

## REPORTE FINAL DEL PROYECTO DE SERVICIO SOCIAL

### Uso de PGPR en el cultivo de maíz; evaluación de sus efectos en el desarrollo de la planta y rendimiento en grano

**Emmanuel Bonilla Nava**

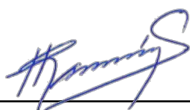
número de matrícula **2152031440**

Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

Fecha de inicio: **17 de junio de 2023**

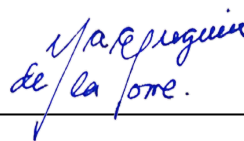
Fecha de terminación: **17 de diciembre 2023**

Vo. Bo. del presente trabajo de investigación



---

**DR. HUGO CÉSAR RAMÍREZ SAAD**  
No. Eco. 8642  
Depto. Sistemas Biológicos.  
**Asesor Interno**



---

**DRA. MARÍA EUGENIA DE LA TORRE HERNÁNDEZ**  
Investigadora por México (antes Catedrática CONAHCYT) comisionada a la UAM XOCHIMILCO  
No. identificador 900031  
**Asesora externa**

## RESUMEN

Las bacterias que producen fitohormonas, las cuales ayudan en el crecimiento de las plantas mediante diferentes mecanismos, son hoy en día ampliamente utilizadas en diversos cultivos con el fin de ayudar a su desarrollo y mejoramiento en la producción, dicho esto, el propósito de este trabajo, fue evaluar el efecto de tres rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), así como la mezcla de ellas, en 4 diferentes etapas del cultivo de maíz en un campo experimental en la localidad de Tepalcingo, Morelos con coordenadas 18.6139609 N, -98.8524639 W. Las mediciones que se evaluaron fueron las siguientes: longitud de raíz, altura de la planta, diámetro del tallo y, finalmente, el peso del grano; con este último se hizo una estimación de rendimiento para conocer cuál fue el tratamiento que más ayudó en el rendimiento en peso al final de la temporada de siembra. Las evaluaciones de 240 plantas de maíz de cada tratamiento, mostraron que las bacterias *Bacillus cabrialesi* P35 y *Pseudomonas atacamensis* P42 tuvieron un peso final en grano de 26.8 y 24.82 kg respectivamente en comparación con Testigo que tuvo un peso en grano de 20.1 kg.

# ÍNDICE

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diseño experimental.</i>	18
<i>Figura 2. Inoculación de las semillas.</i>	19
<i>Figura 3. Preparación del suelo y siembra.</i>	19
<i>Figura 4. Fertilización y control de malezas.</i>	19
<i>Figura 5. Análisis estadístico.</i>	20
<i>Figura 6. Media de pesos de 35 mazorcas por tratamiento obtenidas al azar.</i>	22
<i>Figura 7. 35 mazorcas por tratamiento.</i>	23
<i>Figura 8. Distancia en línea recta de dos parcelas comparadas.</i>	26
<i>Figura 9. Comparativa visual de las plantas de so parcelas en al misma zona</i>	26
<i>Figura 10. Densidad de la raíz de los tratamientos A) T y B) P42</i>	28
<i>Figura 11. Porte de plantas experimentales y de la región.</i>	29

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Número de mazorcas contabilizadas por tratamiento en cada parcela</i>	21
<i>Tabla 2. Peso del grano de 240 plantas por tratamiento de la parcela 1</i>	23
<i>Tabla 3. Proyección en peso del grano en toneladas por hectárea</i>	24

## INTRODUCCIÓN..... 5

## MARCO TEÓRICO ..... 6

Bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR)	6
Producción de fitohormonas	6
Auxinas	7
Giberelinas	7
Citocininas	7
Etileno	7
Inoculantes PGPR	7
<i>Pseudomonas</i>	8
<i>Bacillus</i>	9
<i>Stenotrophomonas</i>	9
Maíz	10
Nutrición del maíz	12
Nitrógeno	12
Fósforo	12
Potasio	12

## OBJETIVO GENERAL..... 13

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 13

## METODOLOGÍA..... 13

1.- Diseño experimental	13
2.- Inoculación de semillas	14
2.1.- Preparación de suspensión bacteriana estandarizada	14
2.2.- Preparación del recubrimiento para las semillas de maíz	15
2.3.- Lavado de semillas	15
2.4.- Inoculación de las semillas	15

3.- Siembra de las semillas inoculadas y control del cultivo.....	16
3.1.- Preparación del suelo.....	16
3.2.- Siembra.....	16
3.3.- Fertilización.....	17
3.4.- Control de malezas y plagas.....	17
4.- Evaluaciones del desarrollo de la planta.....	17
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>17</b>
Diseño experimental.....	17
Inoculación de las semillas de maíz.....	18
Siembra de las semillas inoculadas y control.....	19
Fertilización y control de malezas y plagas.....	19
Evaluación del desarrollo de las plantas.....	19
Número de mazorcas obtenidas en cada una de las parcelas experimentales.....	21
Análisis estadístico de la media del peso de 35 mazorcas.....	22
Peso total del grano por tratamiento evaluado (parcela 1).....	23
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>33</b>

## INTRODUCCIÓN

Las bacterias con las que se realizó este trabajo de investigación fueron obtenidas en el laboratorio de Ecología Molecular de la UAM-X. Se aislaron originalmente de la rizósfera y endósfera de la biznaga dulce (*Echinocactus platyacanthus*) nativa del semidesierto de Querétaro. Su identificación molecular y caracterización como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) se reportaron en Salinas Virgen L. (2019) y Salinas Virgen, et al., (2020). Como parte de su caracterización se evaluó su capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato, de producción de ácido indolacético, así como el biocontrol que pueden ejercer sobre agentes fitopatógenos. Las cepas que presentaron los mejores resultados en Salinas Virgen, et al., (2020) fueron: *Stenotrophomonas maltophilia* P31, *Bacillus cabrialesii* P35 y *Pseudomonas atacamensis* P42, por lo que en este trabajo se utilizaron con la intención de promover el crecimiento y desarrollo de plantas de maíz.

En México existe el registro de 59 variedades criollas de maíz; el maíz es un cultivo representativo de México por su importancia económica, social y cultural. La producción del maíz blanco es principalmente para el consumo humano, mientras que la producción de maíz amarillo es destinada a la industria de alimentos balanceados para la producción animal (Agencia de servicios a la comercialización y desarrollo de mercados agropecuarios [Gobierno de México], 2018).

El maíz es un cultivo básico en la alimentación mexicana, ya que es un componente esencial de los platillos tradicionales como tortillas, tamales y atole, entre otros. Este cultivo en México es vital para garantizar la seguridad alimentaria del país asegurando el suministro interno de este alimento básico, el cual, reduce la dependencia de las importaciones (Tecniprosesos biológicos, 2023).

En el ciclo de mercado 2021 – 2022 en México, para el mes de abril de 2022 se esperaba que la oferta de maíz blanco fuera de 26 millones 788 mil toneladas, cifra 0.4% menor respecto del ciclo 2020 – 2021. Respecto a la demanda del grano de maíz para abril de 2022, se esperaba que fuera de 18 millones 682 mil toneladas, y en cuanto a las exportaciones, estas

podrían llegar a 342 mil toneladas. El consumo humano en México en 2022, requeriría del 55.1% de la demanda nacional de este cereal y la producción nacional aportaría el 89.2% de la oferta total. (Secretaría de agricultura y desarrollo rural [SIAP], 2022).

Actualmente, algunas bacterias son ampliamente utilizadas como bioinoculantes que se incorporan durante la siembra para facilitar la disponibilidad de sustancias necesarias para el desarrollo de las plantas, este recurso se utiliza como alternativa al uso masivo de fertilizantes inorgánicos. Con ello se pretende obtener mejores resultados en la producción de cereales como el maíz, por lo que este trabajo plantea la inoculación de semillas de maíz con suspensiones bacterianas de las cepas PGPR anteriormente señaladas para evaluar su efecto en el desarrollo y producción de la planta.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (PGPR)**

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), son microorganismos que interaccionan con las raíces de la planta y la zona aledaña a ellas, en donde se llevan a cabo procesos de fijación de nitrógeno atmosférico, absorción iónica de hierro, zinc y otros micronutrientes esenciales, solubilización y absorción de fosfatos, además de la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, modulando con ello el crecimiento vegetal (Tapullima, 2021).

### **Producción de fitohormonas**

Las hormonas vegetales o fitohormonas, son metabolitos que ayudan el crecimiento vegetal, estas pueden ser producidas por las plantas de manera endógena, que es cuando reciben el nombre de fitohormonas, por otro lado, existen microorganismos capaces de producir estas sustancias, en donde en este caso, se les llama reguladores de crecimiento (Salinas-Virgen 2019).

## **Auxinas**

Algunas de las funciones de estas sustancias son: la intervención en la germinación, la formación de dominios apicales, la diferenciación vascular, el desarrollo de órganos y el desencadenamiento de procesos como la síntesis de proteínas, la división y el alargamiento celular. La auxina más estudiada debido a que un gran número de PGPR son capaces de producirla es el ácido indol acético (**IAA**) (Salinas-Virgen, 2019).

## **Giberelinas**

Este tipo de sustancias ayudan en la germinación de la semilla, en el desarrollo del tallo y el fruto, además de promover la floración. Se ha demostrado que la utilización de estas sustancias promueve la velocidad del crecimiento de la planta (Dos Santos, et al., 2020).

## **Citocininas**

Estos compuestos son los responsables de la germinación, del mejoramiento de la división celular y el desarrollo de las raíces. Regulan la biogénesis de los cloroplastos y la biosíntesis de la clorofila, también están relacionadas con la tolerancia de las plantas a factores de estrés bióticos y abióticos (Dos Santos, et al., 2020).

## **Etileno**

Esta sustancia tiene la función de regular el crecimiento vegetal al estimular la expansión celular, inhibir el crecimiento vegetativo y radicular, estimular la formación de flores y la maduración de frutos de la planta, por otra parte, induce la caída de hojas y frutos, acelera la senescencia y participa en la dormancia de las semillas (Salinas-Virgen 2019).

## **Inoculantes PGPR**

El estudio de la capacidad de las PGPR para potenciar el crecimiento de las plantas ha fomentado la formulación de inoculantes para su aplicación biotecnológica-agrícola (Molina, 2017). Los inoculantes, según Romero (2017), son formulaciones constituidas por un soporte

(sólido, líquido o gel) que contiene bacterias vivas capaces de beneficiar a una planta hospedera mediante el aumento de la germinación, la biomasa y/o la protección en contra de fitopatógenos, además de conferirles mayor resistencia a condiciones ambientales estresantes como la congelación, la alta salinidad, la desecación y la contaminación por compuestos xenobióticos (Molina, 2017).

Los inoculantes se pueden clasificar según la interacción o influencia que tienen sobre la planta en (Molina, 2017):

- **Fitoestimulantes:** Inoculantes con rizobacterias productoras de hormonas.
- **Biofertilizantes:** Inoculantes que contienen bacterias con capacidad de fijar nitrógeno y solubilizar fosfatos.
- **Agentes de biocontrol:** Inoculantes con bacterias que eliminan o antagonizan con patógenos.
- **PGPR biorremediadoras:** Inoculantes capaces de remover xenobióticos tóxicos que contaminan y afectan negativamente la salud de la planta.

El empleo de PGPR como biofertilizantes con capacidad de solubilizar fosfatos, producir ácido indolacético, captación de iones e inhibición de hongos, ayudan en el desarrollo de las plantas (Salinas-Virgen 2019)

Algunos de los géneros de PGPR fijadores de nitrógeno más estudiados son: *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Serratia*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Anabena*, *Nostoc* y *Arthrobacter* (Tapullima, 2021).

### ***Pseudomonas***

Este género bacteriano se encuentra en casi todos los suelos agrícolas, se trata de bacterias gram negativas que viven como saprofitas en la superficie de la planta o dentro de sus tejidos, algunas tienen la capacidad de suprimir microorganismos patógenos, sintetizar fitohormonas, incrementar la resistencia a enfermedades y aumentar la biodisponibilidad de nutrientes. Por el contrario, puede tener efectos adversos como inhibir el crecimiento de las plantas y causar pudrición, necrosis y distrofias (Tapullima, 2021) en caso de que la interacción no sea



benéfica. Como respuesta de defensa, las plantas activan ciertos mecanismos con los que son capaces de reconocer efectores microbianos liberados por patógenos durante la infección, los cuales desencadenan cascadas de señalización encaminadas a restringir la entrada y proliferación del patógeno en donde, con frecuencia, se induce la muerte programada en los puntos de infección, entre otros efectos (Romero 2018). Este género, tiene la capacidad de fijar nitrógeno, siendo una especie de vida libre por lo que no genera una relación simbiótica con la especie vegetal con la que se asocia, pero sí una relación mutualista. Este tipo de asociación no simbiótica representa alrededor el 20% de la fijación bacteriana de nitrógeno atmosférico en la biosfera. Este género bacteriano también es conocido por su capacidad de solubilizar fosfato por medio de la síntesis de ácido glucónico (Tapullima, 2021).

### ***Bacillus***

Estas bacterias pertenecientes a este género tienen como características principales que pueden desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno diatómico, poseen una capa gruesa de peptidoglicano y ausencia de membrana lipídica, por lo que son Gram-positivas, gracias a que desarrollan endosporas ovoides o cilíndricas pueden soportar condiciones ambientales adversas; se desarrollan en un rango de pH entre los 5.5 - 8.5, por lo que son candidatas perfectas para crear biofertilizantes, debido a que pH menores de 5 podrían dañar la raíz de la planta y, en valores de pH altos, podrían disminuir la absorción de nutrientes. Algunas especies tienen la capacidad de sintetizar péptidos que afectan directamente a algunos hongos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Botrytis*, entre otros (Tapullima, 2021).

### ***Stenotrophomonas***

Este género bacteriano forma parte del microbioma rizosférico de diferentes cultivos, incluido el maíz, y se considera PGPR gracias a que desarrolla actividades que permiten el crecimiento vegetal. Entre sus mecanismos de acción se incluye la solubilización de sales de fosfato, la producción de índoles y la síntesis de ACC desaminasa (Pérez, 2020).

La rizósfera es el medio más diverso y rico en fauna microbiana de un cultivo, por lo que la presencia de ciertas bacterias, hongos, nemátodos y protozoos es importante para

determinar la muerte o el desarrollo de la planta, por lo que resulta eficiente el tratamiento de plantas con microorganismos vivos para la bioestimulación del microbioma rizosférico, que ayude en el desarrollo y crecimiento del cultivo por medio de los metabolitos que los microorganismos producen (Tapullima, 2021).

## **Maíz**

Es una planta de porte robusto con tallo simple, erecto; puede alcanzar 4 m de altura, no tiene ramificaciones ni entrenudos, pero sí una médula esponjosa. Presenta inflorescencias masculina y femenina separadas dentro de la misma planta; la primera tiene una espiga de coloración amarilla que contiene polen en el orden de 20 a 25 millones de granos; en cada florecilla que compone la espiga se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. La inflorescencia femenina tiene un contenido menor en granos de polen (alrededor de 800 o 1,000 granos) que se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices, las cuales se disponen de forma lateral. El maíz se encuentra en forma de mazorca; el grano es un cariósipide de forma aplastada. Posee un alto contenido en carbohidratos y proteínas (Planeación agrícola nacional, 2016).

Prefiere los suelos franco-limosos, franco-arcillosos y franco-arcillosos-limosos con profundidad mayor o igual a 1 m y un pH de 5.5 a 7.5. El rango de temperatura para su mejor desarrollo es de 18 a 24 °C; idealmente, requiere una precipitación media anual de 700 a 1,300 mm.

La semilla permite que se siembre tanto en suelos bien preparados como en suelos con mínima labranza; la siembra se puede realizar de forma manual o con maquinaria, depositando la semilla en los surcos a una profundidad de 5 cm, con una separación entre hileras de 60 a 80 cm y una separación entre plantas de 25 a 50 cm (Planeación agrícola nacional, 2016).

El maíz en México tiene gran importancia desde el punto de vista social puesto que es la base de la alimentación de los mexicanos y, por lo tanto, la fuente nutricional principal; el consumo per cápita anual es de 297 kg. El maíz es el medio de vida y cultura de un gran número de pequeños productores y sus familias. La población que se dedica a la siembra de este grano es la más vulnerable del país ya que en ella existen los mayores índices de pobreza:

tres de cada diez de estas personas no alcanzan a alimentarse suficientemente. Los productores concentrados en entornos rurales de la región sur-sureste de México cultivan variedades de maíz criollo con prácticas tradicionales y en pequeñas extensiones, lo que impide que alcancen buenos rendimientos, pero contribuyen a la preservación de diferentes semillas y, por tanto, a la biodiversidad y seguridad alimentaria global, así como a la identidad de los pueblos, sus tradiciones y cultura (Govaerts, et al., 2019).

Por vulnerabilidad y riesgos actuales, la estabilidad y el crecimiento de la producción nacional de maíz está amenazada, lo cual exige la modificación de las estrategias que hasta ahora se han utilizado. La evidencia indica que la autosuficiencia en la producción de maíz se redujo de 80% a 68%, entre 2013 y 2015, debido al crecimiento de la demanda nacional y mundial como resultado de la modificación de los hábitos de consumo de la población (Govaerts, et al., 2019).

Debido al creciente mercado de ganado para consumo humano en el país, y el uso del maíz como forraje para la alimentación de los animales, hoy en día, México depende más de las importaciones que de la producción propia de este cereal, por lo que si no se encuentran alternativas para el crecimiento de la producción de maíz en el país, se podría agravar la dependencia de las importaciones (Govaerts, et al., 2019).

Avanzar en términos de productividad buscando alternativas sustentables, es totalmente viable. En los últimos 35 años, a nivel nacional, el promedio en el rendimiento de la producción de maíz por hectárea pasó de 1.8 toneladas a 3.5; con ciertas variedades de maíz, y en zonas de riego, pasó de 2.7 t/ha a 8 t/ha. Gracias a las condiciones agroclimáticas favorables, se puede destacar el potencial productivo probado en diferentes zonas del país, por lo que la siembra de maíz debería poder adaptarse a la demanda de los mercados nacionales e internacionales. Hoy en día, el reto consiste en aumentar la productividad y rentabilidad del maíz de manera sustentable en México, sin que lleve a un deterioro del medio ambiente o de las condiciones de vida de la población rural, sino todo lo contrario (Govaerts, et al., 2019).

## **Nutrición del maíz**

El maíz requiere de nutrientes para su crecimiento, unos en mayor proporción que otros, en donde los principales son el nitrógeno, fósforo y potasio.

### **Nitrógeno**

Está relacionado con la síntesis de varios componentes de las células vegetales como los ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas y lípidos, además de otros compuestos como coenzimas, pigmentos fotosintéticos y metabolitos secundarios; su ausencia o deficiencia inhibe el crecimiento general de las plantas, dando lugar a una clorosis (coloración amarilla de las hojas) y un menor crecimiento del tallo de la planta. El exceso de éste promueve un crecimiento vegetativo excesivo, retrasando la maduración de los frutos, lo que conduce a una reducción de la producción, además de que las plantas se vuelven más susceptibles a las infecciones por patógenos (Navarro, 2021).

### **Fósforo**

Es un elemento importante para las proteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos. Es fundamental en el almacenamiento de energía, ya que forma parte del trifosfato de adenosina (ATP). Asimismo, el fósforo estimula el crecimiento de las raíces de las plantas y está implicado en la producción de las flores. Un déficit de este nutriente provoca coloración verde oscuro y hasta púrpura de las hojas, así como la senescencia prematura de las hojas (Navarro, 2021).

### **Potasio**

Ayuda a regular el potencial osmótico de las células vegetales a través del control en la apertura y cierre de los estomas. Participa en la activación de enzimas involucradas en la respiración y la fotosíntesis, por lo que su deficiencia se manifiesta como una coloración marrón en el borde de las hojas, que posteriormente se arrugan. Su exceso puede reducir la disponibilidad de magnesio, resultando en una deficiencia de este nutriente (Navarro, 2021).

## **OBJETIVO GENERAL**

Inocular semillas de maíz blanco P4028W marca Pioneer con las bacterias PGPR: *Stenotrophomonas maltophilia* P31, *Bacillus cabrialesii*. P35 y *Pseudomonas atacamensis* P42, evaluando el crecimiento de la planta y rendimiento de grano en un ciclo de cultivo.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Establecer un diseño experimental de campo para la siembra de 13,800 semillas de maíz distribuidas al azar en 5 tratamientos con 3 réplicas.
2. Inocular en laboratorio las semillas bajo los siguientes tratamientos: 1) testigo con semillas no inoculadas; 2) semillas inoculadas con *Stenotrophomonas maltophilia* P31; 3) semillas inoculadas con *Bacillus cabrialesii* P35; 4) semillas inoculadas con *Pseudomonas atacamensis* P42; y 5) las cepas anteriores en mezcla estandarizada.
3. Sembrar las semillas inoculadas al inicio de la temporada de lluvias, 1 de julio 2023.
4. Evaluar el desarrollo de la planta en las etapas V4, V10 y V14 los siguientes parámetros de crecimiento: grosor de tallos, altura de planta y longitud de raíces.
5. En la etapa R6, estimar el rendimiento en grano seco al final de la cosecha.

## **METODOLOGÍA**

### **1.- Diseño experimental**

1.1.- Se utilizaron semillas de maíz blanco P4028W marca Pioneer, y se establecieron los cinco tratamientos mencionados en el objetivo específico 2. Cada tratamiento fue designado con un nombre corto que se muestran a continuación entre paréntesis: 1) semillas de maíz sin

inoculante bacteriano es el testigo T; 2) semillas de maíz inoculadas con *Stenotrophomonas maltophilia* P31; 3) semillas de maíz inoculadas con *Bacillus cabrialesii* P35; 4) semillas de maíz inoculadas con *Pseudomonas atacamensis* P42 y 5) semillas de maíz inoculadas con una mezcla estandarizada de las tres bacterias Mix.

1.2.- Por cada uno de los cinco tratamientos, se sembraron un total de 100 semillas de maíz a 15 cm de distancia una de otra sobre los surcos de cada parcela, haciendo un total de 600 semillas por tratamiento y 3,000 por parcela, lo que da un total de 9,000 semillas de maíz en las tres parcelas (réplicas).

1.3.- Se propuso un diseño de parcela con 3 réplicas, en donde las medidas fueron: 28.8 metros de largo por 15 metros de ancho, dejando 1 metro de distancia entre cada parcela de experimentación. En cada parcela se establecieron las posiciones de los cinco tratamientos de forma aleatoria.

1.4.- Se establecieron 6 surcos por cada uno de los 5 tratamientos dentro de cada parcela, a una distancia de 80 cm entre cada surco, dejando un sólo surco sin sembrar entre cada tratamiento, lo que disminuyó a 9,000 el número de semillas contempladas originalmente para el objetivo 1, que eran de 13,800.

## **2.- Inoculación de semillas**

### **2.1.- Preparación de suspensión bacteriana estandarizada**

2.1.1- A partir de cultivos crio-preservados de las cepas *Stenotrophomonas maltophilia* P31, *Bacillus cabrialesii* P35 y *Pseudomonas atacamensis* P42, y mediante una siembra por estría en placas de medio TY (Tryptona 5 g/L, extracto de levadura 3 g/L y CaCl<sub>2</sub> 1 g/L), se verificó la homogeneidad de las colonias obtenidas. La morfología celular, se verificó mediante tinciones de Gram bajo el microscopio.

2.1.2.- Posteriormente, se tomó una colonia aislada de cada uno de los cultivos bacterianos y se sembró en medio TY líquido; se incubaron en agitación a 140 rpm a 31°C, durante 24 horas para obtener los cultivos que se utilizaron como inóculos.

2.1.3- Con estos cultivos se inocularon 800 ml de medio TY líquido que se incubó durante 24 horas, a 140 rpm y 31°C.

2.1.4.- A partir de los 800 ml de caldo de cultivo de cada tratamiento, se dividieron en botellas de 250 ml y se centrifugaron por 5 minutos a 8,000 rpm a temperatura ambiente para formar un botón celular, mismo que se resuspendió para lavarlo con solución salina estéril y así eliminar los restos de medio cultivo.

2.1.5.- Una vez resuspendido el botón en la solución salina, se tomó 1 mL para ajustar la densidad óptica (OD) de los cultivos a 0.8 a una longitud de onda de 600 nanómetros.

## **2.2.- Preparación del recubrimiento para las semillas de maíz**

2.2.1.- Se preparó una solución stock de 500 ml de carboximetilcelulosa (CMC) al 8% y se diluyó 1:1 con agua esterilizada para dejar su concentración final al 4%.

## **2.3.- Lavado de semillas**

2.3.1.- Se desinfectaron y lavaron las semillas de maíz con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5%, con el fin de eliminar el recubrimiento de agroquímicos que traen de origen. Posteriormente, se lavaron con agua estéril para eliminar residuos de la solución anterior y se colocaron en papel absorbente para su secado.

## **2.4.- Inoculación de las semillas**

2.4.1- Las semillas se sumergieron durante 3 minutos en una mezcla del recubrimiento de CMC al 4% (250 ml) y 500 ml de los cultivos bacterianos correspondientes a cada tratamiento; se les retiró el exceso de líquido y se colocaron en bandejas plásticas con papel filtro en el fondo para dejarlas secar durante 12 horas.

2.4.2.- Una vez secas, se colocaron en los recipientes donde se transportaron, cuidando que no hubiera contacto entre los tratamientos.

### **3.- Siembra de las semillas inoculadas y control del cultivo.**

#### **3.1.- Preparación del suelo**

3.1.1.- Se realizaron dos trabajos pre siembra con ayuda de un tractor: subsuelo y surcada.

3.1.1.1 Subsuelo: este trabajo se hace para romper las capas del suelo con ayuda de ganchos a una profundidad de 60 cm y a una distancia de 80 cm entre cada línea.

3.1.1.2- Surcada: este trabajo se hace con el fin de establecer las guías para sembrar a mano y evitar variantes por medidas, la distancia de la cresta entre cada surco es de 80 cm y sobresale del nivel basal del suelo 25 cm aproximadamente.

3.1.2.- Las malezas que ya habían nacido en el suelo se eliminaron aplicando, con aspersoras, herbicidas post emergentes para evitar competencia por los nutrientes entre las malezas y el maíz, con el fin de dejar el terreno limpio para la siembra de las semillas.

#### **3.2.- Siembra**

3.2.1.- La siembra de las semillas de maíz se realizó de forma manual marcando la distancia entre semillas cada 15 cm con un lazo tipo piola.

3.2.2 Las secciones correspondientes de cada parcela se rotularon con el nombre de cada uno de los tratamientos para su correcta identificación.

3.2.3.- Una vez nacidas las plantas, alrededor de 15 días después de la siembra, se procedió en arrancar las nacencias dobles para dejar sólo 1 planta de maíz cada 15 cm y que no se viera afectado el resultado de rendimiento al momento de la cosecha.



### **3.3.- Fertilización**

Se fertilizó de forma manual con las cantidades que marca el estudio de suelo (Anexo A) en los días 10, 34 y 67 días después de la siembra.

### **3.4.- Control de malezas y plagas**

Se hicieron aplicaciones de agroquímicos para control de plagas (Spinetoram, indoxacarb y clorantraniliprol) y malezas (Atrazina + s-metolaclor, 2,4 D-diclorofenoxiacético, nicosulfuron, paraquat + diurón) durante las diferentes etapas del desarrollo de la planta.

### **4.- Evaluaciones del desarrollo de la planta**

Se hicieron mediciones en 3 plantas en cada uno de los tratamientos por parcela, en las que se midió la longitud de la raíz, el diámetro de los tallos y la altura de la planta a los 22, 39 y 53 días después de haber nacido la planta de maíz, días que corresponden a las etapas V4, V10 y V14 en el desarrollo del maíz

## **RESULTADOS**

### **Diseño experimental**

Distribución de todos los elementos que conforman el diseño de una parcela experimental. Se establecieron tres parcelas de cada una de ellas de forma contigua, una detrás de otra, con un espacio de 1 m entre cada una (Figura 1).

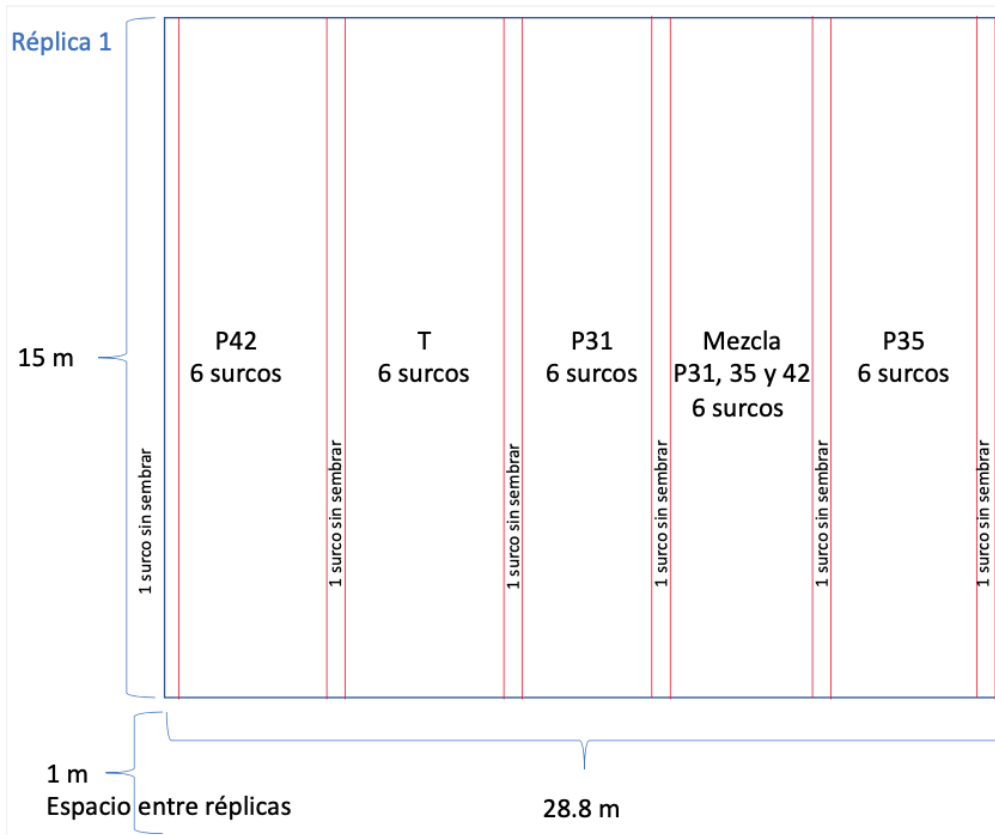


Figura 1. Diseño experimental mostrando para la distribución aleatoria de los 5 tratamientos utilizados en la parcela 1. La parcela 2 y 3 tuvieron distintas distribuciones de los tratamientos.

### Inoculación de las semillas de maíz

En la figura 2 se muestran fotos referentes a los procesos de lavado de las semillas (A), preparación de las suspensiones bacterianas estandarizadas (B-G), e inoculación de las semillas (H).

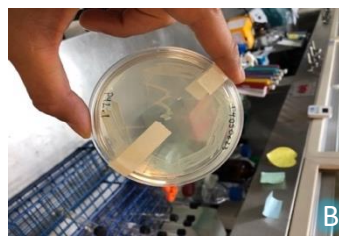




Figura 2. Inoculación de las semillas. A) Lavado de semilla para la eliminación del recubrimiento de agroquímicos que traen de origen. B) Siembra por estriado en medio TY. C) Inóculo en medio TY líquido. D) Cultivo bacteriano 24 horas después de haber vertido el inóculo. E) Botón bacteriano. F) OD ajustada a 600 nm G) Suspensión bacteriana mezclada con CMC al 4%. H) Semillas inoculadas en proceso de secado.

### Siembra de las semillas inoculadas y control

Preparación del suelo y siembra de semillas de maíz tratadas para la realización de este proyecto (Figura 3).



Figura 3. Preparación del suelo y siembra. A) Subsuelo, actividad para romper las capas aglomeradas del fondo del suelo y permitir que el agua permee y retenga humedad el terreno. B) El surcado sobresale del suelo para permitir guiarse a la hora de la siembra. C) Siembra guiada a una distancia de 15 cm entre plantas.

### Fertilización y control de malezas y plagas

Proceso de fertilización y aplicación de agroquímicos para el cuidado de las plantas (Figura 4).



Figura 4. Fertilización y control de malezas. A) Fertilización de acuerdo a las cantidades marcadas en el estudio de suelo (Anexo A). 4 B) Control de malezas y plagas por medio de fumigación con agroquímicos.

### Evaluación del desarrollo de las plantas

Los parámetros evaluados de las plantas fueron la altura, el diámetro del tallo y longitud de raíz, los cuales se midieron por triplicado en cada una de las tres parcelas, dándonos un total

de 9 mediciones por tratamiento; estas evaluaciones se hicieron a los 22, 39 y 53 días después de la siembra, en las etapas de crecimiento V4, V10 y V14, respectivamente. Los gráficos siguientes muestran las medias de las mediciones obtenidas (Figura 5).

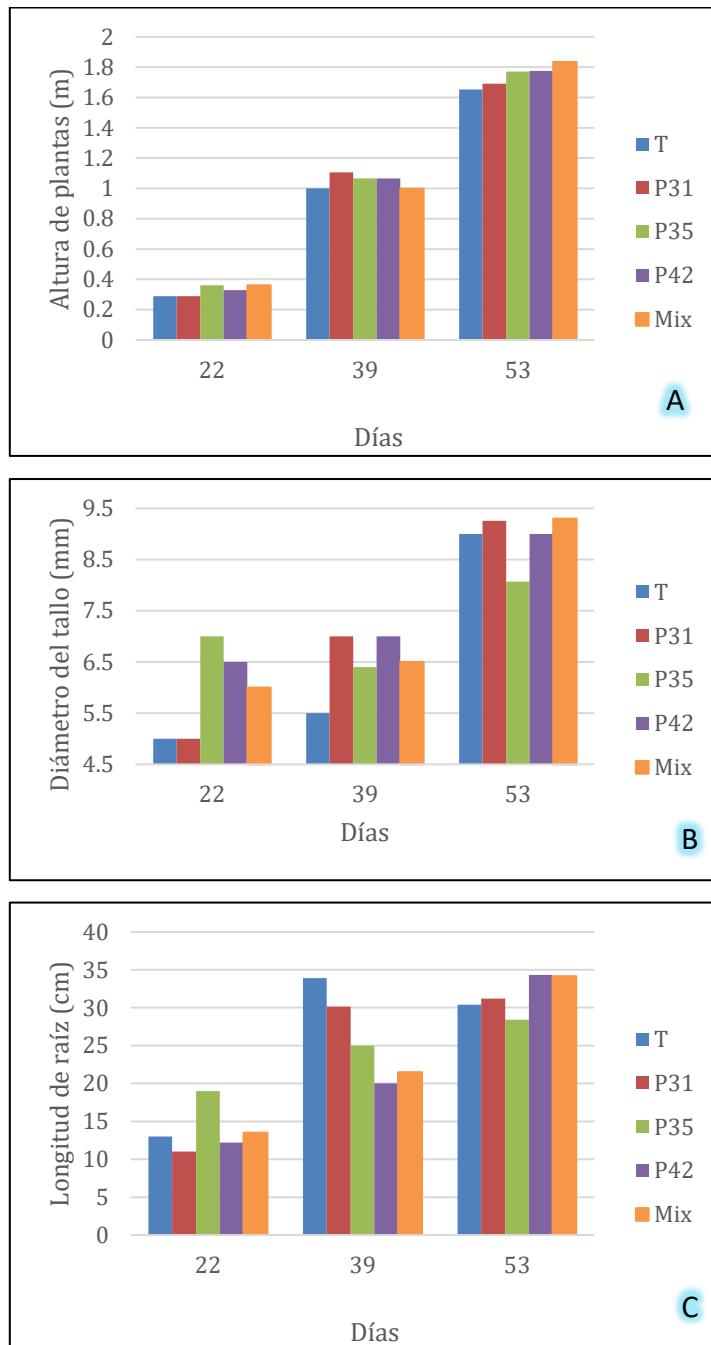


Figura 5. Evaluación de diferentes parámetros de crecimiento en plantas de maíz inoculadas con las suspensiones bacterianas probadas, a los días 2, 39 y 53 después de la siembra. A) Altura (m). B) Diámetro del tallo (mm). C) Longitud de raíz (cm).

Las medias de los parámetros evaluados fueron comparadas mediante un ANOVA, posteriormente la prueba de Tukey y con un intervalo de confianza de  $p < 0.05$  con el programa estadístico JMP; la altura de las plantas fue muy homogénea en los diferentes tiempos de evaluación: a los 53 días no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (Fig. 5A). El diámetro del tallo muestra un desarrollo heterogéneo entre los 22 y 39 días, sin embargo, a los 53 días no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (Fig. 5B). Las mediciones de longitud de raíz, aunque fueron heterogéneas en todas las etapas de desarrollo de la planta, no muestran diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (Fig. 5C).

### Número de mazorcas obtenidas en cada una de las parcelas experimentales

Los parámetros evaluados en la última etapa, los cuales corresponden al objetivo particular 5, fueron los siguientes:

- a) Número de mazorcas obtenidas en cada una de las 3 parcelas experimentales con los 5 tratamientos.
- b) Peso de 35 mazorcas de cada uno de los 5 tratamientos en la parcela 1 (Figura 6).
- c) Peso total del grano de 240 plantas cosechadas al azar en la parcela 1 (Tabla 2).

En la Tabla 1 se muestra el número de mazorcas obtenidas por tratamiento en cada una de las 3 parcelas experimentales. Se puede ver que en las parcelas 2 y 3 no hay uniformidad de datos ya que se obtuvieron menos mazorcas en algunos tratamientos, esto debido a afectaciones por eventos climatológicos como sequía y vientos fuertes en la región. Por esta razón se decidió tomar, para hacer el análisis, sólo los datos provenientes de la parcela número 1, en donde no hubo daños notorios en las plantas y existe uniformidad en el número de mazorcas obtenidas en todos los tratamientos.

Tabla 1. Número de mazorcas contabilizadas por tratamiento en cada parcela

Parcela	Tratamiento				
	T	P31	P35	P42	Mix
1	225	221	221	231	217
2	180	255	227	224	185
3	203	220	164	227	229
<b>Total</b>	<b>608</b>	<b>696</b>	<b>612</b>	<b>682</b>	<b>631</b>

## Análisis estadístico de la media del peso de 35 mazorcas

Se pesaron 35 mazorcas, tomadas al azar, de la parcela 1, y los datos obtenidos se muestran en la Figura 6.

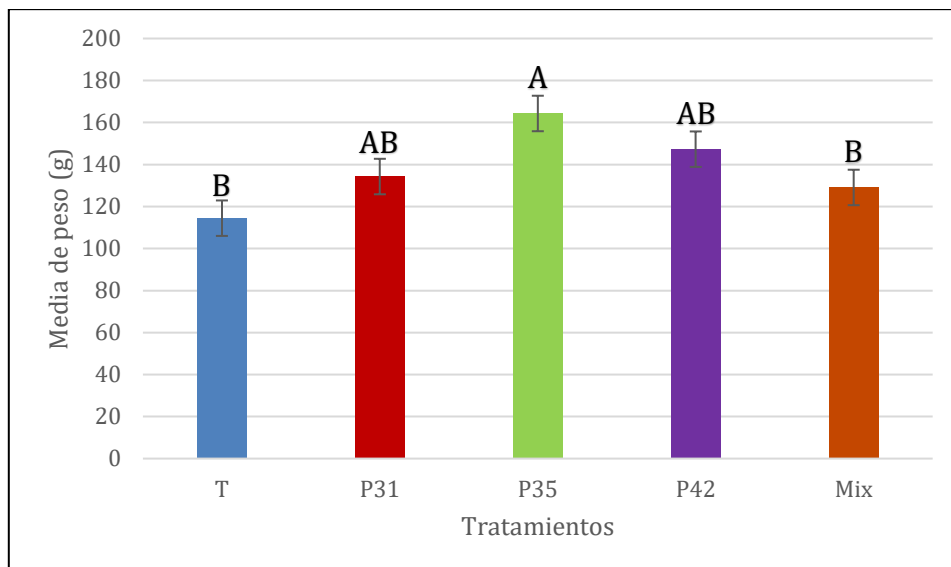


Figura 6. Media de pesos de 35 mazorcas por tratamiento obtenidas al azar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (ANOVA, Tukey  $p < 0.05$ ).

La diferencia del peso de 35 mazorcas tomadas al azar en la parcela 1 se debe al desarrollo final de la planta, en donde las mazorcas con mayor peso provienen de plantas que tuvieron un mejor desempeño a pesar de las condiciones climatológicas adversas (Figura 7). Se hizo una comparación de las medidas del peso de las mazorcas (ANOVA) y posteriormente la prueba de Tukey con el programa estadístico JMP. Los resultados muestran un aumento del 25% en el peso total del grano con el tratamiento P35 comparado con el testigo, y del 23.95% comparado con el Mix, por lo que el análisis estadístico muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos P35 y Testigo, así como P35 y Mix con valores de  $p$  de 0.0006 y 0.0333, respectivamente.

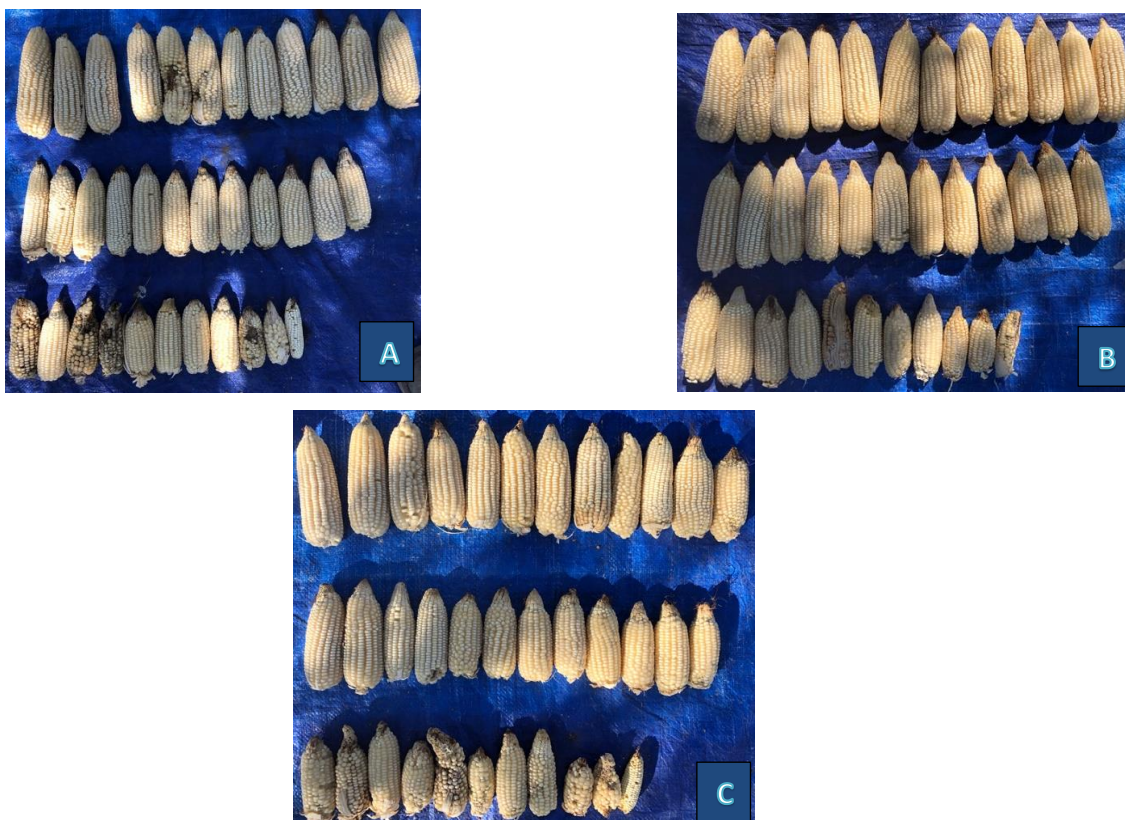


Figura 7. 35 mazorcas por tratamiento. Mazorcas elegidas al azar de los diferentes tratamientos de la parcela 1 A) P42, B) P35 y C) T.

### **Peso total del grano por tratamiento evaluado (parcela 1)**

Se pesó el grano de 240 plantas tomadas al azar de cada tratamiento en cada una de las tres parcelas experimentales, sin embargo, sólo se muestran los resultados obtenidos de la parcela 1 (Tabla 2) por las razones antes mencionadas.

Tabla 2. Peso del grano de 240 plantas por tratamiento de la parcela 1

	<b>Tratamiento</b>				
	<b>T</b>	<b>P31</b>	<b>P35</b>	<b>P42</b>	<b>Mix</b>
<b>Peso del grano (kg)</b>	20.1	22.94	26.8	24.82	20.38

En la evaluación del peso del grano de 240 plantas correspondientes a la parcela 1, el tratamiento P35 (con *B. cabrialesii*) produjo 6.7 kg más grano que el Testigo (20.1 kg), por lo que se le puede considerar el mejor de los tratamientos probados, seguido del tratamiento P42 (con *P. atacamensis*), que produjo 4.72 kg de grano por encima del testigo. Estos resultados son particularmente relevantes ya que, al hacer una proyección con un número de

plantas similar al que habría en una hectárea (83,333), los resultados muestran que estos dos tratamientos son los que tienen mejor desempeño en comparación con el testigo (Tabla 3).

Tabla 3. Proyección en peso del grano en toneladas por hectárea.

	Tratamiento				
	T	P31	P35	P42	Mix
<b>Peso del grano (Ton)</b>	6.980	7.965	9.306	8.618	7.076

La proyección se hace sobre el rendimiento (en toneladas) que se habría obtenido en una hectárea. El cálculo se hizo a partir de una distribución de siembra en donde las plantas tuvieran una distancia de 15 cm entre ellas (como se hizo en este experimento), lo cual da un total de 83,333 plantas en una hectárea y es la densidad normal de siembra de maíz para cultivos temporal en la región de Tepalcingo, Morelos.

## DISCUSIÓN

Los datos obtenidos reflejan el impacto positivo que tuvieron los tratamientos con *B. cabrialesii* P35 y *P. atacamensis* P42 sobre el desarrollo de las plantas y el peso final de la semilla de maíz, obteniendo así resultados en peso por arriba del testigo (Tabla 2).

En cuanto al tratamiento P35, a los 22 días de nacencia (etapa V4) el promedio de longitud de las raíces fue de 19 cm, 6 cm más que en el Testigo (13 cm). En esa misma etapa de desarrollo, el promedio de diámetro de los tallos fue de 7mm, 2 mm más que en el testigo (5mm) mientras que, a los 39 días de nacencia (etapa V10), sólo fue superior al testigo en 0.9 mm (6.4 y 5.5 mm, P35 y T, respectivamente). En las tres mediciones registradas (V4, V10 y V14, es decir, 22, 39 y 53 días de nacencia, respectivamente) el promedio de la altura de las plantas fue superior al Testigo: 36, 106.5 y 178 cm, en comparación con 29, 100 y 165 cm, respectivamente.

En cuanto al tratamiento P42, a los 53 días de nacencia (etapa V14) el promedio de longitud de las raíces fue de 34.33 cm, 3.93 cm más que en el Testigo (30.4 cm). A los 22 días de nacencia (etapa V4), el promedio del diámetro del tallo fue de 6.5 mm, 1.5 mm más que en



el Testigo (5mm), mientras que, a los 39 días de nacencia (etapa V10), fue 1.5 mm mayor que en el Testigo (7 cm P42 y 5.5 cm T). En las tres mediciones registradas (V4, V10 y V14) el promedio de la altura de las plantas fue superior al Testigo: 32.94, 106.5, 177.6 cm en comparación con 29, 100 y 165, respectivamente.

El periodo de cultivo del año 2023 se vio afectado por una sequía constante, en donde la precipitación pluvial anual se vio notoriamente disminuída por el fenómeno del Niño en comparación con años anteriores. La precipitación acumulada fue de 296.75 mm para los primeros 7 meses del año, contra su máximo histórico de 514.4 mm, según la página <https://morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/reporte-de-las-presas-y-rios-en-morelos-24#:~:text=Respecto%20a%20las%20lluvias%2C%20durante,primeros%207%20meses%20de%20año> (reporte 267, 2023); de junio a septiembre la precipitación fue de solamente 96 mm, cuando la media anual ha llegado a los 206 mm según un dato de la CONAGUA reportado en el portal del diario de Morelos (<https://www.diariodemorelos.com/noticias/se-alan-d-ficit-hist-rico-de-lluvias>) y es en la segunda mitad del año cuando se necesita más agua para el desarrollo del cultivo de maíz.

En la parcela en donde se hizo este experimento, en el año 2022 con las mismas prácticas de fertilización y fumigación, pero con un buen periodo de lluvias, se obtuvo un rendimiento de 10.5 Ton/Ha con la misma variedad de maíz blanco P4028W marca Pioneer.

Este año (2023), en la parcela experimental se obtuvo un mejor rendimiento atribuible a la utilización de las bacterias PGPR probadas en este experimento, en comparación a otras parcelas cercanas. Un ejemplo de ello es el rendimiento de tan sólo 1.2 Ton/Ha obtenido en una parcela ubicada en las coordenadas 18.635510, -98.823946, a tan sólo 3.77 km de distancia en línea recta de la parcela experimental (Fig 8), esto a pesar de que el porte de las plantas era similar a las del experimento y la densidad de siembra fue la misma (Fig 9).

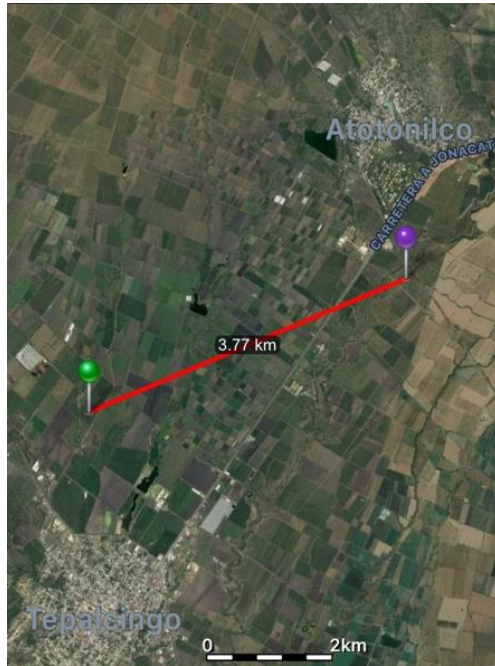


Figura 8. Distancia en línea recta de dos parcelas comparadas.



Figura 9. Comparativa visual de las plantas de so parcelas en al misma zona

El rendimiento más alto de otras parcelas en la zona, en cuanto a la producción de maíz se refiere, fue de 5.2 Ton/Ha, mientras que en la parcela experimental con el tratamiento P35, al proyectar su rendimiento por Ha, se obtiene un estimado de 9.3 Ton/Ha, siendo este un resultado bastante favorecedor por encima del promedio en la zona, lo cual se reflejaría en un aumento en la retribución monetaria al momento de la comercialización, en donde el precio por tonelada de maíz este año cotizó en el precio de garantía establecido por SEGALMEX a \$7,075.00, según la página <https://www.gob.mx/segalmex/prensa/se-anuncia-modificacion-a-las-reglas-de-operacion-del-programa-precios-de-garantia-a-productos-alimentarios-basicos-320323?idiom=es>

Las bacterias del género *Bacillus*, como lo es la P35, tienen la capacidad de formar endosporas, por lo que pueden enfrentar de mejor manera las condiciones ambientales adversas (Posada et al., 2020) lo que podría significar una mayor permanencia en el suelo, esto pudo haber ocurrido durante la sequía de este año. También tienen la capacidad de sintetizar fitohormonas como el ácido indolacético y giberelinas, las cuales promueven la floración y ayudan en el desarrollo del tallo, raíz y fruto (Posada et al., 2020). Por otro lado, Amezcuita et al., 2021 demostraron que este género bacteriano está relacionado con el aumento del tamaño de las raíces de las plantas por la producción de fitohormonas, así como a la solubilización y movilización de nutrientes.

Las bacterias del género *Pseudomonas*, como la cepa P42, se caracterizan por su capacidad de solubilizar fosfato. En la Figura 10 se muestra la diferencia en la densidad de raíz entre una planta testigo y otra tratada con *P. atacamensis* P42, probablemente debido a que estas bacterias sintetizan IAA, el cual también ayuda para la elongación de la raíz y al desarrollo de pelos radiculares (De la vega et al., 2023). Es evidente la presencia de un mayor número de raíces secundarias en comparación con los otros tratamientos, por lo que suponemos que, al tener una mayor área de superficie para absorber agua y nutrientes, las plantas pueden aprovecharlos de mejor manera cuando estén disponibles.



Figura 10. Densidad de la raíz de los tratamientos A) T y B) P42

Al final de la temporada de cultivo, el porte de las plantas de todos los tratamientos fue mejor que el de otras plantas de maíz de la región (Figura 11); se puede ver que las plantas del experimento mantuvieron un mejor porte que en las otras parcelas donde hubo pérdida del follaje y, en algunos casos, la pérdida total de la planta debido a los fuertes vientos. Además, cabe resaltar que la altura de las plantas de otras parcelas no superó los 1.5 m, lo que condujo a pérdidas totales de los cultivos.



Figura 11. Comparación entre el porte de plantas experimentales y otras de la región.

En los paneles A y B se muestran las plantas con los tratamientos P42 y P35, respectivamente; se observa un porte sano para finales de cosecha. En los paneles C, D y E se muestran las plantas de maíz con daños por la sequía que afectó a la región; se observa la pérdida de las hojas, la pérdida total de las plantas debido a los fuertes vientos, la sequía y la poca altura que alcanzaron.

En investigaciones futuras, sería recomendable evaluar el peso de la raíz en lugar de la longitud de la misma, ya que en este último parámetro no es sencillo encontrar diferencias significativas; por el contrario, se esperaría que al evaluar el peso de la raíz, sea evidente el cambio en su densidad en respuesta a algunos tratamientos, como ocurrió con *P. atacamensis* P42.

De igual manera, es recomendable extender la investigación a otro año con mejores condiciones climáticas para conocer el potencial que puedan llegar a tener estos tratamientos.

## CONCLUSIONES

El uso de *P. atacamensis* P42 y *B. cabrialesii* P35 como PGPR, gracias a las fitohormonas que sintetizan y sus capacidades como solubilizadoras de fosfato, entre otras actividades PGPR que realizan, coadyuvan en el desarrollo de las plantas de maíz en diferentes fases de su desarrollo, con lo cual se mejora el rendimiento de producción de grano, siendo una alternativa biológica no contaminante.

Aunque la cepa P31 no mostró resultados tan favorecedores como P35 y P42, también mostró un desempeño por encima del testigo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo sirven como precedente para continuar la investigación sobre esta y otras cepas bacterianas con capacidades PGPR, tanto en maíz, como en otros cultivos de importancia agronómica.

## REFERENCIAS

Agencia de servicios a la comercialización y desarrollo de mercados agropecuarios. (23 de Agosto de 2018). Maíz grano cultivo representativo de México. Gobierno de México <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico#:~:text=El%20maíz%2C%20es%20uno%20de,importancia%20económica%2C%20social%20y%20cultural>

Amezquita-Aviles, Carlos Fernando, Coronel-Acosta, Claudia Brizeida, Santos-Villalobos, Sergio de los, Santoyo, Gustavo, & Parra-Cota, Fannie Isela. (2022). Characterization of native plant growth-promoting bacteria (PGPB) and their effect on the development of maize (*Zea mays* L.). *Biotechnia*, 24(1), 15-22. Epub 13 de junio de 2022. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i1.1353>

De la Vega-Camarillo E, Sotelo-Aguilar J, Rios-Galicia B, Mercado-Flores Y, Arteaga-Garibay R, Villa-Tanaca L and Hernández-Rodríguez C (2023) Promotion of the growth and yield of *Zea mays* by synthetic microbial communities from Jala maize. *Front. Microbiol.* 14:1167839. Doi: 10.3389/fmicb.2023.1167839 <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1167839/full>

Dos Santos, R. M., Díaz, P. A. E., Lobo, L. L. B., & Rigobelo, E. C. (2020). Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 136.

García M. (5 de Octubre 2023) Señalan déficit histórico de lluvias. *Diario de Morelos*. <https://www.diariodemorelos.com/noticias/se-alan-d-ficit-hist-rico-de-lluvias>

Gobierno de Morelos. (2023). Cuernavaca Morelos. Reporte de las presas y ríos en Morelos. <https://morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/reporte-de-las-presas-y-rios-en-morelos-24#:~:text=Respecto%20a%20las%20lluvias%2C%20durante,primeros%207%20meses%20de%20año.>

Govaerts, B., Chávez, X., Fernández, A., Vega Lira, D., Vázquez, O.; Pérez, M., Carvajal, A.; Ortega, P.; López, P., Rodríguez, R., Kruseman, G., Kruseman, G., Donnet, M.L., Palacios-Rojas, N., Verhulst, N., Gardeazabal Monsalve, A., González, G., Sánchez, K.C., Rosado, L.G. (2019) Maíz para México – Plan Estratégico 2030. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT) URI: <https://hdl.handle.net/10883/20219>

Molina Romero, D. (2017). Diseño de inoculante de segunda generación tolerante a condiciones de desecación [Tesis doctoral, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

Navarro Arenas, M. (2021). Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz. [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona].

Pérez-Pérez, R., Oudot, M., Hernández, I., Nápoles, M. C., Pérez-Martínez, S., & Castillo, S. D. (2020). Aislamiento y caracterización de *Stenotrophomonas* asociada a rizosfera de maíz (*Zea Mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(2).

Posada, A., Mejía, D., Polanco-Echeverry, D., y Cardona, J. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161 – 178. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>.

Salinas Virgen, L. I. (2019) Identificación y caracterización de la actividad PGPR de bacterias rizosféricas y endófitas aisladas de *Echinocactus platyacanthus* (biznaga dulce) creciendo en condiciones silvestres y de invernadero en el semidesierto queretano [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco].

Salinas Virgen, L. I., Torre Hernández, M. E. D. L., Aguirre Garrido, J. F., & Ramírez Saad, H. C. (2020). Caracterización molecular de bacterias rizosféricas asociadas a *Echinocactus platyacanthus* en invernadero y silvestres. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 531-542.

Seguridad Alimentaria Mexicana. (nov 22). Se anuncia modificación a las reglas de operación del programa precios de garantía a productor alimentarios básicos. <https://www.gob.mx/segalmex/prensa/se-anuncia-modificacion-a-las-reglas-de-operacion-del-programa-precios-de-garantia-a-productos-alimentarios-basicos-320323?idiom=es>


Secretaría de agricultura y desarrollo rural. (30 de mayo 2022). Balanza disponibilidad - consumo maíz blanco. Servicio de información alimentaria y pesquera. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729354/Balanza\\_disponibilidad\\_consumo\\_mayo22.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729354/Balanza_disponibilidad_consumo_mayo22.pdf)

Tecniprosesos biológicos. (26 Mayo 2023). La importancia e implicaciones de cultivar maíz en México. <https://tecniprosesos.com/la-importancia-e-implicaciones-de-cultivar-maiz-en-mexico/>



## Anexo A

### Estudio de suelo



**FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.**  
 Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010  
 www.fertilab.com.mx

**Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición**

FCR-PO-01  
 Emisión: Oct-2019  
 MAP Aprobado  
 2022  
 No. de Certificación: ER-0223/2020,  
 ISO 9001:2015

---

**RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN**
**FOLIO: SU-177533**

Dosis de mejoradores y fertilizantes recomendada de acuerdo con los resultados del análisis del suelo

Dosis Convencional de Fertilizantes												
Registro	Maíz	Cal	Yeso	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Fertilab	Toneladas por hectárea			Kilogramos por hectárea								
SU-177533	Meta: 9	6.1	0	170	0.0	90	0	0	6	0	0	1.8

Opciones de mezclas de fertilizantes de acuerdo con la fuente de fertilizante fosforado disponible

**Opción 1: Fertilizantes (Kg/ha) utilizando MAP como fuente de fósforo**

Época de Aplicación	Urea	MAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	111	0	75	0
2da 30-35 días	148	0	75	0
3ra 55-60 días	111	0	0	0

Época de aplicación	Sulfato Ferroso	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boronat
Siembra	0	17	0	0	18.0

**Refuerzos Foliares**

Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc(Zn)	Cobre (Cu)
0	0	0	0
kg de quelato		Número de aplicaciones foliares (1.5 kg de sulfato de Mn, Zn y Cu)	

**Opción 2: Fertilizantes (Kg/ha) utilizando DAP como fuente de fósforo**

Época de aplicación	Urea	DAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	111	0	75	0
2da 30-35 días	148	0	75	0
3ra 55-60 días	111	0	0	0

Época de aplicación	Sulfato Ferroso	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boronat
Siembra	0	17	0	0	18.0

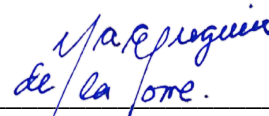
**Refuerzos Foliares**

Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc(Zn)	Cobre (Cu)
0	0	0	0
kg de quelato		Número de aplicaciones foliares (1.5 kg de sulfato de Mn, Zn y Cu)	

Vo. Bo. del contenido académico del Informe de Conclusión de Servicio Social titulado: “Uso de PGPR en el cultivo de maíz; evaluación de sus efectos en el desarrollo de la planta y rendimiento en grano”



**DR. HUGO CÉSAR RAMÍREZ SAAD**  
 No. Eco. 8642  
 Depto. Sistemas Biológicos.  
 Asesor Interno



**DRA. MARÍA EUGENIA DE LA TORRE HERNÁNDEZ**  
 Investigadora por México (antes Catedrática CONAHCYT) comisionada a la UAM XOCHIMILCO  
 No. identificador 900031  
 Asesora externa