

# El Suelo como Reservorio de Bioinoculantes para Mejorar el Crecimiento y Protección Vegetal. Un Estudio Experimental.

Blanca Estela Gómez Luna\*, Rafael Alejandro Veloz García, César Díaz Pérez,  
Juan Carlos Ramírez Granados, Adán Topiltzin Morales Vargas

Departamento de Ingeniería Agroindustrial,  
Universidad de Guanajuato  
be.gomez@ugto.mx

*Recibido: 13 de mayo de 2021*

*Aceptado: 7 de junio de 2021*

## RESUMEN

Alternativas más amigables con el ambiente y con la salud humana, se ha utilizado la aplicación de biofertilizantes o bioinoculantes para suplir o complementar el uso de fertilizantes minerales, estos pueden ser microorganismos que se encuentran en el suelo. La guayaba (*Psidium guajava*) cuyos frutos son consumidos por su agradable sabor y valor alimenticio, aportando nutrimentos tales como flavonoides, carotenoides, vitaminas A, B y C, terpenoides y compuestos volátiles. Se buscó en este trabajo aislar rizobacterias con la capacidad de ser promotoras de crecimiento de plantas para aplicar en plantas de guayaba. Se tomó muestra de suelo de 5 huertos de guayaba y se utilizó en medio selectivo. Se obtuvieron 54 cepas, se probaron en germinación de semillas de guayaba con un control de agua y la aplicación de las bacterias aumento el porcentaje y reducción del tiempo de germinación, se aplicaron 9 cepas para el desarrollo de la planta mejoraron la biomasa con respecto al control incluso al fertilizante. Las cepas aisladas tienen un potencial como bioinoculantes y son una alternativa amigable con el ambiente para la producción de alimentos como es guayaba y otros.

**Palabras claves:** Sustentabilidad, Microorganismos benéficos, Rizobacterias, Guayaba

## ABSTRACT

Alternatives more friendly to the environment and human health, the application of biofertilizers or bioinoculants has been used to supplement or complement the use of mineral fertilizers, these can be microorganisms found in the soil. The guava (*Psidium guajava*) whose fruits are consumed for its pleasant taste and nutritional value, providing nutrients such as flavonoids, carotenoids, vitamins A, B and C, terpenoids and volatile compounds. It was sought in this work to isolate rhizobacteria with the ability to be plant growth promoters to be applied in guava plants. Soil sample was taken from 5 guava orchards and used in selective medium. 54 strains were obtained, they were tested in germination of guava seeds with a water control and the application of bacteria increased the percentage and reduced germination time, 9 strains were applied for the development of the plant, they improved the biomass with respect to the control even to fertilizer. The isolated strains have potential as bioinoculants and are an environmentally friendly alternative for the production of food such as guava and others.

**Keywords:** Sustainability, Beneficial microorganisms, Rhizobacteria, Guava

## 1. INTRODUCCIÓN

Un ecosistema saludable para las generaciones futuras y la urgente demanda de una producción sustentable alimentos y biocombustibles son cuestiones actualmente importantes para la sociedad mundial. Frente a este escenario, es de suma importancia el empeño de la comunidad científica en la búsqueda alternativas posibles para que el aumento de la producción agrícola esté garantizado y en sintonía con una buena calidad ambiental.

Desde que la humanidad ha requerido de producir alimentos de origen vegetal: cereales, hortalizas, frutas y verduras, se ha enfrentado a diversas limitaciones como: las condiciones climáticas, tipo de suelo, región geográfica, extensión de territorio para producción, entre otras. En la década de los setenta se llegó a pensar que la aplicación de fertilizantes y productos agroquímicos (fertilizantes de síntesis química, plaguicidas, funguicidas) era la solución a la demanda de creciente de alimentos que incluso llegaron a llamar “La Revolución Verde”. Con el paso del tiempo, se ha podido observar que el uso indiscriminado de los productos agroquímicos por décadas ha tenido consecuencias de acumulación de los mismos en el medio ambiente, por ejemplo, en el agua y el suelo; además de contaminar los alimentos ocasionando riesgo para la salud. Un ejemplo es el caso de pesticidas de origen organofosforado (endosulfán, malatión, paratión, metilparatión, clortion) para el control de plagas de insectos, que no resolvieron el problema de demanda de alimentos en el mundo y dejaron residuos en los alimentos provocando daños en la salud humana y animal (Bejarano, 2017).

La agricultura tradicional ha buscado acrecentar la producción agrícola mediante el manejo del agua, los nutrientes y el control de malezas, insectos y organismos fitopatógenos. Prácticas más recientes, apuntan a utilizar los insumos agrícolas en forma dirigida y controlada en el manejo integrado de plagas y enfermedades, la agricultura sustentable. Así, se busca identificar los puntos más sensibles del manejo del cultivo para aumentar su rendimiento y disminuir la cantidad de agroquímicos utilizados. Además de que el costo de los insumos agrícolas es altamente dependiente de variables internacionales y que sus efectos en el medio ambiente y a la salud humana pueden ser perjudiciales en exceso de cantidades o mal uso. El objetivo de la agricultura sustentable es mantener una alta producción con un descenso gradual de uso de agroquímicos, recurriendo al potencial biológico de las plantas y los microorganismos. En este contexto el uso de inoculantes compuestos por microorganismos benéficos, ya sean fitoestimulantes, biofertilizantes o agentes de control biológico, constituye una estrategia tecnológica cada vez más aceptadas en las prácticas agrícolas sustentables, tanto para cultivos intensivos como extensivos (Creus, 2017).

A nivel internacional se trabaja en proyectos de biodiversidad de microorganismos benéficos como alternativa para la producción del crecimiento vegetal y mantenimiento de la calidad de los suelos agrícolas mayoritariamente, pero también suelos de áreas naturales protegidas. Con el propósito de reducir el impacto ambiental negativo ocasionado por la aplicación excesiva de insumos químicos en los cultivos agrícolas, mediante la utilización de microorganismos benéficos promotores del crecimiento vegetal, que incluyen tanto bacterias como hongos (Orona et al., 2020).

En la búsqueda de alternativas más amigables con el ambiente y con la salud humana, se ha utilizado la aplicación de biofertilizantes o bioinoculantes para suplir o complementar el uso de fertilizantes minerales. Un producto conocido como biofertilizante está constituido por uno o varios microorganismos o productos de estos microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a la producción vegetal. Una característica muy buena de los biofertilizantes que los microorganismos o sus derivados que lo componen, se encuentran de manera natural en el suelo, especialmente en aquellos con buen contenido de materia orgánica y nutrientes. Lo que se busca con los biofertilizantes es utilizar lo que ya está en el suelo de

manera natural y desde hace millones de años, buscar a los mejores microorganismos y aplicarlos al suelo para ayudar en la producción vegetal (Afanador, 2017; Lira, 2017). Las asociaciones de varios grupos microbianos con las plantas han mostrado que al unirse ambos obtienen beneficios, favoreciendo el establecimiento y extensión de las plantas en el suelo. También se han utilizado como biofertilizantes mezclas de materia orgánica y microorganismos como son los abonos y compostas de derivados residuos agrícolas y animales. Estos últimos ya utilizados casi desde el comienzo de la agricultura por diversas culturas. De las ventajas que tiene en el uso de biofertilizantes comparado con el uso de fertilizantes de síntesis química están: permitir una producción vegetal a bajo costo, protección del medio ambiente, mantienen la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Morocho et al., 2019; Orona et al., 2020). Por otra parte, las desventajas que enfrenta el uso de biofertilizantes en comparación de los fertilizantes de síntesis química es el efecto inmediato en la producción vegetal al proporcionar los nutrientes disueltos en el agua en forma de iones que la planta puede tomar rápidamente (sulfato de amonio y fosfato monopotásico).

Los suelos forestales o de agroecosistemas poco perturbados como algunos huertos, tienen una enorme variedad de formas vivas que obtienen su energía principalmente de formas de la materia orgánica derivada de plantas y animales. El mayor componente biológico de los suelos forestales son las raíces de las plantas, microorganismos y animales del suelo. Juntos estos organismos tienen un papel importante en la función de los ecosistemas forestales a través de su participación en la degradación de la materia orgánica. A través de estos procesos se tiene un efecto positivo sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal y en la estructura del suelo. El suelo como ecosistema está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos. El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias (arqueas), actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Orona et al., 2020).

Las bacterias sobresalen de forma especial debido a que hay muchas poblaciones en un suelo y porque son el grupo más abundante. El papel de las bacterias en el suelo es muy variado: pueden estar participando en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, en asociación o interacción con las plantas, fijación de nitrógeno, promoción de crecimiento, degradación de compuestos xenobióticos, recirculación de nutrientes, degradación de celulosa, hemicelulosa, lignina, polisacáridos, hidrocarburos, proteínas, urea, inmovilización del fósforo orgánico, la oxidación del azufre, la formación de compuestos orgánicos de hierro, movilización del potasio, etc., (Hernández et al., 2017).

Las poblaciones microbianas del suelo están con múltiples interacciones que afectan el desarrollo de las plantas y la calidad del suelo. Estas comunidades están en actividades fundamentales que aseguran la estabilidad y productividad, tanto de los agroecosistemas como de los ecosistemas naturales. Se han propuesto formación de consorcios como cooperación microbiana como aplicaciones biotecnológicas amigables con el ambiente y que reduzcan costos, presentando una alternativa a los sistemas tradicionales y apoyando un cambio a la producción vegetal sustentable y totalmente amigable con el ambiente, ya que se toman microorganismos ya presentes en el suelo, se multiplican y se aplican. Ha sido ampliamente demostrado que los microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas y constituyentes del suelo en la interfaz raíz-suelo. Este gran conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos da lugar a un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una variedad de formas microbianas puede desarrollarse activamente y en equilibrio (Orona et al., 2020).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas son un grupo de bacterias que habitan en la raíz de las plantas y suelo adherido a ésta, este espacio es conocido como rizósfera. En la rizósfera se

producen una variedad de ácidos orgánicos que pueden ser metabolizados por las rizobacterias. Las rizobacterias a su vez proporcionan nutrientes del suelo a la planta. Este grupo de bacterias proporcionan beneficios a las plantas a través de varios mecanismos: fijación de N<sub>2</sub>, producción de fitohormonas, solubilización de fosfatos, síntesis de enzimas como la ACC desaminasa que reduce los niveles de etileno, control biológico, producción de sideróforos, antibióticos, activación de la respuesta sistémica inducida y producción de enzimas líticas. Los productos generados por los diversos mecanismos, tienen en la planta efectos directos e indirectos en el desarrollo y crecimiento como es: mejora en germinación, mayor desarrollo de la raíz, tallos, hojas y frutos o defensa contra organismos fitopatógenos. De especial interés son las bacterias con actividad de ACC desaminasa ya que estas pueden disminuir el nivel de etileno en la raíz de la planta, esto por la degradación del precursor del etileno el ácido-1- aminociclopropano -1-carboxílico (ACC). Las bacterias realizan este proceso por medio de la enzima ACC desaminasa que al degradar el ACC genera productos amonio y  $\alpha$ -cetobutirato, así las bacterias adheridas a la raíz de la planta consumen el ACC y bajan el nivel de etileno asociado a señales de estrés y favorecen la elongación de la raíz (Gouda et al., 2018; Orona et al., 2020).

La guayaba (*Psidium guajava*) es un árbol frutal cultivado en las regiones tropicales de América, Asia y Oceanía, cuyos frutos son consumidos por su agradable sabor y valor alimenticio, aportando nutrimentos tales como flavonoides, carotenoides, vitaminas A, B y C, terpenoides, compuestos volátiles y fibra, los cuales son importantes para la dieta humana gracias a sus propiedades como antioxidantes, antidiarreicos, antimicrobianos, entre otras (Brindis-Nateras et al., 2016; Quiñones et al., 2020). En México, la guayaba se cultiva en huertos en una superficie mayor a 22,000 hectáreas, distribuidas en los estados productores: Michoacán, Aguascalientes, Zacatecas, Estado de México, Querétaro, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Tabasco, Durango, Guanajuato, Colima, Puebla, Veracruz, Chiapas, Querétaro, Hidalgo, Sinaloa, Morelos y Baja California Sur, los cuales en conjunto generan 48,800 empleos directos, una producción de 225,000 toneladas anuales con un costo aproximado de 830 millones de pesos, constituyendo una de las actividades importantes del país. Además, la industria alimentaria, demanda frutos e calidad para la elaboración de jugos, néctar, ates, mermeladas entre otros productos para el consumo nacional. En términos anuales, la producción de este fruto se incrementó 3.8 por ciento, al pasar de 216 mil 649 toneladas en 2015 a más de 224 mil reportadas en los primeros 10 meses de este año. La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) informó que, en los últimos tres años, la producción de guayaba en México aumentó en 8.2 por ciento, lo que permite consolidar al país como el quinto productor mundial de este fruto. De acuerdo con un informe de la dependencia federal, durante el periodo enero–octubre de este año, la producción de guayaba en el país alcanzó las 224 mil 841 toneladas, lo que representa un incremento en términos de volumen de aproximadamente 17 mil toneladas, en comparación con el mismo lapso de 2014. En términos anuales, la producción de este fruto se incrementó 3.8 por ciento, al pasar de 216 mil 649 toneladas en 2015 a más de 224 mil reportadas en los primeros 10 meses de este año. En volumen, los cuatro más importantes son Michoacán con una producción de 117 mil 322 toneladas, Aguascalientes con 53 mil 536 toneladas, Zacatecas con 36 mil 949 toneladas y Estado de México con 10 mil 430 toneladas. Estas cuatro entidades tienen una participación cercana al 97 por ciento de la producción y sólo Michoacán aporta más del 50 por ciento del volumen nacional, lo que equivale a 218 mil 237 toneladas (SAGARPA, 2017).

Los inoculantes microbianos representan una nueva tecnología para mejorar el sistema agropecuario a largo plazo. Puede ser considerada como una tecnología limpia, alineada con los principios de la agricultura sustentable, frente al aumento de la utilización de los diversos agroquímicos como fertilizantes, fungicidas y pesticidas. En este trabajo se busca obtener rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal como bioinoculantes, que se encuentran en suelo y aplicarlas para mejorar el desarrollo de las plantas de una forma amigable con el ambiente.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 ENTORNO

Se tomaron muestras de suelo de 5 huertos de guayaba (*Psidium guajava*) de la ciudad de Salvatierra, Guanajuato, sus coordenadas de localización son latitud 20° 12' 43.974" (Norte) y longitud -100° 52' 33.5568" (Oeste). En cada huerto se seleccionaron 5 árboles y se formaron mezclas compuestas, se tomó la muestra de suelo de los primeros 15 cm de profundidad.

### 2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Cada una de las muestras de suelo se pusieron a secar durante 48 horas bajo la sombra, posteriormente se redujeron de tamaño de partícula con ayuda de un tamiz de 10 mallas. Por cada muestra de suelo se hizo un duplicado, haciendo diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-6}$  con agua destilada estéril, se inocularon 100  $\mu$ l de cada muestra en medio selectivo de Penrose y Glick, 2003, el cual su contenido es  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaHPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{MoO}_3$ , suplementado con 1-aminociclopropano-1-carboxilato ACC con una concentración de 3mM. Este medio selectivo se utilizó por la razón de que el ACC es un precursor del etileno, y en altas concentraciones es perjudicial para las plantas, el paso limitante de la vía biosintética del etileno es la conversión de SAM (s-adenosilmetionina) a ACC y MTA (5'-metiladenosina), pero aquellas bacterias con la actividad de la enzima ACCdesaminasa rompen la molécula, generando compuestos como amonio y  $\alpha$ -cetobutirato, las bacterias al colonizar las raíces de la planta utilizan como fuente de carbono y nitrógeno al ACC presente en raíces y exudados radiculares, siendo candidatas ideales para promover el crecimiento vegetal. Las bacterias que se desarrollan en el medio de tienen la capacidad de producir la enzima ACC desaminasa y por lo tanto candidatas a ser promotoras de crecimiento en plantas. A las bacterias que se desarrollaron en el medio selectivo se les realizó una tinción de Gram.

Las bacterias que fueron seleccionadas en el medio selectivo se inocularon en medio enriquecido para un mayor crecimiento. Cada aislado se inoculó en medio PDA (Papa dextrosa agar), composición por litro: 200 g de papa, dextrosa 20 g y 20 g de agar bacteriológico, se dejaron en incubación durante 24 h a 28 °C.

Para esta prueba se utilizaron semillas de guayaba, fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio comercial al 25 % durante 45 segundos, posteriormente se le retiró los residuos de hipoclorito de sodio con agua destilada estéril, y se sumergieron en etanol a 70% durante 45 segundos volviéndose a enjuagar tres veces con agua destilada estéril. Las semillas se colocaron en tubos con 15 ml de caldo de papa y la bacteria con 48 h de crecimiento, se dejaron en agitación constante por 30 min, se colocaron las semillas en cámara húmeda por 7 días a 28°C, cada día se revisó para identificar germinación, se preparó un control a las semillas se colocó agua sin bacterias.

Se preparó un inoculo con caldo de papa y las bacterias, se incubó a 28°C en agitación constante por 48 h, se seleccionaron 9 cepas. Se prepararon macetas de 200 g con peat moss estéril húmedo, y se le agregó una plántula de 25 días después de la germinación de guayaba por maceta con 5 ml del inoculo a cada maceta con 10 repeticiones por cepa, la densidad celular del inoculo fue de  $1 \times 10^6$  UFC/ml, se evaluaron 9 aislados y se prepararon macetas con fertilización 10-10-10 sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y sulfato de potasio y control sin inocular y sin fertilizante.

## 2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

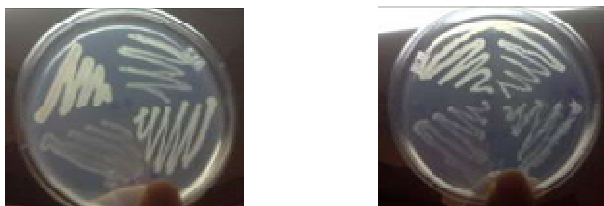
Para el porcentaje de germinación se emplearon 25 semillas por placa y duplicado. Para el desarrollo de las plantas se establecieron diez tratamientos con 10 réplicas en cada tratamiento y por bloques al azar.

## 2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se utilizaron en el análisis de varianza ANOVA y Tukey HSD ( $P \leq 0,05$ ) empleando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) 9.1.3 2013 para Windows, en donde se obtuvieron los cuadrados medios de cada componente evaluado.

## 3. RESULTADOS.

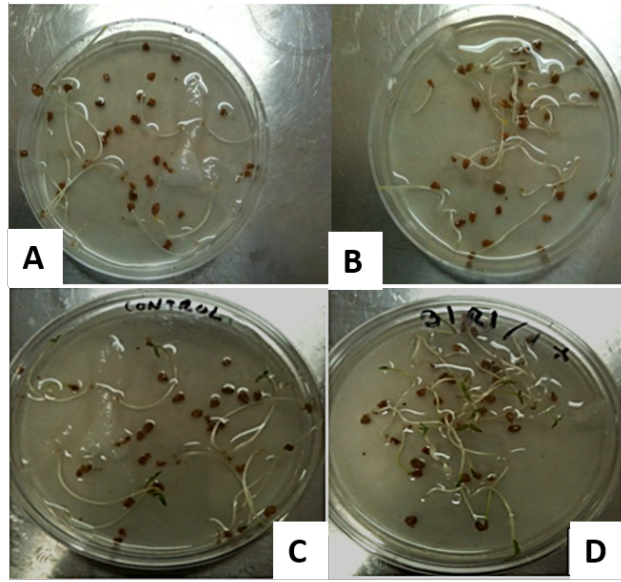
De acuerdo a la metodología seguida, el aislamiento de bacterias promotoras de crecimiento vegetal se realizó a partir del suelo para cultivo para guayaba, en donde se obtuvieron un total de 54 cepas las cuales mostraron tener la enzima ACC desaminasa; así mismo se procedió a realizar la caracterización morfológica de cada una de ellas por medio de la tinción diferencial de Gram. Con el método descrito para el aislamiento de bacterias a partir de suelo de guayaba se obtuvo un total de 54 bacterias tabla 1 con aspecto cremoso figura 1. De los aislados 20 fueron Gram – y 34 Gram +.



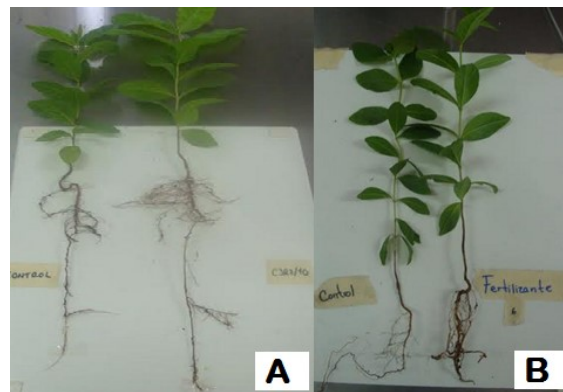
**Figura 1.** Bacterias aisladas del suelo de los huertos de guayaba en PDA.

La germinación comenzó 11 días después del inicio del tratamiento obteniendo el mayor número de semillas germinadas 25 días después, con la aplicación de bacterias se reduce el tiempo de germinación de las semillas a la mitad de tiempo ya que normalmente las semillas. En la Tabla 1 se muestran los resultados y en la Figura 2 se muestran las semillas germinadas. De la colección de cepas la mayoría supero al control al mejorar el porcentaje de germinación, las cepas con mejor efecto: DIR1, 6A2a, 8A2.1d y B2R3. Las plántulas se utilizaron para evaluar el desarrollo de las plantas con la aplicación de 9 cepas.

Se evaluaron las variables de número de hojas, altura y longitud de raíz. Los tratamientos muestran que las cepas de rizobacterias mejoraron el crecimiento de las plantas de guayaba comparado con el control y además dan resultado semejante a usar fertilizante Tabla 2 e Imagen 3.



**Figura 2.** Resultado de la prueba de germinación, A) semillas sin inocular (control) y B) semillas inoculadas con la cepa DIR1 a los 11 días de aplicar el tratamiento, C) semillas control y D) semillas inoculadas con la cepa DIR1 a los 15 días de aplicar el tratamiento.



**Figura 3.** Evaluación de promoción de crecimiento en la longitud de raíz en las plántulas de guayaba. (A) Comparación de la raíz de la plántula inoculada con el aislado B2R2/3 con respecto a la plántula control (sin inocular) y la plántula con la fertilización. (B) Comparación de la plántula control (sin inocular) y la plántula con la fertilización.

**Tabla 1. Resultados de la prueba de germinación 21 días después del tratamiento.**

Cepas	Porcentaje de germinación (%)	Cepas	Porcentaje de germinación (%)
A2R2 - 7(-)	36.7	6A2c - 3(+)	50.0
E1R1 - 3.2(+)	30.0	B2R3 - 8(+)	36.7
A2R2 - 7(+)	20.0	6A2c - 1(+)	43.3
C3R2 - 2.1	30.0	B2R3 - 10(+)	36.7
12A2.1b - 2(-)	20.0	8A2.1d - 2(-)	40.0
C3R2 - 2.2(+)	36.7	12A2.1 -1(+)	30.0
A2R2 - 10(-)	20.0	A2R2 - 9(-)	50.0
A2R2 - 2.2	40.0	B2R2 - 3(-)	46.7
13A3d (-)	30.0	6A2a - 3(+)	36.7
8A3b - 1(-)	33.3	6A2b - 1(+)	30.0
C3R2 - 10(+)	46.7	8A3a - 1(+)	40.0
A2R2 - 3(-)	30.0	1A2.1a (+)	53.3
B2R3 - 9(-)	36.7	6A2d - 2(+)	26.7
A2R2 - 4(-)	56.7	E1R1 -4.1(+)	46.7
12A2.1d - 1(+)	43.3	6A2a - 2(+)	20.0
D1R1 - 1(+)	66.7	13A3d (-)	46.7
12A2.1b - 1(-)	33.3	C3R3 - 2.3	36.7
6A2a - 1(+)	63.3	8A3b - 1(+)	36.7
47A3c(+)	43.3	8A2.1c - 3(-)	20.0
A2R2 - 2.1(-)	53.3	E1R1 - 3.1	40.0
8A2.1d (-)	63.3	6A2c - 2(+)	20.0
1A2.1a - 1 (-)	46.7	8A3a - 2(+)	30.0
12A2.1 - 2(+)	50.0	C3R2 - 2.2	26.7
A2R2 - 1(-)	40.0	47A3c(-)	36.7
6A2b - 2	56.7	6A2d - 3(+)	40.0
B2R3 - 2(+)	60.0	8A3b(-)	30.0
12A2.1d - 2	23.3	Agua	16.7
6A2d - 1(+)	30.0	PDB	23.7

**Tabla 2. Evaluación de las cepas en la producción de hojas y altura de plantas de guayaba**

Tratamiento	Número de hojas	Altura cm	Longitud raíz cm
6A2c-2	22 a	15.3 a	15.3 a
Fertilizante	21 a	16.3 a	16.3 a
C3R2/10	20 ab	17.0 a	17.0 a
B2R2/3	20 ab	17.0 a	17.0 a
A2R2/9	20 ab	17.3 a	17.3 a
A2R2-2.1	19 ab	12.7 ab	12.7 ab
8A3b-1	17 ab	16.0 a	16.0 a
8A2.1d-2	15 ab	15.3 a	15.3 a
A2R2/7	13 ab	11.3 ab	11.3 ab
Control	12 b	10.7 ab	10.7 ab

En la tabla 2 se muestran las medias en la misma columna con la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey HSD ( $P \leq 0,05$ ).

Otras variables determinadas fueron peso fresco y peso seco del tallo, follaje y raíz. La aplicación de las cepas presentó un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de guayaba tanto en el crecimiento biomasa de tallo y follaje como de raíz. Las cepas que mejor resultado dieron fueron: C3R2/10, B2R2/3, A2R2/9, A2R2-2.1, 6A2C-2, 8A3B-1 y 8A2.1d-2 superaron al control, las dos primeras superaron al fertilizante y dos cepas similar al fertilizante Tabla 3. Las cepas presentaron



efectos positivos en la biomasa de raíz todas superaron al control, las cepas con mejores resultados y superaron al fertilizante 6A2c-2, B2R2/3, C3R2/10, Tabla 4.

**Tabla 3. Evaluación de la promoción de crecimiento vegetal en follaje de guayaba con las cepas aisladas**

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Contenido de agua (g)
C3R2/10	2.303 a	0.730 a	1.573 a
B2R2/3	2.303 a	0.736 a	1.567 a
A2R2/9	1.826 ab	0.426 ab	1.400 ab
A2R2-2.1	1.630 ab	0.392 ab	1.238 ab
Fertilizante	1.586 ab	0.374 ab	1.212 ab
6A2c-2	1.546 ab	0.357 ab	1.189 ab
8A3b-1	1.076 ab	0.242 ab	0.835 ab
8A2.1d-2	1.050 ab	0.274 ab	0.776 ab
Control	0.730 b	0.210 b	0.520 b
A2R2/7	0.696 b	0.199 b	0.497 b

En la tabla 3 se muestran los valores de las medias en la misma columna con la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey HSD ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabla 4. Evaluación de la promoción de crecimiento vegetal en raíz de guayaba con las cepas aisladas.**

Tratamiento	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Contenido de agua (g)
6A2c-2	0.560 a	0.121 a	0.439 a
B2R2/3	0.543 a	0.140 a	0.403 a
C3R2/10	0.543 a	0.139 a	0.404 a
Fertilizante	0.523 a	0.134 a	0.389 a
A2R2/9	0.496 a	0.104 a	0.392 a
8A2.1d-2	0.476 a	0.105 a	0.371 a
A2R2-2.1	0.336 ab	0.129 a	0.207 a
8A3b-1	0.256 ab	0.086 ab	0.170 ab
A2R2/7	0.246 ab	0.059 ab	0.187 ab
Control	0.243 ab	0.082 ab	0.161 ab

Medias en la misma columna con la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey HSD ( $P \leq 0,05$ ).

#### 4. DISCUSION

En el suelo hay gran actividad microbiana en donde existen interacciones benéficas y perjudiciales, en la planta, la rizósfera juega un papel importante en el crecimiento, mantenimiento y desarrollo de la planta, ya que ahí se encuentra un sin número de microorganismos que pueden tener una interacción mutualista planta-microorganismo brindando la posibilidad de obtener microorganismos de tal manera que la sustentabilidad de los agroecosistemas se vean beneficiados por distintos mecanismos, teniendo la oportunidad de aumentar el rendimiento biológico de los cultivos (Gouda et al., 2018; Quiñones, et al., 2020).

Existe una gran gama de trabajos sobre la investigación de microorganismos promotores de crecimiento en plantas de interés agrícola, como es el maíz, frijol, trigo, cebada, sorgo, caña de

azúcar, arroz, jitomate, papa, café, algodón, entre otras, pero muy pocas investigaciones en frutales (Vivanco, et al., 2016; Velasco et al., 2020).

Los factores que ayudan a que se lleve a cabo la germinación son una serie de condiciones ambientales favorables para que se desarrolle este proceso, uno de estos factores es la humedad óptima, disponibilidad de oxígeno y temperatura adecuada para llevar a cabo los procesos metabólicos y de desarrollo de la planta, debido a esto, la finalidad de la prueba de germinación semillas de guayaba con el uso de las cepas aisladas reducir el tiempo de germinación (Gouda et al., 2018; Velasco et al., 2020)

Los aislados reducen tiempo de germinación en relación al control fueron B1R1/1, 6A2R2/10, siendo estos una alternativa para la biofertilización de plantas de guayaba, ya que pueden llegar a inducir la germinación por medio de las hormonas giberelinas, algunas semillas pueden germinar bien y completar su proceso de maduración, sin embargo, algunas aun en condiciones favorables no germinan y esto puede presentarse en semillas que no se encuentran en latencia (Guoda et al., 2018; Velasco et al., 2020).

En el desarrollo de la planta, las cepas de las rizobacterias seleccionadas son efectivas en el desarrollo de las plantas de guayaba, se favorecieron altura, número de hojas, longitud de raíz y biomas fresca y seca de tallo y raíz. Se demuestra que tratar las plantas con las cepas de las rizobacterias es mejor aplicar solo agua de riego, pero mejor aún es que son semejante a usar fertilizante de síntesis química o incluso superar a este tratamiento. Esto indica que la biofertilización representa un método sencillo, económico y favorable en la agricultura surgiendo debido al incremento del costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan en cantidades que llegan ser excesivas.

Aún falta trabajo e investigación de aplicación de bioinoculantes en frutales como es el caso de guayaba. En cultivos tropicales como el cacao se aplicaron bioinoculantes en plantaciones en el estado de Oaxaca, encontrando resultados positivos en el crecimiento de las plantas y con potencial para la producción de fruto y resistencia a plagas (Hipolito-Romero, et al., 2017).

## **5. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.**

Los resultados indican el potencial biotecnológico de las cepas aisladas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal y por lo tanto una alternativa amigable con el ambiente como bioinoculante para la producción de alimentos como es guayaba y otros cultivos o plantas de interés ambiental, medicinal u ornamental. Se demuestra que es posible disminuir incluso llegar prescindir de la aplicación de fertilizantes de síntesis química.

Desarrollar bioinoculantes que son amigables con el ambiente para aportar beneficios sin contaminantes en la producción de alimentos es una estrategia requerida para una agricultura sustentable. Se busca continuar con la investigación al estudiar sitios con suelos degradados y baja productividad vegetal, aplicar bioinoculantes introducir vegetación del lugar y monitorear el tiempo de recuperación del suelo y su actividad microbiana.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afanador, B. L. N. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. Ingencia. Volumen 2 Numero 1 pp 65-76.
- Bejarano, G. F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Red de acción sobre plaguicidas y alternativas en México. A.C. (RAPAM). pp 7-360.
- Brindis-Nateras, A. F., Acosta, E, Gordillo, M. y Gutiérrez, G. A. (2016). Medidas sustentables basadas en la tecnología para incrementar la calidad y productividad de la guayaba en la zona oriente de Michoacán. ECORFAN-México. pp 1-220.
- Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. Revista Argentina de Microbiología. Volumen 49 Número 3 pp 207-209.
- Gouda, S., Kerry, G. R., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S and Kumar, P. J. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiological research. Volumen 206, pp 131-140.
- Hipólito-Romero, E., Carcaño, M. M. G., Ramos, P. J. M., Vázquez, C. E. A., López, R. L. y Ricaño, R. J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cacao (*Theobroma cacao* L.) Revista Argentina de Microbiología. Volumen 49 Número 4 pp 336-365.
- Hernández, R. G. M, Álvarez, O. N. A. y Ríos, R. L. A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistémica. Corpoica cienc tecnol agropecuaria. Volumen 18 Número 1 pp 139-159.
- Lira, S. R. H. (2017). Uso de Biofertilizantes en la Agricultura Ecológica. Serie Agricultura Orgánica. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Número 14 pp 1-9.
- Morocho, M. T. y Levita-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Centro agrícola. Volumen 46 Numero 2 pp 93-103.
- Orona, C. I. y Leos, R. J.A. (2020). Estudios sobre el manejo orgánico del suelo en el norte de México. Reporte de investigación. Universidad Autónoma de Chapingo. 13-33.
- Penrose, D. M. and Glick, B. R. (2003). Methods for isolating and characterizing ACC desaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. Physiology Plant Volumen 118 pp10-15.
- Quiñones, A. E. E., Rincón, E. G. y López, P. L. (2020). Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). Terra Latinoamericana. Volumen 38 Número 3 pp 541-554.
- Velasco, J. A., Castellanos, H. O., Acevedo, H. G., Clarenc, A. R. y Rodríguez, S.A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. Terra Latinoamericana. Volumen 38 pp 333-345.
- Vivanco, C. R., Molina, R. D., Morales, G. Y. E., Quintero, H. V., Munive, H. A., Baez, R. A. y Muñoz, R. J. (2016). Reto agrobiotecnológico: inoculantes bacterianos de segunda generación. Alianzas y Tendencias. Volumen 1 Número 1 pp 9-19.

### 6.1 OTRAS REFERENCIAS

- SAGARPA. (2017). Secretaria de agricultura y desarrollo rural. México. Recuperado el 12 de enero <https://www.gob.mx/agricultura>