocasionan los incrementos en el número de plantas infectadas. Aunque algunos de estos factores pueden resultar benéficos para los cultivos al tener efectos negativos sobre el desarrollo de los patógenos y con ello limitar su propagación.

Reconocer detalles específicos sobre las condiciones ambientales de un área de cultivo pueden ser de mucha ayuda para dar respuesta a preguntas relevantes como las siguientes:

- ¿Cuándo hacer la aplicación de una medida de control?
- ¿Qué o cuáles medidas de control se recomiendan emplear?
- ¿Cuántas veces se pueden hacer las aplicaciones?
- ¿Dónde se debe aplicar la medida de control?
- ¿La medida de control se aplicará en todo el cultivo o sólo en un sector de la plantación?

Por supuesto, ante estas preguntas no hay respuestas únicas. Por este motivo, la decisión informada será la herramienta más importante para que el agricultor decida la medida de control que aplicará en su cultivo para un mejor manejo de una enfermedad. Con las respuestas que se logren recopilar se podrá hacer la elección del método de control más adecuado y diseñar la estrategia de control de la enfermedad más efectiva en ese momento.

Lograr identificar el mayor número de factores que afectan al cultivo y al patógeno será un paso importante para disminuir la posibilidad de seleccionar patógenos resistentes a un producto, lo cual ayudará a reducir pérdidas económicas en los cultivos provocadas por enfermedades y contribuirá en mejorar la rentabilidad del cultivo con beneficios para el productor y toda la cadena productiva.

En resumen, el manejo de una enfermedad puede realizarse de manera efectiva si conocemos con precisión el patógeno que causa la enfermedad, la respuesta de la planta en pre-

sencia del patógeno, así como la forma en que los factores ambientales afectan el desarrollo del patógeno y la planta, de modo que al final podamos elegir de manera informada la o las medidas de control más efectivas para el manejo de la enfermedad en un cultivo.

Contacto:
Dr. Alberto Uc Varguez
auc@ciatej.mx



Ventajas económicas del uso de bioinoculantes

ARIEL VAZQUEZ-ELORZA ÉLIDA GASTÉLUM-MARTÍNEZ ALBERTO UC-VARGUEZ

		Producto Químico	vs	Producto Biológico
Preparación del suelo		Herbicidas Pre o post emergentes Nematicidas		Bioinoculante microbiano
Germinación		Sólo riesgo Mejoradores de germinación		Sólo riesgo
Plántula		Enraizador Fertilizantes Fungicidas		Bioinoculante microbiano
Planta		Promotor de crecimiento Fertilizantes Fungicidas Bactericida Nematicida Inseticida		Bioinoculante microbiano Fertilizante
Floración		Inductor de floración Fertilizantes Fungicidas Bactericida Nematicida Inseticida		Bioinoculante microbiano Fertilizante
Producción		Sólo riesgo Fungicidas Bactericida Nematicida Inseticida		Sólo riesgo

Contacto
Dr. Ariel Vázquez Elorza
 avazelor@gmail.com



¿Qué son los bioinsumos agrícolas?



ZAHAED EVANGELISTA-MARTÍNEZ
ÉLIDA GASTÉLUM-MARTÍNEZ
FEDERICO BATTISTONI-URRUTIA

Las frutas y vegetales constituyen una parte muy importante de la dieta de las personas desempeñando un papel relevante en mejorar su nutrición y, por tanto, contribuyen en mejorar la salud de las poblaciones, principalmente en comunidades rurales. En estas comunidades se lleva a cabo un consumo de productos vegetales producidos en pequeñas parcelas y en algunos casos en huertos familiares y de traspatio. Esta actividad comunitaria repercute de manera positiva en la economía de las comunidades por el autoconsumo y por el hecho de la actividad de compra-venta de productos vegetales dentro de las comunidades lo cual beneficia económicamente a los pequeños y medianos productores. De esta forma se podrá contribuir con algunas de las metas previstas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por los países miembros de la Organización de Naciones Unidas (ONU), metas que permiten incrementar de forma sostenible la producción agrícola con mejoras en los ámbitos ambiental, económico y social. Sin embargo, la producción y consumo de estos productos se pueden ver limitados por las dificultades para que sean eficientemente distribuidos y por los constantes incrementos en los costos de producción.

Una demanda importante sobre la calidad de los productos del campo que consumimos está relacionada a la inocuidad o, dicho de otra manera, demandamos productos libres de contaminación química (pesticidas, fungicidas, herbicidas, insecticidas) y biológica (patógenos que enferman a las plantas). Por tal motivo, resulta importante que los productores conozcan al-

ternativas que tengan un impacto positivo en la producción y rendimiento de sus cultivos, mejorando la calidad nutricional de los alimentos y obtenerlos libres de contaminantes químicos.

¿Qué son los bioinsumos?

Se puede decir que los bioinsumos agrícolas son insumos biológicos que se obtienen a partir de fuentes naturales que provienen de: a) procesamiento de materiales vegetales, b) microorganismos benéficos obtenidos del suelo.

En el primer caso, pueden ser elaborados con extractos vegetales y compuestos naturales obtenidos de diferentes partes de las plantas; en el segundo caso, los componentes de los bioinsumos son generalmente microorganismos vivos (ej. bacterias, hongos, virus), que son agregados al suelo en donde entran en contacto con las plantas y benefician su crecimiento.

Existen bioinsumos que también pueden elaborarse mezclando diferentes sustancias naturales obtenidas de vegetales con algunos microorganismos benéficos, o bien, adicionando los compuestos naturales producidos por los microorganismos. Independientemente del tipo de bioinsumo, su preparación puede distribuirse en forma líquida, a manera de pastas o polvos solubles.

Los bioinsumos como alternativa a los agroquímicos

Para satisfacer las demandas por alimentos de las poblaciones humanas en constante crecimiento, se

requiere producir una mayor cantidad de alimentos del campo, que se realiza principalmente mediante una agricultura intensiva que por décadas ha sido el método más empleado para la producción agrícola. Esta modalidad de cultivo usa de manera intensiva la tierra empleando fertilizantes y pesticidas químicos, requiere de sistemas de riego, aunque necesita menos tierra para la producción vegetal en comparación a la agricultura extensiva.

La alta productividad en un campo de cultivo de manera tradicional se mantiene usando distintos tipos de productos agroquímicos, que al ser usados de manera desmedida y descontrolada genera una acumulación de diferentes compuestos que contaminan el suelo, aire y agua. Estos compuestos acumulados en el suelo provocan la muerte de un buen número de microorganismos benéficos para las plantas los cuales generalmente tiene un impacto positivo en el desarrollo vegetal y el control de plagas y enfermedades.

Es por lo anterior, que el desarrollo de bioinsumos agrícolas como una alternativa al uso de los productos agroquímicos es una acción que vale la pena promover, porque al ser utilizados en el campo contribuirán en reducir la aplicación de los agroquímicos, e incluso evitar su uso con lo cual se podrán mitigar los daños causados al campo. Al fomentar su uso como alternativa a los agroquímicos se podrán producir alimentos de manera sostenible, que definitivamente serán más sanos, nutritivos y libres de compuestos tóxicos dañinos para la salud.

¿Cuál es la función que los bioinsumos pueden realizar?

Los bioinsumos son productos que cumplen

varias funciones, entre ellas pueden ser utilizados para fertilizar el suelo y apoyar a las plantas en su nutrición, mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo y apoyar en poner a disposición de las plantas los nutrientes que provengan de la degradación de la materia orgánica vegetal y animal en descomposición.

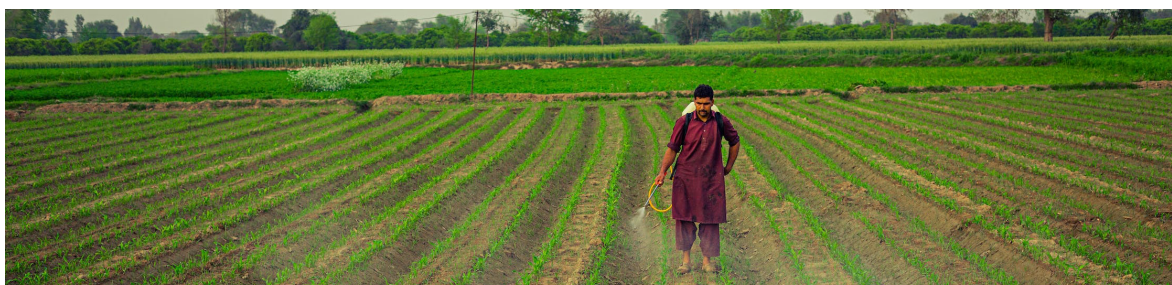
Asimismo, pueden tener un papel importante en el control de organismos patógenos que causan enfermedades a las plantas y disminuyen la productividad de los cultivos. Un atributo importante de los bioinsumos es que no son tóxicos para la naturaleza y al hombre, ya que no representan un riesgo para la salud de los agricultores que los aplican en los cultivos, a diferencia de cuando se exponen a los compuestos agroquímicos, de los cuales muchos son considerados muy tóxicos.

¿Cuáles son los beneficios que ofrecen los bioinsumos?

- No causan daños al ambiente.
- Pueden reemplazar y/o disminuir el uso de los agroquímicos.
- No dejan residuos tóxicos en el agua, el aire, el suelo, o en los alimentos que se producen.
- No provocan daños a la salud de los agricultores ni consumidores, ni a los animales.
- Mejoran el suelo y aumentan su fertilidad.
- Se obtienen frutos y vegetales que pueden considerarse como productos orgánicos.

Contacto:

Dr. Zahaed Evangelista Martínez
zevangelista@ciatej.mx





La vida del suelo y la sustentabilidad agrícola

CECILIA TAULÉ

FEDERICO BATTISTONI URRUTIA
ZAHAED EVANGELISTA-MARTÍNEZ

¿Qué es el suelo?

De acuerdo a la FAO, el suelo está compuesto por sales minerales, materia orgánica en descomposición, pequeños organismos vegetales y animales, microorganismos, aire y agua. Todos estos elementos forman la capa de suelo, el cual se produce por la desintegración de las rocas superficiales mediante la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento, que se conjunta con todos los nutrientes producidos por la descomposición microbiana de la materia orgánica de plantas y animales.

En el suelo se multiplican millones de formas de vida imperceptibles a nuestros ojos, sin embargo, en una hectárea de tierra fértil podemos encontrar más de 300 millones de pequeños insectos, arañas, lombrices y otros animales diminutos. En el caso de los microorganismos, se conoce que en la tierra que cabe en una cuchara que usamos para preparar una taza de café, se pueden encontrar más de un millón de bacterias, además de miles de levaduras y hongos.

¿Cuál es su función?

El suelo es una entidad que funciona como un ecosistema vivo del cual dependen un gran número de organismos, de esta capa superficial de la corteza terrestre las plantas crecen extrayendo nutrientes y agua. Asimismo, el suelo también funciona como soporte físico para las plantas y sostiene los hábitats que albergan la abundancia y diversidad de formas de vida de la Tierra.

El suelo cumple diversas funciones, entre las que destacan las de proveer alimentos, combustibles y otras materias primas de origen vegetal. No menos importantes son las funciones

de regular el reciclado de nutrientes, filtrar y almacenar el agua dulce, controlar a los patógenos y dar cobijo a organismos terrestres, entre otras funciones. Todas ellas brindan enormes beneficios al hombre y al ambiente.

¿Por qué es importante tener un suelo con buena salud?

La “salud” del suelo o un suelo “sano” se refiere a que esta capa contenga las propiedades físicas, químicas y biológicas (comunidades microbianas) necesarias y suficientes que promuevan el crecimiento vegetal y eviten el desarrollo descontrolado de organismos fitopatógenos, mejorando con ello la sanidad vegetal.

Además, estas propiedades también tienen un impacto positivo en mejorar la estructura del suelo y la calidad y cantidad de nutrientes disponibles para las plantas.

Tomando en cuenta la importancia del suelo para las actividades humanas, resulta muy importante e imprescindible cuidar su salud. Los suelos saludables y productivos son fundamentales para lograr el desarrollo de una agricultura sostenible.

El manejo agrícola convencional en la mayoría de los cultivos, incluye el excesivo uso de maquinaria agrícola que provoca un incremento de la erosión y degradación del suelo.

La degradación del suelo también es una consecuencia de otros factores como el cambio climático, la salinización, fenómenos de erosión, compactación, que provocan la pérdida de nutrientes y contaminación que se puede combinar con factores atribuibles a los paquetes tecnológicos aplicados al campo y que están basados en el

uso de agroquímicos. Los fertilizantes y pesticidas químicos deben usarse con cuidado para no afectar los procesos biológicos, y en la medida de lo posible, pueden ser combinados, disminuidos o reemplazados por productos bioinsumos naturales, entre los que destacan los que contienen microorganismos benéficos para las plantas.

¿Los microorganismos del suelo?

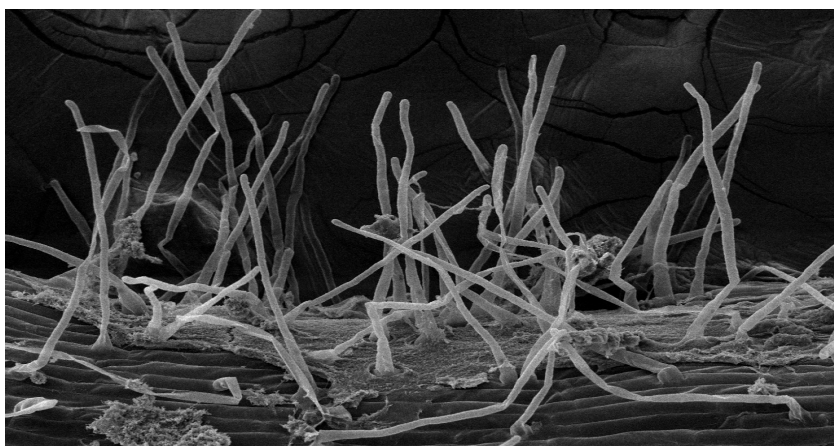
Los microorganismos son seres vivos microscópicos que habitan en todas partes del mundo y sólo pueden observarse con la ayuda de un microscopio. En el suelo se pueden encontrar una gran variedad de formas de vida, entre las principales se pueden observar a bacterias, hongos y virus. Estos microorganismos del suelo participan activamente en los ciclos biogeoquímicos de los elementos principales e importantes para las plantas como el carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. También, realizan una actividad biológica muy importante que consiste en degradar la materia orgánica y otros compuestos complejos. Estas actividades en conjunto son muy importantes en el proceso de darle estructura a los suelos de uso agrícola.

Muchos de los microorganismos del suelo realizan otras actividades biológicas benéficas de las cuales destaca su participación en controlar o detener los efectos negativos que tienen los microorganismos patógenos del suelo sobre las plantas de cultivos importantes como el maíz, trigo, soya, frutales, entre otros.

Los microorganismos también interactúan con las plantas, las interacciones de las comunidades microbianas principalmente se dan con las raíces de las plantas y su área de influencia (rizósfera), formando relaciones estrechas de beneficio mutuo planta-microorganismo con un efecto positivo en el cultivo. Habrá cultivos más sanos, productivos y con una mejor calidad en los frutos o vegetales cuando estas relaciones funcionen y permanezcan.

Por tanto, el empleo de bioinsumos basados en microorganismos o sus productos es una alternativa exitosamente comprobada y sustentable al uso de agroquímicos, que tienen un enorme potencial de ser aprovechados en diferentes cultivos, tomando en consideración que son naturales, no producen contaminación al medio ambiente y son de fácil producción.

Contacto:
Dra. Cecilia Taulé
ctaule@iibce.edu.uy





Bacterias benéficas

FEDERICO BATTISTONI URRUTIA
MARÍA INÉS SIRI
ZAHAED EVANGELISTA-MARTÍNEZ

Las plantas y su entorno

Las plantas son organismos complejos que actualmente se les denomina como organismos Holobiontes (Holo = todo, Bionte = organismo), por el hecho de que viven asociados a las plantas un gran número de macro y microorganismos. Por esto, se menciona que las características físicas que observamos y son visibles en una planta, son el resultado de las interacciones entre los organismos que mantiene asociados con el ambiente que las rodean.

De manera particular, los microorganismos que conviven con las plantas y que cumplen funciones fundamentales para su crecimiento y salud, se les conoce como Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PPGR).

Su función ha sido ampliamente demostrada, en especial porque muchos microorganismos son capaces de producir hormonas de crecimiento vegetal y proporcionárselas a las plantas. También participan en la captación de nutrientes minerales del suelo (N, P, K, Fe), así como actuar en la defensa contra otros microorganismos fitopatógenos y ayudar en tolerar cambios ambientales drásticos a los que están expuestas.

Bajo este escenario, los microorganismos promotores del crecimiento vegetal son de gran importancia para los productores porque favorecen que los cultivos tengan un mayor rendimiento en la obtención de frutos, mejoran la producción de granos y semillas, mejoran el crecimiento de las raíces, tallos y hojas, así como resultan importantes porque tienen una influencia positiva en que los productos agrícola-

las presenten mayores cantidades de compuestos naturales benéficos para los consumidores.

Las bacterias en apoyo de la producción de los cultivos

Los microorganismos promotores de crecimiento vegetal son una excelente alternativa a la utilización de productos agroquímicos, sobre todo porque en algunos cultivos de interés alimenticio se han venido utilizando con mucho éxito. Esta clase de productos biotecnológicos se definen como bioinsumos de origen microbiano que son elaborados con microorganismos (bacterias y hongos), o con compuestos bioactivos producidos por estos mismos, que funcionan como biofertilizantes, bioestimulantes y biocontroladores de microorganismos fitopatógenos, que auxilian en mejorar la productividad de los cultivos, la calidad y la salud de las plantas, y de manera indirecta tienen un papel importante en mejorar las características biológicas del suelo.

La elaboración de un bioinsumo requiere que sean seleccionados los microorganismos que promuevan el crecimiento vegetal, ya sea facilitando la absorción de los nutrientes y/o combatiendo a las plagas que les provocan las enfermedades.

Existen numerosos productos que incorporan a bacterias de los géneros *Bacillus*, *Azospirillum* y *Rhizobium*, los productos con las bacterias *Bacillus* son empleados para el control de insectos y los productos con bacterias de los dos géneros restantes se emplean para la promoción

de crecimiento vegetal, vía la fijación de nitrógeno. También, se emplean especies de hongos que combaten a otros hongos fitopatógenos y algunas otras especies de hongos se utilizan como promotores de crecimiento.

Los Rizobios como biofertilizantes para plantas leguminosas

Estas bacterias del suelo son capaces de tomar el nitrógeno del aire y convertirlo a formas de nitrógeno asimilables por las plantas, proceso que se denomina fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Estos microorganismos se asocian comúnmente con plantas leguminosas y forman unas estructuras particulares, los nódulos, que es el lugar donde viven y llevan a cabo su función. Estas estructuras pueden verse a simple vista, al desenterrar raíces de una planta leguminosa.

Existen desarrollos biotecnológicos que se usan en cultivos de gran interés como la soya, el frijol, el trébol y la alfalfa, entre otros. La aplicación de este bioinsumo ha permitido reducir drásticamente el uso de agroquímicos nitrogenados en los sistemas productivos.

Bioinsumos empleando a bacterias *Streptomyces*

En el caso de las bacterias *Streptomyces*, se reconoce que tienen la capacidad de promover el desarrollo radicular de las plantas promoviendo

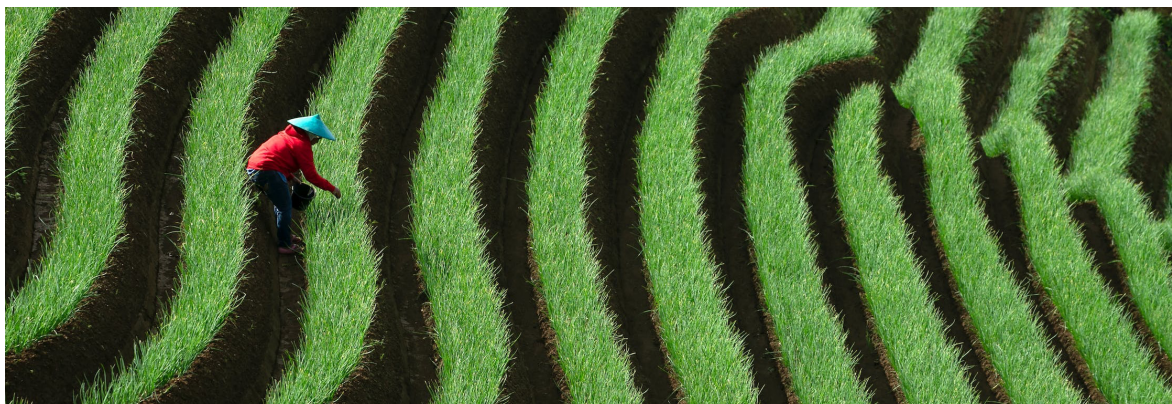
la aparición de raíces secundarias y pelos absorbentes muy útiles para la asimilación de agua y nutrientes para un mejor desarrollo vegetal. Algunos *Streptomyces* tienen actividad antagonista que impide el desarrollo de hongos y bacterias fitopatógenas, y otras especies tienen la capacidad de producir compuestos útiles para controlar la proliferación de nematodos fitopatógenos.

Otros aspectos importantes de estas bacterias, es que algunas tienen la capacidad de solubilizar fósforo insoluble y dejarlo disponible para que sea aprovechado por las plantas. La mayoría de especies no suelen ser dañinas a las plantas y más bien conviven con las plantas. Su presencia es habitual en todos los suelos, en los cuales se encargan de degradar mucha de la materia orgánica residual y una variedad importante de compuestos difíciles de degradar, funcionando como recicladores de la materia orgánica y ayudando en la formación orgánica de suelo rico en nutrientes, lo que ayuda a que los cultivos crezcan muy bien y puedan producir más alimentos.

Contacto:

Dr. Federico Battistoni Urrutia

fbattistoni@iibce.edu.uy





El papel de los **microorganismos** en la agricultura sostenible

EVANGELINA ESMERALDA QUIÑONES-AGUILAR

CECILIA TAULÉ

PATRICIA VAZ

GABRIEL RINCÓN-ENRIQUEZ

El suelo es un recurso natural crucial para la agricultura, ya que es el sitio en el cual crecen y se desarrollan las plantas que producen los alimentos que consumimos.

¿Sabías que el suelo alberga una gran diversidad de microorganismos importantes para el crecimiento y la salud de las plantas? El suelo es reservorio de una gran cantidad y diversidad de microorganismos, tanto benéficos, como aquellos que causan enfermedades a las plantas.

La rizosfera es el área del suelo que rodea las raíces de las plantas, es el sitio donde los compuestos que exudan o excretan las raíces atraen a una gran cantidad y variedad de microorganismos. Estos microorganismos benéficos (rizobacterias, micorrizas y algunos hongos), interactúan con las raíces de las plantas para promover su crecimiento y protegerlas de enfermedades.

Microorganismos de la rizosfera

Los microorganismos presentes en el suelo suelen ser los mejores aliados para los agricultores. Entre ellos se encuentran bacterias que mejoran el crecimiento y la productividad de los cultivos, a través de establecer contacto con las plantas modificando de manera positiva su metabolismo, mejorando el desarrollo radicular, incrementando su actividad biológica y contribuyendo en la absorción de los nutrientes del suelo.

Por ejemplo, las rizobacterias de los grupos *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, pueden fijar nitrógeno atmosférico y producir compuestos orgánicos esenciales para

el crecimiento de las plantas. También, pueden liberar sustancias que promuevan el crecimiento de las raíces y combatir la aparición de diversos microorganismos patógenos

Respecto a las micorrizas, se conoce que son hongos que establecen una relación estrecha (simbiosis) con las raíces de las plantas, con ello aumentan la superficie de contacto de las raíces y mejoran la absorción de los nutrientes.

La asociación que se establece los beneficia a ambos, la planta proporciona al hongo fuentes de carbono y un lugar donde vivir y reproducirse, mientras que el hongo proporciona a la planta agua y nutrientes, especialmente fósforo. Esta asociación protege a las plantas contra enfermedades y estrés por falta de agua, exceso de sales y compuestos tóxicos.

En el caso de los hongos benéficos asociados a las raíces, se puede mencionar a especies de *Trichoderma*, que se encargan de estimular el “sistema inmunológico” de las plantas y de protegerlas contra especies de hongos patógenos del suelo. También, existen hongos que controlan plagas de insectos, como los hongos *Beauveria* y *Metarhizium*, empleados como insecticidas biológicos en la agricultura.

Inoculantes microbianos obtenidos del suelo

Como ya se ha mencionado, los inoculantes microbianos son productos utilizados en la agricultura para mejorar el crecimiento y proteger las plantas de plagas y enfermedades. Cuando los

hongos o bacterias que contienen estos productos son usados para el control de patógenos, realizan esta actividad compitiendo por los nutrientes del suelo, inhibiendo su crecimiento, o bien, induciendo el sistema de defensa de las plantas.

Destacan, como ya se mencionó antes, los hongos micorrízicos arbusculares y las actinobacterias del género *Streptomyces*.

El uso excesivo de herbicidas, pesticidas y fertilizantes químicos en la agricultura, en conjunto con la disminución de la cubierta vegetal natural de las zonas de cultivo, causan daños importantes en los microorganismos benéficos (microbiota) presentes en el suelo. Por lo tanto, la disminución de los microorganismos nativos del suelo afecta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas afectando el desarrollo vegetal.

La disminución de muchas especies de microorganismos en los suelos agrava la dependencia de los agricultores por los productos químicos, lo que ha provocado la erosión del suelo y pérdida de nutrientes.

Por todo ello, es fundamental comprender la función biológica que desempeñan los microorganismos del suelo y coordinar acciones conjuntas que permitan usar y aprovechar los recursos microbianos.

Este nuevo conocimiento tendrá la finalidad de promover en el corto plazo prácticas

agrícolas que incluyan el uso de bionoculantes y fertilizantes orgánicos, como la composta que en conjunto puedan enriquecer el suelo para lograr una mejor producción del campo.

Además, será fundamental llevar a cabo otras acciones agrícolas, como son la rotación de cultivos y la siembra de cultivos de cobertura, que ayuden a proteger y mejorar la calidad del suelo, fomentando la preservación de la diversidad microbiana.

Finalmente, deberá ser relevante estudiar y comprender las interacciones que se llevan a cabo entre los microorganismos del suelo, con la finalidad de poder usarlos en el desarrollo de inoculantes biológicos eficaces.

Contacto:

Dra. Evangelina Quiñones Aguilar

equinones@ciatej.mx





¿Cómo se elabora un inoculante microbiano?

EVANGELINA ESMERALDA QUIÑONES-AGUILAR
ZAHAED EVANGELISTA-MARTÍNEZ
GABRIEL RINCÓN-ENRÍQUEZ



Las Actinobacterias como biopesticidas para el campo

Existen bacterias capaces de evitar el crecimiento de otros microorganismos, actividad que está asociada principalmente a la producción de diversos compuestos que inhiben el crecimiento de organismos fitopatógenos como bacterias, hongos y nemátodos.

Muchos de estos compuestos son producidos por un grupo de bacterias conocidos como Actinobacterias, que viven en el suelo y pueden ser aisladas para ser incorporadas en los bioinsumos. Por lo tanto, el primer paso en el desarrollo de un bioinoculante es obtener a las actinobacterias y en el laboratorio evaluar su capacidad para disminuir el crecimiento de los patógenos de plantas. Posteriormente, se debe continuar con la segunda etapa que consiste en evaluar su eficiencia para controlar a los patógenos en plantas cultivadas en condiciones de invernadero y campo, así como determinar su capacidad para controlar el desarrollo de síntomas de las enfermedades en los cultivos.

Posterior a estas valoraciones, se debe continuar con el proceso de producción del microorganismo benéfico a mayor escala, con el consiguiente desarrollo de una formulación efectiva. En esta etapa se debe contar con los contenedores que serán empleados para su almacenaje y distribución para que los productores agrícolas los utilicen para el control de los organismos patógenos que afectan sus cultivos.

Las micorrizas como fertilizantes biológicos

Los hongos micorrízicos arbusculares comúnmente conocidos como micorrizas son microorganismos que viven de manera obligada en las raíces de las plantas.

Las plantas les proporcionan un hábitat y nutrientes en forma de azúcar, mientras que las micorrizas les proporcionan nutrientes en forma de fósforo, nitrógeno y otros elementos que las plantas usan para crecer. Estos microorganismos también ayudan a las plantas a conseguir agua del suelo a protegerlas de enfermedades y plagas.

Los inoculantes microbianos a base de micorrizas se pueden encontrar en el mercado y generalmente se comercializan como biofertilizantes. Para su elaboración, estos inoculantes requieren seguir un riguroso control de calidad.

Selección de los mejores microorganismos

La selección de los mejores microorganismos del suelo para la elaboración de los bioinoculantes es una etapa fundamental para tener un producto que funcione en campo. Por este motivo, bajo condiciones de laboratorio se les evalúa la capacidad para promover el crecimiento de las plantas (fertilización microbiana), así como la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y controlar las enfermedades que afectan a los cultivos.

Posteriormente, las especies seleccionadas son incorporadas en formulaciones agronómicas que le confieren estabilidad a los microorganismos. El producto una vez elaborado debe ser aplicado en plantas bajo condiciones de invernadero, con este proceso se estará evaluando su capacidad para mejorar el crecimiento de las plantas, o según sea el caso, su capacidad para controlar al organismo patógeno de interés. Este estudio, que debe realizarse de manera rigurosa, permitirá seleccionar al mejor microorganismo, así como dejar establecidas las condiciones ideales para su aplicación en campo.

La tercera etapa requiere de preparar la formulación en mayor cantidad para aplicarse en parcelas demostrativas en las cuales se evaluará la efectividad en campo.

Producción de inoculantes a una escala piloto

Con el fin de cuidar la calidad de los inoculantes microbianos en los productos comerciales, siempre es necesario pasar por una etapa de producción a baja escala o escala piloto. En el caso de biofertilizantes con micorrizas, la producción deberá ser aproximadamente de entre 100 a 150 kg. Para producir estas cantidades de micorrizas se realiza un proceso que emplea la técnica de macetas trampa, que consiste en colocar plantas en macetas e inocular las micorrizas permitiendo que se lleve a cabo una reproducción de las esporas de las micorrizas en condiciones de invernadero. Posteriormente, las esporas pueden ser empleadas para elaborar la formulación agronómica.

Un biopesticida con base en actinobacterias producido en forma líquida necesita de volúmenes superiores a los 150 L, pero si el producto a elaborar es en forma de polvo dispersable, se debe pensar en producciones cercanas a los 100 kg. Para obtener la biomasa de células vivas del microorganismo que se requiere para la formulación se debe producir en instalaciones con equipos e infraestructura que permitan la

producción de esporas y/o sus compuestos activos en tanques metálicos (bioreactores), que son los que mantendrán las mejores condiciones para su reproducción.

En ambos casos, con los productos formulados se deben realizar pruebas que permitan evaluar su efectividad en las plantas, bajo condiciones de invernadero o campo. Los resultados que se obtengan serán de mucha utilidad para determinar su eficacia y funcionalidad, asegurando con ello la calidad del producto final que será ofrecido a los agricultores.

Producción industrial de los bioinoculantes

Con los resultados de efectividad biológica y definidos los requerimientos de calidad que debe cumplir el producto final, la autoridad gubernamental competente en la materia emitirá un reporte y certificado de funcionalidad del producto. Por tanto, es en este momento que se podrá iniciar con una producción a escala industrial, etapa en la cual se continuará monitoreando su efectividad biológica de manera que los productos sigan teniendo el mismo nivel de acción y efectividad (fertilización y/o control de plagas y enfermedades). En este momento del desarrollo, siempre será importante realizar evaluaciones adicionales, tales como la vida de anaquel del producto, es decir, el tiempo que el bioinoculante continúa siendo efectivo y el microorganismo continúa vivo. Superando estos requisitos, se podrá iniciar su distribución para que los agricultores puedan adquirir los productos.

Contacto:

Dr. Gabriel Rincón Enríquez

erincon@ciatej.mx





Encapsulando a los microorganismos benéficos

ÉLIDA GASTÉLUM-MARTÍNEZ
ZAHAEED EVANGELISTA-MARTÍNEZ

Bioinoculantes: Una Herramienta para la Agricultura Sostenible

Los bioinoculantes son productos diseñados específicamente para contener microorganismos benéficos en un formato fácil de aplicar. Se ofrecen comercialmente en diferentes presentaciones, que varían de acuerdo al tipo de microorganismo que contienen y a la manera en la que se deben aplicar a los cultivos.

Las principales presentaciones de los bioinoculantes son en forma de líquidos, polvos, gránulos o tabletas. Estos pueden ser aplicados:

- Directamente al suelo, en la base de las plantas y cerca de las raíces, para que los microorganismos puedan establecerse y colonizar las raíces de las plantas.
- Recubriendo las semillas de las plantas antes de su siembra, para asegurar que los microorganismos estén presentes en la zona de la raíz desde el principio de la germinación de las semillas, lo que puede mejorar el subsecuente desarrollo de las plantas.
- En algunos casos, los bioinoculantes pueden ser inyectados en el tronco para prevenir enfermedades y mejorar la salud general del árbol.

Es importante tener en cuenta que cada tipo de bioinoculante tiene sus propias instrucciones de uso y recomendaciones de almacenamiento, por lo que es importante leer las instrucciones del producto antes de utilizarlo. La eficacia de los bioinoculantes depende de muchos factores,

entre los que están el tipo de microorganismo utilizado, la dosis aplicada, la forma de aplicación y las condiciones ambientales (físicas y químicas) del suelo.

Encapsulación de Microorganismos Benéficos

La encapsulación de los microorganismos benéficos es una técnica utilizada para proteger y mantener la viabilidad de los microorganismos durante su almacenamiento y transporte. La encapsulación mejora la estabilidad y viabilidad de las células y los microorganismos, lo que permite su elaboración como bioinoculantes de larga duración.

El encapsulamiento es una técnica que implica el recubrimiento de los microorganismos con un material que actúa como una barrera protectora contra las condiciones ambientales adversas. Los bioinoculantes en polvo se hacen mezclando los microorganismos benéficos con un agente encapsulante y mediante equipos especializados y procedimientos físicos se obtienen los polvos del bioinoculante.

El agente encapsulante actúa como un medio para proteger y estabilizar los microorganismos y ayuda a que se adhieran a las raíces de las plantas y al suelo. Una vez que ha sucedido esta adhesión, la encapsulación permite la liberación controlada de los microorganismos en el suelo mejorando su eficacia.

Algunos ejemplos de agentes encapsulantes comúnmente utilizados incluyen materiales inorgánicos como arcilla, tierra diatomea, carbón

vegetal, lignito, vermiculita y talco. También se pueden emplear agentes encapsulantes orgánicos como harina de trigo, alginato, pectina, ciclodextrina, almidón, entre otros.

Los materiales empleados como encapsulantes deben ser seleccionados en función de su capacidad para proteger y mantener la viabilidad de los microorganismos durante el almacenamiento y transporte.

El proceso de fabricación de los polvos de bioinoculantes suele implicar las siguientes etapas:

- Selección de los microorganismos benéficos: Los microorganismos benéficos seleccionados para el bioinoculante se eligen en función del tipo de cultivo y los beneficios que se buscan obtener.
- Producción de los microorganismos: Los microorganismos benéficos se cultivan en un medio de cultivo adecuado para su crecimiento y multiplicación.
- Secado de los microorganismos: Después de que los microorganismos benéficos han sido cultivados, se secan para su estabilización y conservación.
- Mezclado con el agente portador: Los microorganismos secos se mezclan con el agente portador en polvo en una proporción adecuada para obtener la concentración deseada de microorganismos en el producto final.
- Envasado y etiquetado: El producto final se envasa en sobres o contenedores adecuados y se etiqueta con información sobre la composición, las instrucciones de uso y almacenamiento.



Es importante tener en cuenta que el proceso de fabricación puede variar según el tipo de microorganismo y el agente encapsulante utilizado, así como según el fabricante del bioinoculante.

Conclusiones

El uso de microorganismos benéficos en la agricultura es una práctica cada vez más común y efectiva para mejorar la producción de los alimentos del campo. La aplicación de bioinoculantes y la encapsulación de microorganismos benéficos son herramientas útiles para mejorar la calidad del suelo, aumentar la producción de los cultivos, reducir el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, y mejorar la sostenibilidad de la agricultura.

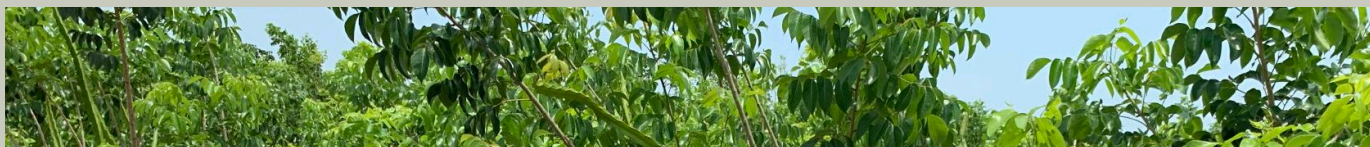
Contacto:
Dra. Élide Gastélum Martínez
egastelum@ciatej.mx



Referencias Bibliográficas

- Ali M., Cybulska J., Fraç M., & Zdunek A. (2023). Application of polysaccharides for the encapsulation of beneficial microorganisms for agricultural purposes: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *244*, 125366. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125366>
- Battistoni F., Scavino A.F., Ferrando L., Pezanni F., Taulé C., & Vaz-Jauri P. (2023). Endophytic and rhizospheric microbial communities associated with native and introduced cultivated plant species in Uruguay as sources for plant growth promotion bioinoculant development. *Environmental Sustainability*, *6*, 135–147. <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00277-6>
- Clavijo F., Curland R.D., Croce V., Lapaz, M.I., Dill-Macky R., Pereyra S., & Siri M.I. (2022). Genetic and phenotypic characterization of *Xanthomonas* species pathogenic in wheat in Uruguay. *Phytopathology*, *112*(3), 511-520. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-21-0231-R>
- Croce V., Lopez-Radencio A., Lapaz M.I., Pianzola M.J., Moyna G., & Siri M.I. (2021). An integrative approach for the characterization of plant-pathogenic *Streptomyces* spp. strains based on metabolomic, bioactivity and phylogenetic analysis. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 643792. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643792>
- De Armas S., Galván G.A., Lapaz M.I., González-Barrios P., Vicente E., Pianzola M.J., & Siri M.I. (2022). Phylogeny and identification of *Pantoea* species associated with bulb rot and bacterial leaf blight of onion crops in Uruguay. *Plant Disease*, *106*(4), 1216-1225. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-21-1140-RE>
- Evangelista-Martínez Z. (2014). Isolation and characterization of soil *Streptomyces* species as a potential biological control agent against fungal plant pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *30*, 1639-1647. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1568-x>
- Evangelista-Martínez Z., Contreras-Leal, E.A., Corona-Pedraza L.F., & Gastélum-Martínez E. (2020). Biocontrol potential of *Streptomyces* sp. CACIS-1.5CA against phytopathogenic fungi causing postharvest fruit diseases. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *30*, 117. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00319-9>
- Evangelista-Martínez Z., Ek-Cen A., Torres-Calzada C., & Uc-Varguez A. (2022). Potential of *Streptomyces* sp. strain AGS-58 in controlling anthracnose-causing *Colletotrichum siamense* from post-harvest mango fruits. *Journal of Plant Pathology*, *104*, 553–563. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01104-3>
- García-Barrón S. E., Guerrero L., Vázquez-Elorza A., & Lazo O. (2021). What turns a product into a traditional one? *Foods*, *10*(6), 1284. <https://doi.org/10.3390/foods10061284>
- Heijo G., Taulé C., Mareque C., Stefanello A., de Souza E.M., & Battistoni F. (2020). Interaction among endophytic bacteria, sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars and chemical nitrogen fertilization. *FEMS Microbiology Ecology*, *97*(2), faa245. <https://doi.org/10.1093/femsec/faa245>
- Montoya-Martínez A. C., Rincón-Enríquez G., Lobit P., López-Pérez L. & Quiñones-Aguilar E.E. (2019). Native mycorrhizal arbuscular fungi from the rhizosphere of *Agave cupreata* and their effect on the growth of *Agave tequilana*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *42*(4), 429-438. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.429>
- Quiñones-Aguilar E. E., Montoya-Martínez A.C., Rincón-Enríquez G., P. Lobit &

- López-Pérez L. (2016). Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (4), 1052-1064. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000077>
- Sharma P., Bano A., Singh S. P., & Tong Y. W. (2023). Microbial inoculants: Recent progress in formulations and methods of application. En V. Kumar Sharma, M. Zambrano Passarini, V. Kumar Singh & S. Parmar *Microbial Inoculants* (1-28). Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99043-1.00017-7>
- Solís-Sánchez G. A., Quiñones-Aguilar E. E., Fraire-Velázquez S., Vega-Arreguín J. & Rincón-Enríquez G. (2020). Complete genome sequence of XaF13, a novel bacteriophage of *Xanthomonas vesicatoria* from Mexico. *Microbiology Resource Announcements*, 9 (5), e01371-19. <https://doi.org/10.1128/MRA.01371-19>.
- Taulé C., Luizzi H., Beracochea M., Mareque C., Platero R., & Battistoni F. (2019). The Mo- and Fe-nitrogenases of the endophyte *Kosakonia* sp. UYSO10 are necessary for growth promotion of sugarcane. *Annals of Microbiology*, 69, 741-750. <https://doi.org/10.1007/s13213-019-01466-7>
- Taulé C., Vaz-Jauri P., & Battistoni F. (2021) Insights into the early stages of plant-endophytic bacteria interaction. *World J Microbiol Biotechnol*, 37, 13. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02966-4>
- Trinidad-Cruz J. R., Rincón-Enríquez G., Evangelista-Martínez Z., & Quiñones-Aguilar E.E. (2021). Biorational control of *Phytophthora capsici* in pepper plants using *Streptomyces* spp. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(2), 85-99. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.06.014>
- Trinidad-Cruz J. R., Rincón-Enríquez G., Evangelista-Martínez Z., Guízar-González C., Enríquez-Vara J.N., López-Pérez L., & Quiñones-Aguilar E.E. (2021). Actinobacteria from avocado rhizosphere: antagonistic activity against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Xanthomonas* sp. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. e802. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.802>
- Valerio-Landa S. D., Quiñones-Aguilar E.E., Enríquez-Vara J.N., Hernandez-Gutierrez R., Hernandez-Montiel L.G., & Rincon-Enriquez G. (2021). Protein solutions from *Xanthomonas* as resistance inductors for the control of bacterial spot in tomato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 609-616. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.609>
- Vaz Jauri P., & Kinkel L.L. (2014). Nutrient overlap, genetic relatedness and spatial origin influence interaction-mediated shifts in inhibitory phenotype among *Streptomyces* spp. *FEMS Microbiology Ecology*, 90(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12389>
- Vaz Jauri P., de los Santos C., Fernández B., Sotelo, J., & Battistoni F. (2022). Differential modulation of the bacterial endophytic microbiota of *Festuca arundinaceae* (tall fescue) cultivars by the plant-growth promoting strain *Streptomyces albidoflavus* UYFA156. *Plant and Soil*, 485, 317-332. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05831-5>
- Vázquez Elorza A. & Reyes Munguía A. (2016). Política pública en materia de desarrollo social mediante el Fondo de Infraestructura Social Municipal Potosino. *EconoQuantum*, 13(1), 29-49.
- Vázquez Elorza A., Herrera García A. F., & Absalón Copete C. (2020). Impactos del COVID-19 en el sector agroalimentario de México: Metodologías y herramientas de análisis. *Economía Coyuntural*, 5(4), 59-88.



Visita a plantaciones



Otras actividades Talleres de capacitación a Técnicos de campo y Encargados de Unidades Productivas

TALLERES DE CAPACITACIÓN A PRODUCTORES



Opichén, Yucatán, México



Muna, Yucatán, México



Enfocado a:

Productores de cítricos, maíz y otras hortalizas de los municipios de Ticul, Muna y Opichén, Yucatán, México.



Mascota, Jalisco, México



Mascota, Jalisco, México

Enfocado a: Productores de raicilla, jitomate, guayaba, pepino, maíz, cebolla y chile de los municipios de Mascota y Talpa de Allende, Jalisco y Abasolo, Guanajuato, México.

ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN



XXI Congreso RELAR
VI reunión de promotores de crecimiento vegetal (PGPRJ – Pereira, Colombia; 2023).

POSTERS PRESENTADOS

ENCAPSULACIÓN DE BACTERIAS *Streptomyces* spp. COMO PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL EN CHILE HABANERO

RELAR XXXI PGPR 2023

Cristóbal J. Ramos-Hernández¹, M. C. Aquino-Sánchez², Raiza A. Cruz-Castro³, Zahand Evangelista-Martínez⁴, Alberto L. de la Cruz⁵, Edoardo Castellano-Martínez⁶, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México; ²Instituto Tecnológico Superior de Coahuila de Zaragoza, Veracruz, México; ³Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco - Subdele Sureste, Mérida, Yucatán, México; Correspondencia: *ramos@uaj.mx

OBJETIVO
El objetivo de este trabajo fue encapsular bacterias *Streptomyces* spp., con una mezcla de maltodextrina-alginate y secar por aspersión la mezcla para evaluar su efecto sobre la germinación y crecimiento de plántulas de chile habanero.

METODOLOGÍA
Streptomyces sp. CACS 1.16CA
Streptomyces sp. CACS 2.17CA
Streptomyces sp. CACA 1.1HGO
Streptomyces sp. CACA 1.1HGO
Streptomyces sp. AGS-58

Producción de EPS99F
- Aroo: 100 mg
- Maltodextrina (E120): 100, 95, 90, 75 g
- T₁: 120 °C
- T₂: 80 °C
- P: 5 bar
- t: 10-15 ml/min

Pruebas encapsulación

Encapsulados de *Streptomyces* sp. CACS 1.16CA
Encapsulados de *Streptomyces* sp. CACS 2.17CA
Encapsulados de *Streptomyces* sp. CACA 1.1HGO
Encapsulados de *Streptomyces* sp. CACA 1.1HGO
Encapsulados de *Streptomyces* sp. AGS-58

MALTOSEX-ALGINATO (g en 300 ml sol. espesor)	Y (%)	Viabilidad (UFC/g)
100:0	17.96	2.06 × 10 ⁷
75:25	14.03	3.45 × 10 ⁷
95:5	19.97	3.05 × 10 ⁷
90:10	17.96	2.60 × 10 ⁷

Alta raíz, Largo raíz, Pasa raíz, Pasa hoja

Streptomyces sp. CACS 1.16CA
Streptomyces sp. CACS 2.17CA
Streptomyces sp. CACS 1.16CA+2.17CA
CTRL agua

CTRL (agua)
CTRL (*Streptomyces* sp. CACS 1.16CA)
CTRL (*Streptomyces* sp. CACS 2.17CA)
CTRL (*Streptomyces* sp. CACA 1.1HGO)
CTRL (*Streptomyces* sp. AGS-58)

Figura 1. Crecimiento de plántulas de Chile habanero (*Capsicum chinense*) 30 días después de la aplicación de los encapsulados de *Streptomyces* spp. en Chile habanero. a) Sin encapsulados, b) Largo de raíz, c) Pasa de raíz, d) Pasa de hoja, e) Sin encapsulados.

CONCLUSIONES
El encapsulado de las *Streptomyces* es una alternativa para promover el crecimiento vegetal ya que mejora la interacción con las plántulas y la protección obtenida por la mezcla de los biopolímeros. Esto contribuye a reducir la invasión de los microorganismos al suelo. Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal utilizadas en este experimento estimulan el crecimiento de la planta y que el género *Streptomyces* es una alternativa para promover el crecimiento vegetal en las plántulas de Chile habanero (*Capsicum chinense*).

INTERACCIÓN ENTRE *Azospirillum brasilense* Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO DE AGAVE PULQUERO (*Agave salmiana*)

RELAR PGPR LATAM 2023

Christian Irán Niniz-Pedroza¹, Gabriel Rincon-Enriquez², Zahad Evangelista-Martínez³, Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar⁴, CIATEJ⁵, equino@ciatej.mx

CONAHCYT

RESUMEN

Agave salmiana es una planta mexicana empleada para la elaboración de una bebida fermentada (pulque). Especies del género *Agave* se han estudiado para determinar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en su crecimiento; se ha encontrado que distintas especies de *Agave* son altamente dependientes de los HMA como promotores del crecimiento vegetal. Sin embargo, se sabe poco entre la interacción de los HMA con *Azospirillum brasilense* (Ab) en *Agave*. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de Ab y HMA sobre el crecimiento vegetal de *Agave salmiana* en invernadero. Se evaluaron el número de hojas, diámetro de roseta y área foliar (cm²) a los 18 meses después de la inoculación; estos datos fueron analizados con un ANOVA y Tukey ($p < 0.05$). Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p < 0.05$) para las variables. No se observó un efecto aditivo en el crecimiento de *A. salmiana* por la inoculación de los HMA y de Ab. Por lo cual se puede indicar que para *Agave pulquero* los HMA son los principales promotores de crecimiento (Figura 1).

Figura 1. Vista general de plantas de *Agave salmiana* a los 18 meses después de establecida el experimento bajo condiciones de invernadero. Con aplicación de *A. brasilense* (Az) y del HMA: a: AzBN, b: AzCM, c: AzEM, d: AzFm, e: AzMM, f: AzPA, g: AzRi, h: AzSin HMA. Sin *A. brasilense*, aplicación solo del HMA: i: BN, j: CM, k: EM, l: Fm, m: MM, n: PA, ñ: Ri, o: Sin HMA.

CONCLUSIONES

Para *Agave pulquero* los hongos micorrízicos arbusculares son los principales promotores de crecimiento a nivel de condiciones de invernadero. Los PGPR no mostraron un efecto aditivo con los HMA en el crecimiento de este tipo de *Agave*.

LA INOCULACIÓN CON LA CEPA *Streptomyces albidiflavus* UYFA156 MANTIENE LA DIVERSIDAD BACTERIANA ENDÓFITICA EN LOS CULTIVARES DE FESTUCA DONDE HAY PROMOCIÓN DEL CRECIMIENTO

Patricia Vaz Jauri^{1,2}, Enzo Calzado¹, Cecilia Toule¹, Stephanie Jurburg¹, Federico Battistoni¹

¹Laboratorio de Interacción Biológica, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Uruguay; ²Laboratorio de Microbiología del Suelo, Facultad de Ciencias, UDELAR, Uruguay; ³Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Germany; pvaz@ibce.edu.uy

Introducción
La cepa UYFA156 promueve el crecimiento (PCV) en el cultivar de festuca (*Festuca ovinalis*) S/PCV Don Tomás, del que fue aislada, pero no del cultivar comercial Tacuabé. La microbiota endófitica de ambos cultivares es diferente en cuanto a composición, diversidad y respuesta a la inoculación con la cepa (1).

Objetivo de este trabajo fue evaluar la especificidad de la cepa UYFA156 en la PCV de festuca y la relación de la PCV con la microbiota endófitica.

Resultados

1. Hubo PCV en 2 de los 7 cultivares
2. Análisis de las comunidades bacterianas endófiticas
3. ¿Cómo cambia la composición de las comunidades en los cultivares con y sin PCV?
4. ¿Cómo cambia la diversidad en los cultivares con y sin PCV?

Conclusiones
La PCV observada por la inoculación con UYFA156 se acompaña de un cambio en la microbiota. Específicamente, AUMENTA LA DIVERSIDAD, y hay cambios puntuales en determinados taxones. Existe creciente evidencia de que una elevada diversidad bacteriana está asociada a la salud de los sistemas (2,3,4), por lo que podría considerarse este un posible mecanismo de PCV.

POSTERS PRESENTADOS



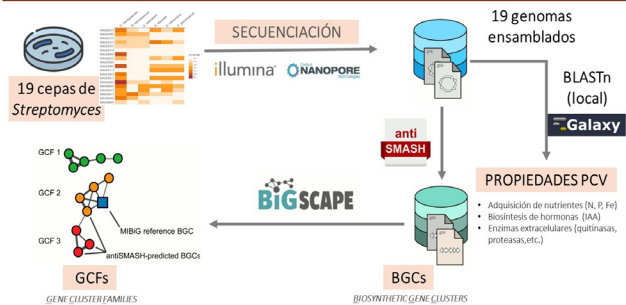
MINERÍA GENÓMICA EN CEPAS DE *STREPTOMYCES*: REVELANDO SU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO COMO BIOINSUMOS DE APLICACIÓN AGRÍCOLA

Sofía Zeballos, Valentina Croce, María Inés Siri
msiri@fq.edu.uy

INTRODUCCIÓN

Las bacterias del género *Streptomyces* cumplen funciones importantes como habitantes naturales del suelo y en estrecha asociación con las plantas. Estas bacterias se destacan por su capacidad de producir metabolitos especializados, estructuralmente diversos y con un amplio rango de actividades biológicas. Nuestro grupo cuenta con una colección de más de 200 cepas de este género que han sido caracterizadas en base a su actividad antimicrobiana frente a bacterias y hongos fitopatógenos. El objetivo de este trabajo es caracterizar mediante análisis genómicos 19 cepas de *Streptomyces* seleccionadas. El estudio se enfocó a determinar la presencia de genes y clusters genéticos asociados a la capacidad de promoción de crecimiento vegetal (PCV), incluyendo la biosíntesis de compuestos con actividad antimicrobiana, sideróforos, fitohormonas y enzimas extracelulares. Este estudio evidencia el gran potencial de las cepas de *Streptomyces* seleccionadas y sirve como base para futuros trabajos dirigidos a su evaluación como bioinsumos de aplicación agrícola.

MATERIALES & MÉTODOS



CONCLUSIONES & PERSPECTIVAS

- Se obtuvieron genomas de buena calidad que constituyen un insumo valioso para la identificación de nuevos metabolitos bioactivos y la caracterización de cepas de *Streptomyces* con potencial para su uso como bioinsumos en la agricultura.
- Las cepas seleccionadas presentan múltiples genes asociados con propiedades de promoción del crecimiento vegetal: biosíntesis de IAA, degradación de etileno, asimilación de N, solubilización de P, actividades catalíticas (proteasas, peroxidasas, quitinasas, etc).
- Se identificaron varios BGCs relacionados con la biosíntesis de compuestos con actividad antimicrobiana y una alta proporción de BGCs candidatos de interés para el descubrimiento de nuevos metabolitos bioactivos.
- Las cepas de *Streptomyces* caracterizadas se evaluarán por su actividad PCV en diferentes cultivos de interés.
- También se profundizará en el aislamiento y caracterización de los metabolitos bioactivos producidos por estas cepas.



Desarrollo de bioinoculantes

Patentes Otorgadas

- Cepa de *Streptomyces* sp con actividad antimicrobiana contra microorganismos fitopatógenos, composición que la contiene y uso de la misma. REGISTRO DE PATENTE No. 386915 B.
- Cepa de *Streptomyces* sp con actividad antagónica, composición que la contiene y uso de la misma. REGISTRO DE PATENTE No. 351439 B y 352683 B.
- Cepa de *Streptomyces* sp para control biológico, composición que la contiene y uso de la misma. REGISTRO DE PATENTE No. 351438 B y 352682 B.

Solicitudes de Patente

- Inductor biológico proteico para el control de enfermedades de plantas. Solicitud de Patente MX/a/2023-008646.
- Formulación de nanopartículas magnéticas para protección UV de bacteriófagos. Solicitud de Patente MX/a/2022-015536.
- Biopesticida para el control biológico de ácaros e insectos plaga campo de la invención. Solicitud de Patente MX/a/2022-015976.
- Agente biológico para el control de fitopatógenos. Solicitud No. Mx/a/2021/012736.
- Inoculante microbiano para el control biológico de agentes fitopatógenos. Solicitud No. MX/a/2020/013645.
- Método para la obtención y aplicación de un inductor de resistencia contra agentes fitopatógenos en plantas. Solicitud de Patente MX/a/2020/01363.
- Formulación protectora contra radiación solar UV para agentes de biocontrol en cultivos agrícolas. Solicitud de Patente MX/a/2020/m3766.
- Cepa de *Streptomyces* sp con actividad antimicrobiana contra microorganismos fitopatógenos, composición que la contiene y uso de la misma. Solicitud No. Mx/a/2017/013003

PROYECTO BILATERAL MÉXICO-URUGUAY

INOCULANTES MICROBIANOS

Promotores del crecimiento vegetal como
alternativa sustentable a los agroquímicos



Coordinación editorial:
Zahaed Evangelista Martínez
Élida Gastélum Martínez

