

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**EFFECTIVIDAD DE CINCO BIOFERTILIZANTES DE BACTERIAS  
SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE DOS  
CEREALES**

Por:

María de Lourdes De La Mora Rosales

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

Ingeniero Agrícola y Ambiental

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

EFFECTIVIDAD DE CINCO BIOFERTILIZANTES DE BACTERIAS  
SOLUBILIZADORAS DE FOSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE DOS  
CEREALES

Por:

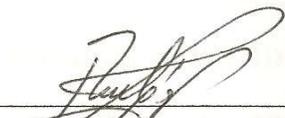
María de Lourdes De La Mora Rosales

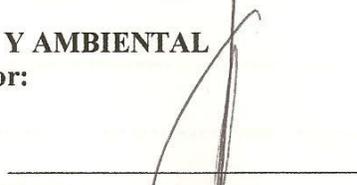
Tesis

Que somete a consideración del H. Jurado examinador  
Como requisito parcial para obtener el título de:

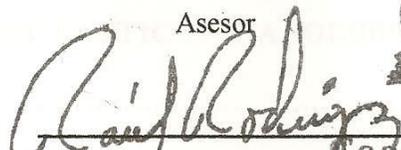
**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por:

  
Dr. Rubén López Cervantes  
Asesor principal

  
Dr. Alfonso Reyes López  
Asesor

  
M.C. Rómme de la Garza Garza  
Asesor

  
Dr. Raúl Rodríguez García  
Coordinación de Ingeniería

Coordinador de la División de Ingeniería  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2010

## INDICE

## PÁGINA

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
CEREALES.....	4
IMPORTANCIA DEL FÓSFORO.....	12
LOS BIOFERTILIZANTES.....	16
MATERIALES Y METODOS.....	19
LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	19
METODOLOGÍA.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
ESTUDIO MICROBIOLÓGICO.....	46
DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA SOLUBILIZADORA.....	46
CONCLUSIÓN.....	50
LITERATURA CITADA.....	51

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por permitirme formarme como profesionalista, enseñarme el valor que tiene la agronomía para la humanidad, así como la responsabilidad que se asume al llegar a ser ingeniero.

**Al Dr. Rubén López Cervantes**, por su amistad y confianza para permitirme trabajar en este proyecto, así como la disponibilidad para mejorar esta investigación en todos sus aspectos.

**Al M.C. Rómmel de la Garza Garza**, por los conocimientos y experiencias compartidos durante todo el tiempo de mi carrera, así como su contribución en esta investigación.

**Dr. Alfonso Reyes López**, por permitirme realizar esta investigación, por el tiempo y la disposición para poder lograr el objetivo.

A todos los **profesores de la universidad** que me impartieron clase, por su vocación de servicio, los conocimientos adquiridos así como las buenas y malas experiencias, que al final del camino me hicieron la persona que hoy en día soy.

A mis **compañeros de generación CVIII de agrícola y ambiental**, Willian Narváez, Marcos Pérez, Ramiro Martínez, Enrique Canales, Lucero Rodríguez, Carlos Sibaja, Dayli, Fernando Zepeda, Alex Gómez, Angeles Roblero, Alexis Arriaga, Samuel Saens, Víctor Pérez. Por los momentos vividos, la complicidad que hubo entre muchos de nosotros, las risas, llantos, momentos buenos y malos, de corazón espero que el día de mañana nos volvamos a ver, gracias a todos.

**Al Ing. Jesús Mata Monsiváis**, por mostrarme que todo en esta vida se puede lograr mientras luches por ello, gracias por sus consejos y los llamados de atención en los momentos oportunos, tiene mi respeto y admiración.

Al **Equipo representativo de futbol femenino**, por permitirme representar a la universidad, mostrarme que el deporte y el estudio son un complemento para el ser humano, que es un deporte universal y no de género.

A las **integrantes de futbol femenino**, Cristal Gaytan, Ivon Luna, Ana Lilia Velázquez, Elvia Sampayo, Berenice Bonilla, Pamela Guerrero, Yesica Castañuela, Dolores González, Liliana Rojas, Kenia, Paola, Leonarda Limones, Juanita, Beatriz Coutiño, Guadalupe Rodríguez, Karina, por todas las experiencias que compartimos dentro y fuera de la cancha, por los momentos buenos y los no tan buenos, por su amor al deporte para representar a nuestra “ALMA MATER”.

A **Víctor Luis Basabe** por su amistad y todos los momentos alegres que compartimos y el apoyo que brindó para que esta investigación fuera mas amena y divertida gracias.

**Tecnico Mario Alberto Flores Hernandez** por la amistad sincera, asi como su confianza, por su apoyo y orientación en esta investigación.

**M.C. Evangelina Solís** por su aportación a esta tesis.

## **DEDICATORIAS**

**A mis padres: María de Lourdes Rosales Míreles.**

**Víctor Rubén De La Mora Martínez.**

Por darme la vida y ser la gran inspiración de mi existir, ser un ejemplo a seguir y darme una educación que no se encuentra en las aulas, por ustedes aprendí a valorar la vida y todo lo que la rodea, respetar, valorar y conservar una amistad, pareja o persona valiosa, sé que no soy la hija perfecta y que en la vida habrá muchas cosas o decisiones que no compartirán conmigo, pero sé que me respetarán como hasta el día de hoy lo han hecho, gracias por todo el amor que me han dado por sus consejos y por haber hecho de mí una persona honesta, respetuosa, jamás podré pagarles todo lo que han hecho y sé que harían por mí, pero esta tesis es una muestra de lo que puedo lograr con el apoyo de las mejores personas que pude tener en la vida, esto es el principio de muchas satisfacciones que podré darles en la vida gracias mamá, gracias papá los amo con todo mi ser.

**A mis hermanos: Víctor Rubén De La Mora Rosales.**

**Laura Alejandra De La Mora Rosales.**

Por todo lo que hemos vivido a través de nuestras vidas por los juegos, las risas y el llanto por que he aprendido mucho de ustedes, porque pienso que la vida me pone como un ejemplo para ustedes, que espero no fallarles, saben que siempre estaré ahí para ustedes y que siempre estaremos juntos los quiero, admiro y confié en que serán unas personas de bien.

Al **Dr. Raúl Monsiváis Galindo**, por su amistad incondicional, porque siempre he tenido en él una persona con quien hablar, que me ha visto crecer a través de los años ha confiado en mí, simplemente gracias.

A **Ma. Cristal Gaytan Sánchez**, por una sincera amistad, por los momentos tristes y los ratos felices, por el apoyo incondicional que me has dado, sabes que siempre podrás contar conmigo no me queda más que decirte gracias.

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales países importadores del sorgo Mexicano .....	6
Cuadro 2. Principales estados productores de sorgo en el ciclo otoño-invierno con sistema de riego, al 30 de junio de 2010.....	7
Cuadro 3. Principales estados productores de sorgo en el ciclo otoño-invierno con sistema de temporal, al 30 de junio de 2010 .....	8
Cuadro 4. Principales estados productores de maíz en el ciclo otoño-invierno con sistema de temporal, al 30 de junio de 2010.....	10
Cuadro 5. Principales estados productores de maíz en el ciclo otoño- invierno con sistema de riego, al 30 de junio de 2010.....	11
Cuadro 6. Compuestos de fósforo que predominan a diferentes niveles de pH.....	13
Cuadro 7. Importancia de la agricultura orgánica en México.....	14
Cuadro 8. Algunas características físico-químicas del suelo al inicio del experimento.....	20
Cuadro 9. Características de las bacterias solubilizadoras de fósforo, adicionadas a maíz y sorgo, proporcionadas por la Empresa Green Corp Biorganiks .....	21
Cuadro 10. Cantidad de bacterias solubilizadoras de fósforo, aplicadas a semillas de sorgo y maíz.....	22
Cuadro 11. Análisis de varianza (ANVA) para la altura de planta de maíz en etapa de formación de espiga., inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	23
Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) para el número de hojas de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	24
Cuadro 13. Análisis de varianza (ANVA) para de peso fresco de tallo en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	25

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para de peso fresco de raíz de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	25
Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) para de peso seco de tallo de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	26
Cuadro 16. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	27
Cuadro 17. Concentración de medias del cultivo de maíz en la etapa de formación de espiga.....	28
Cuadro 18. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	29
Cuadro 19. Análisis de varianza (ANVA) para de número de hoja de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	30
Cuadro 20. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallo de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	30
Cuadro 21. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	31
Cuadro 22. Análisis de varianza (ANVA) para peso mazorca de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	32
Cuadro 23. Análisis de varianza (ANVA) para peso de grano de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.....	33
Cuadro 24. Concentración de medias del cultivo de maíz en la etapa de producción.....	34
Cuadro 25. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	34
Cuadro 26. Análisis de varianza (ANVA) para número de hojas de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias	

solubilizadoras de fósforo.....	35
Cuadro 27. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallo de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	36
Cuadro 28. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de raíz de en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	37
Cuadro 29. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de tallo de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	38
Cuadro 30. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	39
Cuadro 31. Concentración de medias del cultivo de sorgo en la etapa de formación de espiga.....	40
Cuadro 32. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo....	41
Cuadro 33. Análisis de varianza (ANVA) para número de hojas de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo....	42
Cuadro 34. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallo de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	43
Cuadro 35. Análisis de varianza (ANVA) para peso de grano de sorgo, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	43
Cuadro 36. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de sorgo, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	44
Cuadro 37. Concentración de medias del cultivo de sorgo en la etapa de producción.....	45
Cuadro 38. Hongos aislados en agar Pikovskay y su capacidad solubilizadora.....	46

Cuadro 39. Características del suelo donde se cultivo maíz después del ciclo.....	48
Cuadro 40. Características del suelo donde se cultivo sorgo después del ciclo.....	48

## Índice de figuras

Figura 1. Relación entre pH, fijación y disponibilidad de fosfatos.....	14
Figura 2. Localización del sitio experimental.....	19
Figura 3. Altura de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	23
Figura 4. Número de hojas de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	24
Figura 5. Peso fresco de tallo de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	25
Figura 6. Peso fresco de raíz de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	26
Figura 7. Peso seco de tallo de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	27
Figura 8. Peso seco de raíz de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	28
Figura 9. Altura de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	29
Figura 10. Número de hojas de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	30
Figura 11. Peso fresco de tallo de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	31
Figura 12. Peso seco de raíz de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	31
Figura 13. Peso de mazorca de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	32
Figura 14. Peso de grano de maíz, en la etapa de producción, con la adición	

de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	33
Figura 15. Altura de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	35
Figura 16. Numero de hojas de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	36
Figura 17. Peso fresco de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	37
Figura 18. Peso fresco de raíz de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	38
Figura 19. Peso seco de tallo de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	39
Figura 20. Peso seco de raíz de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	40
Figura 21. Altura de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	41
Figura 22. Numero de hojas de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	42
Figura 23. Peso fresco de tallo de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	43
Figura 24. Peso de grano de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	44
Figura 25. Peso seco de raíz de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.....	45
Figura 26. EnH2 en placa con medio SMRS1 en el cual se observa el halo de solubilización como un viraje de color púrpura-amarillo, por la producción de ácidos orgánicos.....	47

## **RESUMEN**

Los fertilizantes químicos sintéticos, han sido una alternativa excelente en la producción de alimentos, sin embargo, la sociedad actual prefiere alimentos producidos sin agroquímicos. Por lo anterior, en el presente trabajo se estableció el objetivo de determinar el comportamiento de cinco cepas de bacterias solubilizadoras de fósforo, en la nutrición de dos cultivos.

**Palabras clave:** Biofertilizantes, sorgo, maíz.



## INTRODUCCIÓN

La agricultura siempre ha estado relacionada con la sociedad, ya que ha sido la innovación humana que satisface diversas necesidades, principalmente las alimenticias (Hernández, 1988). Los fertilizantes químicos sintéticos, utilizados para la producción de alimentos, han cumplido su función hasta cierto límite y han sido fundamentales en el abastecimiento de la demanda alimenticia de nuestra creciente población nacional; sin embargo, en la última década, nuestra sociedad reclama mayor producción de alimentos de alta calidad proteínica y en diversos niveles sociales, se prefieren los alimentos producidos sin agroquímicos. Esta nueva actitud ha favorecido el desarrollo de tecnologías de producción menos contaminantes y ecológicamente más racionales (Aguirre, 2006).

Con estos antecedentes y después de la crisis energética mundial de los años setenta, el estudio de las bacterias asociadas a las plantas avanzó rápidamente en algunos países europeos y asiáticos y en menor grado en México y otros países latinoamericanos (Okon y Labandera, 1994). El uso de los recursos microbiológicos del suelo en los sistemas agrícolas, se visualizó como una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos y de otros agroquímicos en los sistemas de producción, principalmente los fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

Se denomina biofertilizante a un producto que contiene uno o varios microorganismos del suelo y puede ser aplicado a la semilla o al suelo con el fin de incrementar su número, asociarse directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, favorecer su interacción e incrementar el desarrollo vegetal y reproductivo de la planta huésped (Aguirre *et al.* 2009). Además, estos mismos investigadores establecen que se utilizan diferentes microorganismos con funciones específicas en la agricultura, para mejorar la productividad de los suelos. Todos son fuente facilitadora del manejo de los nutrimentos que benefician el funcionamiento de los cultivos y forman parte de una tecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica más exitosa y sin contaminación del ambiente y de inocuidad reconocida para el hombre.

Los microorganismos del suelo aprovechados en la agricultura, han tenido diversas denominaciones; tradicionalmente se han utilizado los términos “inóculo” o “inocular” que es la introducción de gérmenes en un sustrato cualquiera (Font, 1977), pero también se han denominado “fertilizantes bacterianos” (Dommergues, 1978) e “inoculantes microbianos” (Kapilnik y Okon, 2002).

Los primeros biofertilizantes microbianos distribuidos en grandes cantidades en el campo mexicano, fueron en el programa Alianza para el campo-SAGARPA durante el ciclo agrícola de Primavera- Verano (PV) 1999 y Otoño-Invierno (OI) 1999-2000. Los primeros microorganismos utilizados fueron *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* y *Rhizobium etli* (Aguirre *et al.* 2009).

Los biofertilizantes microbianos pueden aplicarse, a la semilla, al suelo o al material vegetativo. En cultivos anuales, los beneficios de la simbiosis se expresan en plazos muy breves, de 20 a 30 días después de la biofertilización, pero en cultivos perennes en vivero hasta después de tres meses, como en cacao y café (Aguirre, 2006).

El fósforo, después del nitrógeno, es el nutrimento inorgánico más requerido por plantas, microorganismos y por el suelo, es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante, tanto en formas inorgánicas como orgánicas (Alexander, 1980).

Según Rodríguez y Fraga (1999), los fosfatos inorgánicos aplicados como fertilizantes químicos, son inmovilizados en el suelo y como consecuencia no son solubles para ser aprovechados por los cultivos (Peix *et al.* 2001). Sin embargo, Illmer y Schinner (1992), consideran que la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo, son una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutrimento disponible para las plantas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el comportamiento de cinco cepas de bacterias solubilizadoras de fósforo, en la producción de dos cereales.

### **Objetivo Específico**

Determinar la dosis óptima de cinco biofertilizantes de bacterias solubilizadoras de fósforo, en la producción de sorgo y maíz.

## **HIPÓTESIS**

Al menos una cepa de bacterias solubilizadoras de fósforo, tiene efecto positivo en la producción de sorgo y maíz.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Cereales

Los granos de cereales, constituyen la fuente de energía alimenticia más económica del mundo, porque proporcionan las dos terceras partes o más de la energía humana y la aportación de proteínas. Los cereales más importantes son el trigo, el centeno, la cebada, el maíz, la avena y el arroz. La procedencia de los cereales como plantas alimenticias, se debe a su capacidad de adaptación a una extensa variedad de suelos y condiciones climáticas (Sacade, 1981).

La condición nutricional de un cultivo, depende de la oferta de nutrimentos por parte del suelo y/o por la fertilización, y de la demanda del cultivo (Marschner, 1995). La demanda a su vez está afectada por la especie y por su potencial de crecimiento. Cultivos de alto rendimiento, presentan elevadas tasas de crecimiento y de absorción nutrimental; por este motivo, son los que relativamente expresan mayor pérdida de productividad ante una deficiencia nutricional.

### Generalidades del Sorgo y Clasificación Taxonómica

**Descripción:** Planta originaria de la India, de la familia de las gramíneas. Con cañas de un metro y medio de altura, llenas de un tejido blanco y algo dulce y vellosas en los nudos; hojas lampiñas, ásperas en los bordes; flores en panoja floja, grande y derecha, o espesa, arracimada y colgante, y granos mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos. (Financiera Rural, 2009).

**Clima:** Se adapta bien en áreas áridas o semiáridas cálidas. Soporta sequía durante un período largo y reemprende su crecimiento cuando cesa la sequía. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13°C. (Financiera Rural, 2009).

**Usos:** El sorgo es uno de los principales granos en nuestro país. Su importancia radica, en que nutre de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales, la cual, a su vez, permite que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal. Es utilizado en la preparación de alimentos balanceados, también se puede hacer la harina de Sorgo sola o en composición de harinas compuestas para la fabricación de galletitas, alfajores, bizcochos, pan, etc. (Financiera Rural, 2009).

El sorgo es una gramínea de la sub-familia Panicoideas, tribu de las Andropogoneae, siendo su nombre técnico *Sorghum vulgare* pers. Son anuales y se dividen según su uso en: a) sorgo para grano; b) sorgo forrajero; c) sorgo escobero y su clasificación taxonómica es la siguiente (Sandoval, 1991):

Reino.....Vegetal  
División.....Trachaeophyta  
Subdivisión.....Pteropsidae  
Clase.....Angiospermae  
Subclase.....Monocotiledoneae  
Grupo.....Glumiflora  
Orden.....Graminales  
Familia.....Gramínea  
Subfamilia.....Panicoideas  
Tribu.....Andropogoneae  
Género.....Sorghum  
Especie.....Vulgare o bicolor

El panorama mundial del sorgo muestra una tendencia de la demanda hacia la baja, al igual que las expectativas de precio. El 50% de este cereal se utiliza para alimento de ganado, el restante para consumo humano. En el caso de México, el 99% del consumo se destina para forraje .México se ubica en el cuarto lugar en la producción

mundial de sorgo, después de Estados Unidos, Nigeria e India, que en conjunto aportan más del 72% de la producción mundial. México aporta alrededor del 14% de las cosechas mundiales de este grano.

En los últimos años, en nuestro país el sorgo ha jugado un papel importante en el desarrollo del sector agropecuario. De igual manera, en la agricultura su participación es de gran importancia, ya que ocupa el segundo lugar, después del maíz, en la producción obtenida de los 10 principales granos básicos. Además es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada después del maíz y frijol.

Las Importaciones de México, para el período 2004/05, las compras que se efectuaron hacia el exterior se limitaron en 3.5 millones de toneladas contra los 3.2 millones del período 2003-2004, según la FAO. Lo que respecta a Japón, este solo importó 1.4 millones de toneladas, casi el mismo volumen del 2003-2004. En el siguiente cuadro podemos observar a los principales proveedores de México (cuadro 1), el cual nos indica que este país es un gran consumidor de dicho grano. (SAGARPA, 2005).

Cuadro 1. Principales países importadores del sorgo Mexicano.

<b>MÉXICO</b>			
<b>PRINCIPALES PAISES AL QUE IMPORTA SORGO 2003</b>			
	<b>Estados Unidos</b>	<b>Argentina</b>	<b>Total</b>
<i>Cantidad (Mt)</i>	3,315,708	65,644	3,381,352
<i>Valor (1000 US\$)</i>	392,121	7,728	399,849
<i>Cantidad %</i>	98%	1.90%	100%
<i>Valor %</i>	98%	1.90%	100%

Fuente: Fomento Económico de Chiapas, A.C. (FEC) con datos e la FAO 2004. Mt. Toneladas métricas (SAGARPA, 2005)

Cuadro 2. Principales estados productores de sorgo en el ciclo otoño- invierno con sistema de riego, al 30 de junio de 2010.

Estado	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
<b>COLIMA</b>	1,010	3.607
<b>CHIAPAS</b>	670	3.730
<b>GUERRERO</b>	2,890	3.591
<b>HIDALGO</b>	480	6.000
<b>JALISCO</b>	4,312	5.017
<b>MICHOACAN</b>	17,948	4.241
<b>NAYARIT</b>	8,898	4.698
<b>NUEVO LEON</b>	11,145	2.752
<b>OAXACA</b>	7,510	3.424
<b>SINALOA</b>	12,078	4.566
<b>TAMAULIPAS</b>	872,221	4.593
<b>VERACRUZ</b>	62	2.500
<b>TOTAL</b>	<b>939,225</b>	<b>Media de estados productores 4.534</b>

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

Cuadro 3. Principales estados productores de sorgo en el ciclo otoño- invierno con sistema de temporal, al 30 de junio de 2010.

Estado	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
<b>CAMPECHE</b>	12,472	2.753
<b>CHIAPAS</b>	13,286	3.148
<b>GUERRERO</b>	36	2.571
<b>JALISCO</b>	3,168	4.119
<b>MICHOACAN</b>	171	3.000
<b>NAYARIT</b>	214,677	4.829
<b>NUEVO LEON</b>	7,920	1.757
<b>OAXACA</b>	4,655	3.487
<b>QUINTANA ROO</b>	3,861	3.552
<b>SAN LUIS POTOSI</b>	93,259	2.982
<b>SINALOA</b>	1,979	0.938
<b>TABASCO</b>	17,798	3.632
<b>TAMAULIPAS</b>	1,055,129	2.374
<b>VERACRUZ</b>	23,985	2.970
<b>YUCATAN</b>	255	0.869
<b>TOTAL</b>	<b>1,452,653</b>	<b>Media de estados productores 2.631</b>

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

### Generalidades del Maíz

El maíz fue domesticado en México hace 6 u 8 mil años. En la región mesoamericana llegaron a existir miles de variedades. El modelo de agricultura industrial de la Revolución Verde implicó la pérdida de una buena parte de esta diversidad: se calcula que de las variedades que se conocían en 1930 hoy queda un 20 por ciento.

Los maíces de México son de un interés especial, debido al papel que han desempeñado en el desarrollo de las variedades modernas y altamente productivas de América, especialmente en la faja maicera de los EUA. Por consiguiente, la clasificación de los maíces de México es de interés no sólo para el mejoramiento del

cultivo, sino también para los genetistas, y actualmente para la ingeniería genética y la industria agrobiotecnológica, (Grain, 1996).

En México, el maíz es el producto agrícola que tiene mayor identidad con la cultura mexicana, pues además de la importancia en la alimentación popular de zonas urbanas y rurales, fue el cultivo domesticado que permitió que surgieran culturas muy importantes en nuestro país, como la olmeca, maya, teotihuacana, tolteca y la mexicana (Sánchez *et al.* 1998).

### **Clasificación Taxonómica del Maíz (*Zea mays L.*)**

Reino-----	Vegetal
División-----	Tracheophyta
Subdivisión-----	Pteropsidae
Clase-----	Angiospermae
Subclase -----	Monocotiledoneae
Grupo-----	Glumiflora
Orden-----	Graminales
Familia-----	Gramineae
Tribu-----	Maydeae
Genero-----	Zea
Especie-----	mays

Cuadro 4. Principales estados productores de maíz en el ciclo otoño- invierno con sistema de temporal, la 30 de junio de 2010.

Estado	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
<b>CAMPECHE</b>	4,517	1.116
<b>CHIAPAS</b>	101,490	1.164
<b>CHIHUAHUA</b>	14	0.700
<b>GUERRERO</b>	4,094	2.818
<b>HIDALGO</b>	33,591	1.492
<b>JALISCO</b>	3,630	2.560
<b>MICHOACAN</b>	339	2.503
<b>NAYARIT</b>	5,993	3.226
<b>NUEVO LEON</b>	1,478	1.111
<b>OAXACA</b>	72,759	1.660
<b>PUEBLA</b>	19,162	0.963
<b>QUERETARO</b>	6	0.600
<b>QUINTANA ROO</b>	3,997	1.063
<b>SAN LUIS POTOSI</b>	16,749	1.386
<b>SINALOA</b>	861	0.976
<b>TABASCO</b>	56,620	1.609
<b>TAMAULIPAS</b>	6,497	1.659
<b>VERACRUZ</b>	353,181	2.089
<b>YUCATAN</b>	624	0.678
<b>TOTAL</b>	<b>685,601</b>	<b>Media de estados productores 1.674</b>

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

Cuadro 5. Principales estados productores de maíz en el ciclo otoño- invierno con sistema de riego, al 30 de junio de 2010.

Estado	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
<b>BAJA CALIFORNIA SUR</b>	6,340	5.380
<b>CAMPECHE</b>	623	4.085
<b>COLIMA</b>	7,096	3.049
<b>CHIAPAS</b>	21,846	3.499
<b>DURANGO</b>	172	3.518
<b>GUANAJUATO</b>	5,332	7.248
<b>GUERRERO</b>	82,132	3.561
<b>HIDALGO</b>	11,689	4.503
<b>JALISCO</b>	11,721	4.338
<b>MEXICO</b>	376	2.515
<b>MICHOACAN</b>	18,832	3.128
<b>MORELOS</b>	3,018	4.030
<b>NAYARIT</b>	23,128	7.004
<b>NUEVO LEON</b>	150	3.00
<b>OAXACA</b>	54,282	2.324
<b>PUEBLA</b>	17,278	3.200
<b>QUERETARO</b>	293	1.558
<b>QUINTANA ROO</b>	600	3.750
<b>SAN LUIS POTOSI</b>	1,709	2.797
<b>SINALOA</b>	4,902,423	10.55
<b>SONORA</b>	185,569	6.232
<b>TABASCO</b>	75	3.000
<b>TAMAULIPAS</b>	14,710	4.030
<b>VERACRUZ</b>	13,038	5.416
<b>YUCATAN</b>	3,022	3.002
<b>ZACATECAS</b>	333	3.083
<b>TOTAL</b>	<b>5,385,787</b>	<b>Media de estados productores 9.275</b>

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

## Importancia del Fósforo

El fósforo elemental (P) no se encuentra en estado libre en la naturaleza, porque su elevada facilidad de oxidación no lo permite. Con todo, son muy comunes los compuestos de fósforo, como ejemplo los fosfatos, que se encuentran en numerosos minerales, (Teuscher *et al.* 1965).

El P es un elemento químico esencial para la vida y muy abundante en la corteza terrestre, sin embargo, una pequeña proporción está disponible para las plantas, por lo que debe ser suministrado por medio de fertilizantes minerales. Sin embargo gran parte de este tiende a acumularse en el suelo en forma de compuestos insolubles (Rosas *et al.* 2003). El elemento tiene una gran influencia en la primera fase de crecimiento de las plantas. Las plántulas se nutren del fósforo acumulado en la semilla, pero cuando se agota esta reserva, ha de tomarlo del suelo. El fósforo favorece el desarrollo del sistema radical al comienzo de la vegetación, así como los fenómenos relacionados con la fecundación, fructificación y la maduración de la semilla (Guerrero, 1990).

En la materia orgánica se hallan contenidos varios compuestos orgánicos complejos de fósforo, tales como lecitina, ácidos nucleicos, fitina y otros, los cuales son atacados y descompuestos por las bacterias y hongos del suelo, casi siempre por medio de enzimas como la fitasa, liberándose el fósforo en forma de fosfatos o de ácido fosfórico (Teuscher *et al.* 1965).

El P es absorbido por las plantas en forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{=}$  o  $\text{PO}_4^{=-}$ , dependiendo del pH del suelo, la mayor parte de la cantidad total de fósforo que existe en el suelo, está ligada químicamente a compuestos de solubilidad limitada. En suelos neutros o básicos se forman fosfatos de calcio, en tanto que en los suelos ácidos se producen fosfato de hierro y aluminio. La cantidad del fosforo disponible que existen en el suelo puede ser apenas el 1% o menos de la cantidad total existente.

La solubilidad del fosfato está bajo el control de varios factores. Uno de ellos es la cantidad total de fosfato en fase sólida que existe en el suelo. Cuanto mayor es la cantidad total presente en el suelo, mayor es la posibilidad de que este último tenga más fósforo en solución. Otro factor importante es el nivel de contacto que existe entre el fosfato en fase sólida y la solución del suelo. La mayor exposición del fosfato a la solución del suelo y a las raíces de las plantas, aumenta la capacidad para que exista una reserva adecuada de fósforo (Asociaton, 1995).

El factor decisivo para el aprovechamiento de los fosfatos en el suelo, es sin duda el valor del pH, puesto que de él depende la existencia de diferentes fosfatos. El fosfato dicálcico, que es uno de los más fácilmente aprovechables, existe solo entre pH 6.0 y 7.0; por debajo de pH 6.0 aumenta la solubilidad de los (compuestos) de hierro y aluminio formándose fosfatos de hierro y aluminio insolubles, y por arriba de pH 7.5 se forman fosfatos tricálcicos que también es prácticamente insolubles (Teuscher *et al.* 1965).

Cuadro 6. Compuestos de fósforo que predominan a diferentes niveles de pH

Ámbito de pH	Fosfatos combinados principalmente con	Solubilidad
3-4	hierro y aluminio	Insoluble
5-6	Hierro	prácticamente insoluble
6-7.8	calcio (como $\text{CaHPO}_4$ )	fácilmente soluble
Más de 7.8	calcio [como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ]	prácticamente insoluble
También sodio	(como $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )	Soluble

Teuscher *et al.* (1965)

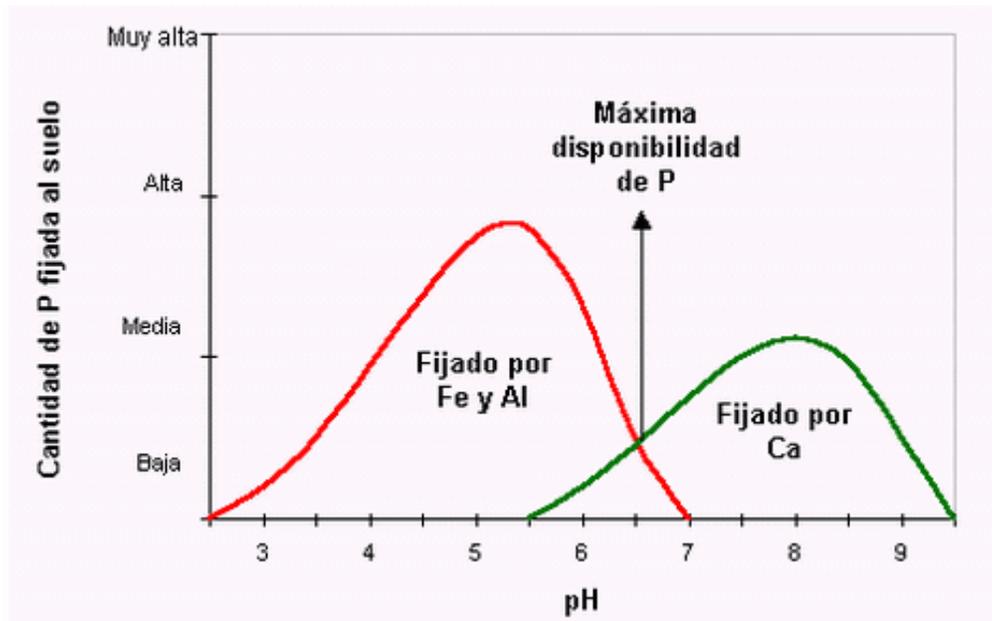


Figura 1. **Relación entre pH, fijación y disponibilidad de fosfatos.**

Fuente: <http://www.pasturasyforrajes.com> (septiembre, 2010)

### **Función en la Planta**

El fósforo estimula el crecimiento temprano y la formación de la raíz, acelera la maduración y promueve la producción de semillas. Las plantas requieren un mayor suministro de fósforo bajo las siguientes circunstancias 1) crecimiento de la planta en climas fríos, 2) crecimiento de la raíz limitado y 3) rápido crecimiento de la parte aérea (Asociaton, 1995), existe en todas las células vivas las plantas, lo utilizan para sintetizar ácidos nucleicos ADN y ARN (Asociaton,1995),Es un elemento esencial de los cofactores transportadores de energía (ATP, GTP,UTP etc.) y los compuestos fosforados que intervienen en el metabolismo general son innumerables. (Mazliak, 1976).

Después de su absorción, la mayor parte de los fosfatos reaccionan rápidamente para formar compuestos orgánicos, que juegan un papel muy importante en gran número de reacciones enzimáticas, que dependen de la fosforilación. Aquellas incluyen la incorporación del fosfato en los neucleótidos-fosfatos, por lo que el fósforo tiene un papel fundamental en la concentración y transferencia de energía en una gama muy amplia de procesos bioquímicos. Los fosfatos son, también

constituyentes de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos, incluidos los de membranas citoplásmicas. El ácido fítico (hexafosfato de inositol) o más exactamente, su sal cálcica o magnésica (denominada fitina), se forma en las semillas y proporciona los fosfatos necesarios durante el proceso de germinación. Los fosfatos son esenciales para la división celular y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos (Wild, 1992).

Los cereales que sufren carencia de fósforo, experimentan un retraso en todas las fases de su desarrollo, desde la aparición de la segunda hoja hasta la maduración. Presentan el sistema radical deficientemente desarrollado y es aún más latente, la falta de desarrollo adecuado en las hojas y tallo; las hojas presentan una coloración verde-grisácea apagada, y con frecuencia aparece en la base de las hojas y en las hojas mortecinas una pigmentación roja o violácea por producción de antocianinas; el número de hijuelos y la espigazón se reduce. En los suelos pobres en fósforo el aporte de fertilizantes fosfatados acelera el proceso de maduración, lo que puede ser de especial importancia para obtener buenos rendimientos de grano en las regiones semiáridas, este efecto sobre la maduración ha sido bien comprobado en las parcelas cultivadas con cebada en la *Rothamsted Experimental Station*, donde las plantas que habían recibido abonos fosfatados, mostraban ya color amarillo cuando los lotes que habían sufrido carencia de fósforo, permanecían aún verdes. También se observaron algunos efectos indirectos: la espigazón se producía antes en los lotes bien fertilizados y, por este motivo tenían más probabilidad de escapar a los ataques de las larvas de la mosca de los cereales (*Chlorops toenopius* Meig) (Wild, 1992).

### **Deficiencias**

Los síntomas de deficiencia de fósforo en las plantas consisten en:

- Crecimiento lento; achaparramiento.
- Coloración púrpura del follaje de algunas plantas.
- Maduración retardada
- Desarrollo deficiente de frutos o semillas. (Asociaton,1995).

## Los Biofertilizantes

El término de agricultura orgánica, se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, y que evita el uso de productos químicos como fertilizantes, insecticidas y herbicidas en plantas, que pueden causar contaminación de los alimentos y degradación cuantitativa y cualitativa de los suelos, del agua y de todos los recursos esenciales para lograr incrementos en la producción de alimentos (Organización Americana de Alimentos - FAO, 2001).

A nivel mundial, México ocupa el 18° lugar por superficie orgánica y está ubicado en el contexto internacional como país productor – exportador de alimentos orgánicos y como primer productor de café orgánico. En el país, el sector orgánico es el subsector agrícola mas dinámico, pues ha aumentado su superficie cultivada orgánicamente de 23 000 ha en 1996 a 103 000 ha en 2000, para 2002 se estimó que alcanzó las 216 000 ha., esta agricultura fue practicada por mas de 33 000 productores en 262 zonas de producción de 28 estados de la república, lo cual generó 139 millones de dólares en divisas y 16.4 millones de jornales por año. De acuerdo con las estimaciones del 2002, el número de los productores orgánicos fue de 53 000 y la generación de divisas fue de 280 millones de dólares (Gómez *et al.* 2005).

Cuadro 7. Importancia de la agricultura orgánica en México.

	México. Importancia Económica de la Agricultura Orgánica			
	1996	1998	2000	2002*
Superficie (ha)	23 265	54 457	102 802	215 843
Número de Productores	3 176	27 914	33 587	53 577
Empleo (1,000 jornales)	3 722	8713	16448	34534
Divisas generadas (US \$ 1,000)	34 293	72 000	139 404	280 698

Fuente: (León, 2005)

En el uso de biofertilizantes en la agricultura, uno de los principales problemas es el desconocimiento de las especies presentes en los agroecosistemas y en la rizósfera de los cultivos, para su posible utilización eficiente. Desde el punto de

vista ecológico, es importante reconocer a los integrantes de la comunidad bacteriana que favorecen su aplicación como inoculantes y proporcionan un efecto agrobiológico positivo en los cultivos agrícolas. (Terry *et al.*2005).

En el uso de biofertilizantes, preparados con microorganismos aplicados al suelo y/o planta, con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, la respuesta a los biofertilizantes varía considerablemente, dependiendo de los microorganismos, tipo de suelo, especies de plantas, y condiciones ambientales. Los microorganismos aplicados deben competir con una microflora nativa mejor adaptada a condiciones ambientales adversas, incluyendo falta de humedad en el suelo, alta salinidad y pH extremos, que pueden disminuir rápidamente la población de cualquier especie microbiana introducida. Los resultados de esta investigación indican que la utilización de cepas nativas de microorganismos en la elaboración de biofertilizantes, tiene mayor posibilidad de efectividad en el campo, por estar adaptado a las condiciones del suelo de cada región (Bojórquez *et al.* 2010).

Los microorganismos PGPR, entre ellos los solubilizadores de fósforo, desempeñan un importante papel en el aporte de este nutrimento para las plantas, propiedad que potencia su utilización como inoculantes, (Glick, 1995).

Las bacterias que solubilizan fósforo, se encuentran entre los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Micrococcus* y *Aerobacter*, las que además pueden producir otros metabolitos como fitohormonas, cianidas, fijar nitrógeno, y/o metabolitos tóxicos para promover el crecimiento, inducir defensas o inhibir patógenos. Algunos exhiben una estrecha especificidad mientras que otros pueden tener un amplio espectro de huéspedes (Kloepper *et al.*, 1989).

Los microorganismos del suelo contribuyen al aprovechamiento del fósforo por las plantas, a consecuencia de los diversos ácidos que producen y que aumentan la solubilidad de los fosfatos que son insolubles o casi insolubles. Se ha calculado que un 35% de todas las bacterias del suelo pueden disolver fosfato tricálcico, y

dado que la conversión se realiza de manera mas efectiva en la inmediata vecindad de las puntas de las raíces, donde abundan estos microorganismos a consecuencia de las excreciones radicales, no es despreciable esta conversión. El cultivo de plantas en suelos esterilizados, ha demostrado que la acción solvente de las raíces es insignificante (Teuscher *et al.* 1965).

El principal mecanismo microbiológico, por el cual los compuestos fosfatados son movilizados, es la disminución del pH del medio por la liberación de ácidos orgánicos (Alexander, 1980). Se han descrito otros posibles mecanismos que incluyen la eliminación de protones afuera de la célula y su intercambio con cationes unidos al fósforo o la producción de ácidos inorgánicos como el ácido sulfhídrico, el ácido nítrico o el ácido carbónico (Rodríguez y Fraga, 1999).

Diversos trabajos han mencionado mejoras en la nutrición fosforada del cultivo, y como consecuencia en el rendimiento, por la inoculación de trigo con *Pseudomonas spp.* (Ferraris y Couretot, 2004; García y Bach, 2003). Estas bacterias promueven la solubilización de P del suelo y de los fertilizantes a través de la liberación de fosfatasas. Sin embargo, no está demasiado claro cuales son los ambientes en los que la respuesta a estos microorganismos se expresa en mayor magnitud. Ferraris y Couretot (2004) registraron incrementos significativos de rendimiento en suelos con baja disponibilidad de P y por esta razón altamente fijadores del nutrimento. García y Bach (2003), observaron respuestas de importancia en parcelas sin fertilización fosforada de base, donde la deficiencia de P era muy marcada. Sin embargo, también se han reportado incrementos de rendimiento en ambientes que no representaban tales condiciones (García y Bach, 2003; Lemos *et al.* 2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Sitio Experimental

El experimento se realizó en un invernadero localizado en el kilómetro 26 de la autopista Saltillo- Monclova, a los  $25^{\circ} 44' 42''$  de latitud norte,  $101^{\circ} 03' 26''$  de longitud oeste, a una altura de 1022 msnm.

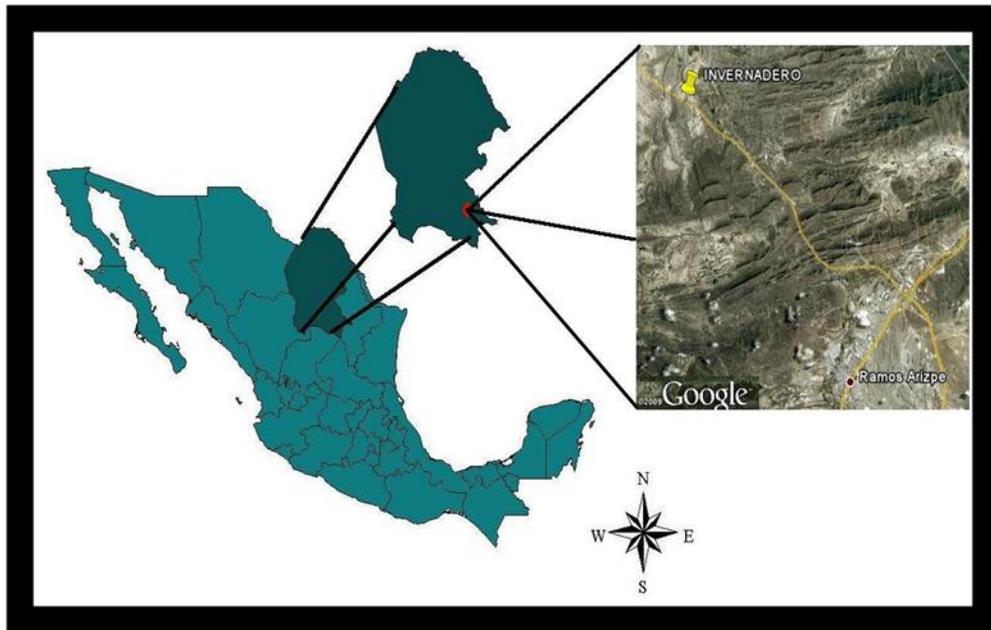


Figura 2. Localización del sitio experimental.

## Metodología

En un invernadero de la Empresa Green Corp Biorganiks se realizó el experimento. El horizonte Ap de un suelo del área experimental (Cuadro 8), fue colectado y posteriormente colocados ocho kilos de éste en macetas de polietileno. Semilla de maíz y sorgo, fue inoculada con cinco sepas de bacterias solubilizadoras de fósforo, a la concentración de  $10^8$  UFC (unidades formadoras de colonias) (Cuadros 9 y 10), al momento de la siembra, la cual se efectuó directamente al suelo en la maceta. Cada tres días se regó, aunque aquí se consideró la humedad del suelo al tacto.

Cuadro 8. Algunas características físico – químicas del suelo al inicio del experimento.

Determinaciones	Método	Suelo
Textura	Hidrómetro de Bouyoucous	Franco
Materia Orgánica	Walkey y Black, (1934)	0.44 %
pH	Potenciómetro (relación 5:1 en agua)	8.2
Conductividad Eléctrica	punteo de Wehastone	0.3 mS/cm

Las variables medidas al maíz, fueron en las etapas de formación de la espiga y hasta producción: en la primera se midieron la altura de planta, el número de hojas y el peso fresco y seco de tallo y raíz. En la segunda, altura de planta, número de hojas, peso fresco de tallo, peso seco de raíz, peso de mazorca y peso de grano.

De igual manera, las variables medidas al sorgo fueron: en la etapa de formación de la espiga, la altura de planta, el número de hojas y el peso fresco y seco de raíz y tallo. En la etapa de producción, la altura de planta, el número de hojas, el peso fresco de tallo, el peso seco de raíz y peso de grano.

Cuadro 9. Características de las bacterias solubilizadoras de fósforo, adicionadas a maíz y sorgo y proporcionadas por la Empresa Green Corp Biorganiks.

Microorganismo	Morfología microscópica	Morfología macroscópica	Fosfato Solubilizadora
MaB2	Bacilo Gram (-)	Colonias color blanco lechosas, redondas, viscosas con diámetro de 3mm.	Si
PiB1	Bacilo Gram (-)	Colonias color blancas puntiformes con diámetro de 1mm, convexas	Si
MeB2	Bacilo Gram (-)	Colonias brillantes puntiformes aplanadas, con diámetro de 1mm.	Si
CaB2	Bacilo Gram (-)	Colonia blanco lechoso, brillante, redondas con diámetro de 2 a 3 mm	Si
CaB3	Bacilo Gram (-)	Colonias blancas adherentes al medio, puntiformes y redondas	Si

Cuadro 10. Cantidad de bacterias solubilizadoras de fósforo, aplicadas a semillas de sorgo y maíz.

Tratamiento	Bacteria	UFC
1	MaB2	$1 \times 10^8$
2	PiB1	$1 \times 10^8$
3	MeB2	$1 \times 10^8$
4	CaB2	$1 \times 10^8$
5	CaB3	$1 \times 10^8$
6	Testigo	0

El experimento, se estableció de acuerdo al Diseño Experimental bloques al Azar, para el maíz, de siembra hasta formación de la espiga, se usaron seis repeticiones; para la etapa de formación de la espiga hasta producción se utilizaron nueve repeticiones. Para el caso del sorgo fue la misma situación. El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de media de Tukey ( $P \leq 0.1$  y  $0.5$ ), con el programa para computador Minitab, versión 15 para Windows.

Una vez aislados los microorganismos P solubilizadores, estos se inocularon en picadura en placas con agar SMR1. Las placas se incubaron a  $37 \pm 2^\circ \text{C}$  por 3 días (bacterias) y a  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  por 5 días (hongos), período en el cual se midió el halo de solubilización producido por la cepa en estudio. Se determinó la eficiencia solubilizadora a diferentes tiempos, por duplicado para cada uno de los microorganismos aislados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### El Maíz

#### Etapa de Formación de la Espiga

En la altura de planta de maíz, los tratamientos provocaron efecto altamente significativo (Cuadro 11). Así, al aplicar las bacterias MaB2 y PiB1, la planta no sobrepasó los 50 cm de altura, mientras que con la adición de la bacteria MeB2, la planta alcanzó la altura superior y aventajó al testigo en 100 por ciento. Cuando se aplicaron las bacterias CaB2, adelantaron a las CaB3 (Figura 3).

Cuadro 11. Análisis de varianza (ANVA) para la altura de planta de maíz en etapa de formación de espiga., inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	9474.61	1894.92	26.36	0.000**
Repeticiones	5	370.88	74.18	1.03	0.421NS
Error	25	1797.11	71.88		
Total	35	11642.60			

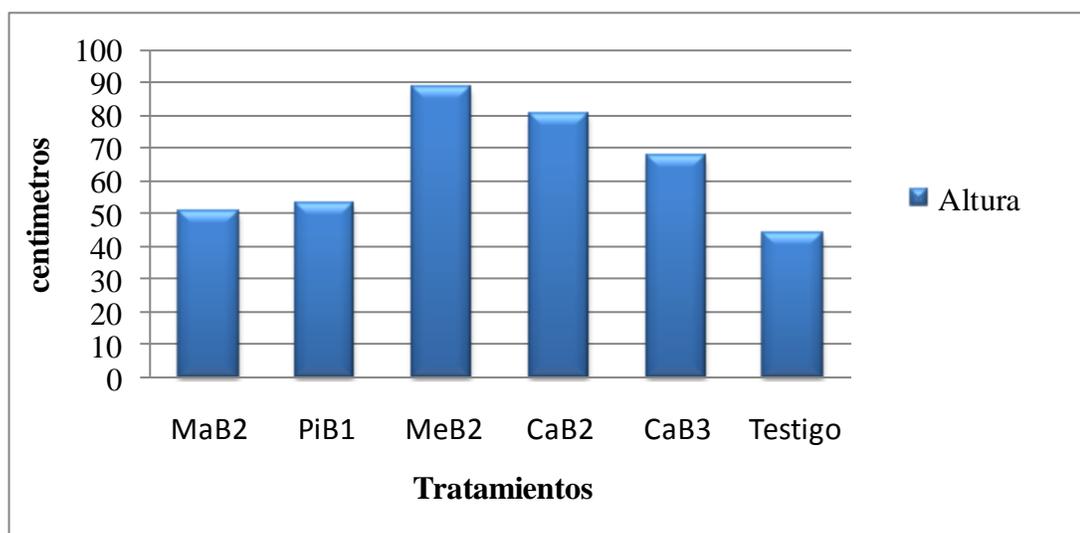


Figura 3. Altura de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, tuvieron efecto altamente significativo en el número de hojas del maíz (Cuadro 12), porque al adicionar las bacterias MeB2 y CaB2, superaron al testigo en 25 por ciento; lo cual quiere decir que las otras bacterias empleadas como tratamientos, no ejercieron efecto en esta variable, ya que al adicionarlas, las plantas no sobrepasaron el número de hojas del testigo (Figura 4).

Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) para el número de hojas de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	50.3333	10.0667	13.48	0.000**
Repeticiones	5	4.0000	0.8000	1.07	0.400**
Error	25	18.6667	0.7467		
Total	35	73.0000			

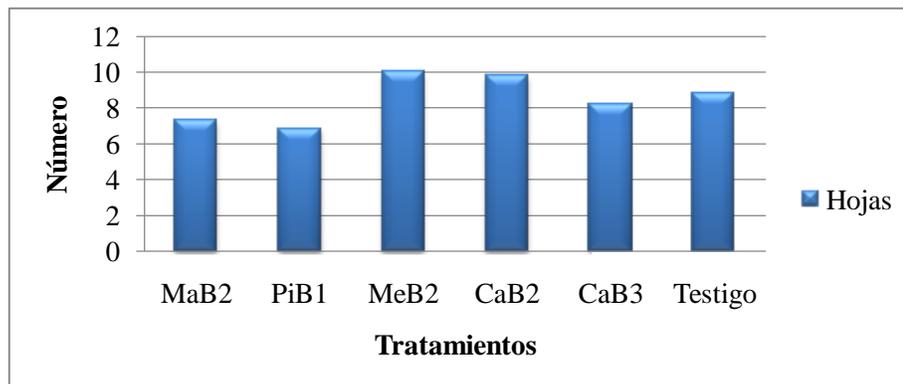


Figura 4. Número de hojas de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 13, donde se presenta el análisis de varianza del peso fresco del tallo, se observa que al agregar las bacterias MaB1 y PiB1, el peso no sobrepasó los 80 g; mientras que con la adición de la bacteria MeB2, se superó al testigo en 212.5 por ciento (Figura 5).

Cuadro 13. Análisis de varianza (ANVA) para de peso fresco de tallo en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	162159	32432	42.34	0.000**
Repeticiones	5	10201	2040	2.66	0.046NS
Error	25	19150	766		
Total	35	191510			

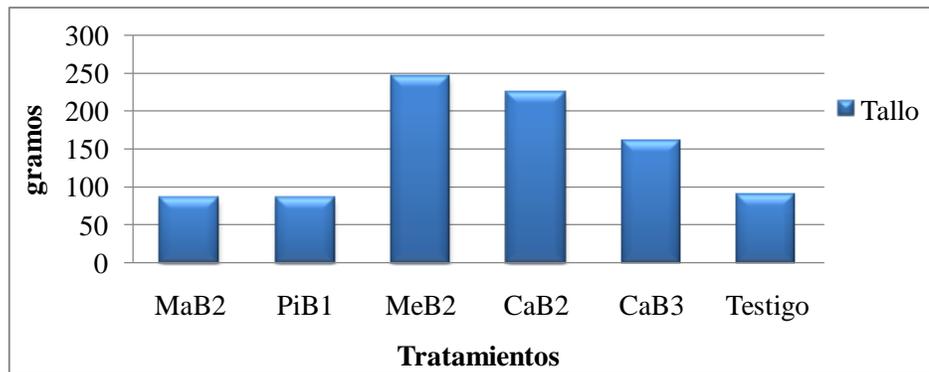


Figura 5. Peso fresco de tallo de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Al efectuar el análisis de varianza del peso fresco de la raíz, a partir del Cuadro 14, se puede establecer que los tratamientos provocaron efecto altamente significativo. Lo anterior quiere decir que, con la adición de la bacteria MeB2, esta variable aventajó en 140 por ciento al testigo. Al agregar las bacterias MaB2, PiB1 y CaB3, no se sobrepasaron los 150 g de peso fresco de raíz (Figura 6).

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para de peso fresco de raíz de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	584873	116975	21.65	0.000**
Repeticiones	5	33642	6728	1.25	0.318NS
Error	25	135099	5404		
Total	35	753613			

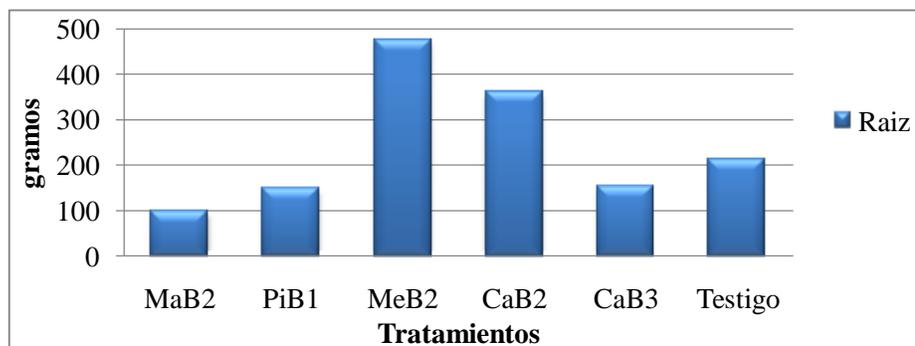


Figura 6. Peso fresco de raíz de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, registraron efecto altamente significativo en el peso seco del tallo; lo anterior se presenta en el Cuadro 15. A partir de la Figura 7, se puede establecer que con la aplicación de las bacterias MeB2 y CaB2, se superó al testigo en 233 y 200 por ciento, respectivamente; mientras que con las bacterias MaB2, PiB1 y CaB3, solo se alcanzó el valor de 25 g (Figura 7).

Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) para de peso seco de tallo de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	8357.68	1671.54	39.80	0.000**
Repeticiones	5	226.35	45.27	1.08	0.396NS
Error	25	1049.90	42.00		
Total	35	9633.93			

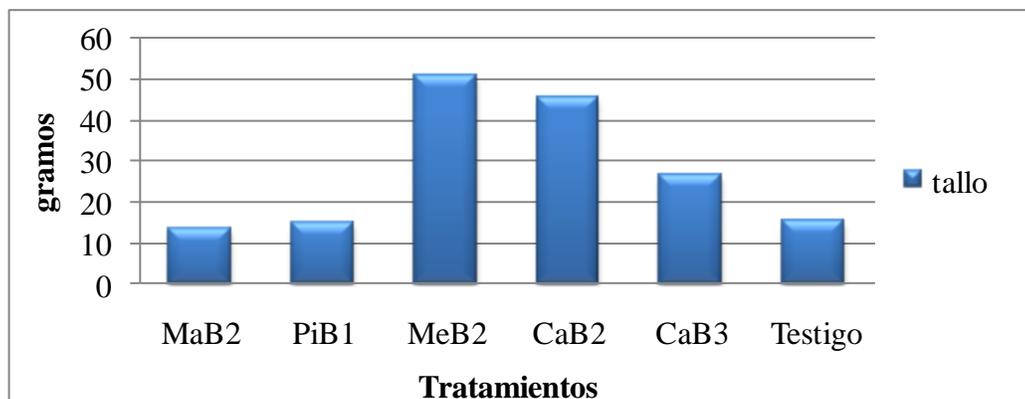


Figura 7. Peso seco de tallo de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 16, se puede observar que los tratamientos causaron efecto altamente significativo en el peso seco de raíz. Lo anterior se manifiesta en la Figura 8, donde se observa una distribución casi normal de los valores con relación a los tratamientos; así, al aplicar las bacterias MaB2, PiB1 y MeB2, los valores fueron en aumento y con la bacteria CaB3 y el testigo disminuyeron; mientras que con la aplicación de la bacteria CaB2, se superó al testigo en 300 por ciento.

Cuadro 16. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de maíz, en etapa de formación de espiga, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	8213.6	1642.7	17.30	0.000**
Repeticiones	5	1931.4	386.3	4.07	0.008**
Error	25	2373.9	95.0		
Total	35	12518.9			

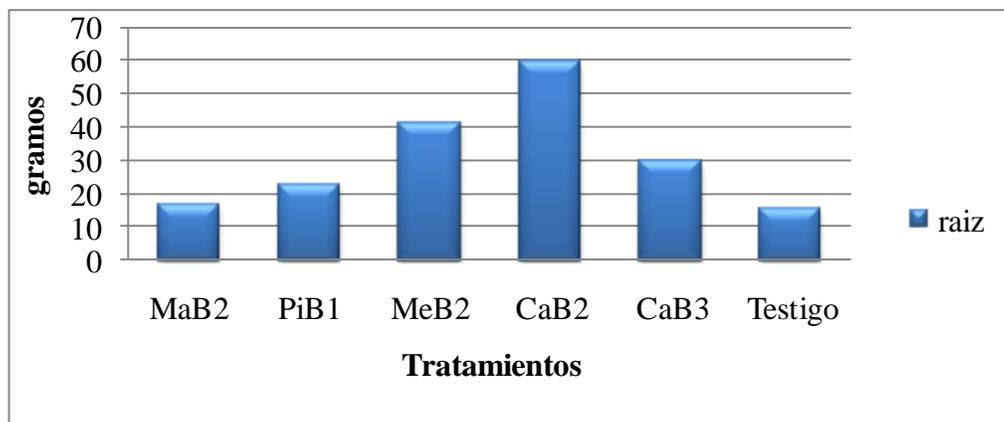


Figura 8. Peso seco de raíz de planta de maíz, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En resumen, en la etapa desde siembra hasta la formación de la espiga del maíz, en todas las variables medidas, la bacteria MeB2, causó efecto positivo, con excepción de la variable peso seco de raíz, donde ahí el efecto positivo lo realizó la bacteria CaB2 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Concentración de medias del cultivo de maíz en la etapa de formación de espiga.

Tratamiento	APM	NHM	PFTM	PFRM	PSTM	PSRM
1	50.50 c	7.33 c	84.00 c	97.16 d	13.46 c	16.69 c
2	53.1667 a	6.83 c	83.50 c	147.50 cd	14.78 c	22.29 bc
3	88.83 a	10.0 a	245.41 a	474.25 a	50.70 a	40.87 ab
4	79.86 ab	9.83 a	223.36 a	359.21 ab	45.56 a	59.09 a
5	67.48 b	8.16 bc	159.83 b	150.50 bc	26.54 b	29.65 bc
6	43.85 c	8.83 ab	89.16 c	209.50 cd	15.4683 c	15.46 c

## Etapa de Producción

En la altura de planta de maíz, los tratamientos provocaron efecto significativo (Cuadro 18). Así, al aplicar las bacterias MaB2, PiB1, MeB2 y CaB2, la planta no sobrepasó los 180 cm de altura, mientras que con la adición de la bacteria CaB3, la planta alcanzó la altura superior y aventajó al testigo en cuatro por ciento (Figura 9).

Cuadro 18. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	2796.6	559.3	2.59	0.040*
Repeticiones	8	2427.0	303.4	1.41	0.223NS
Error	40	8625.2	215.6		
Total	53	13848.8			

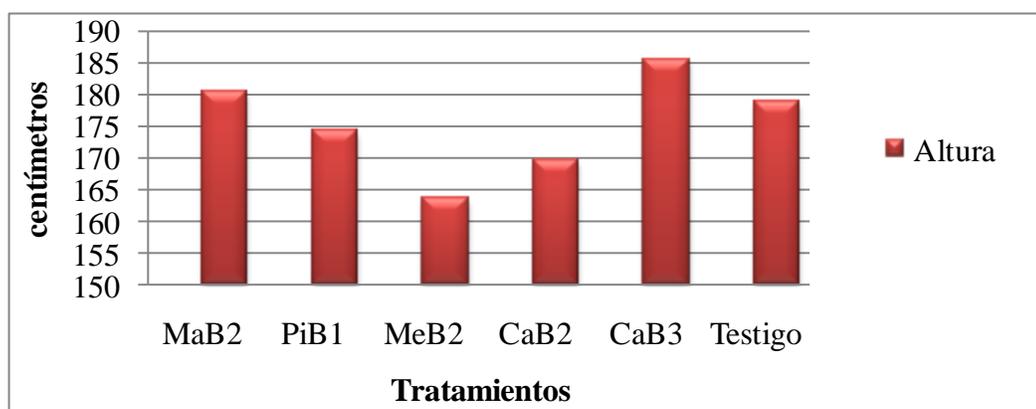


Figura 9. Altura de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, no promovieron efecto en el número de hojas del maíz (Cuadro 19), pero de forma gráfica al adicionar la bacteria MeB2, superó al testigo en uno por ciento; lo cual quiere decir que las otras bacterias empleadas como tratamientos, no ejercieron efecto en esta variable, ya que al adicionarlas, las plantas no sobrepasaron el número de hojas del testigo (Figura 10).

Cuadro 19. Análisis de varianza (ANVA) para de número de hoja de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	3.4259	0.6852	0.70	0.630NS
Repeticiones	8	8.8148	1.1019	1.12	0.372NS
Error	40	39.4074	0.9852		
Total	53	51.6481			

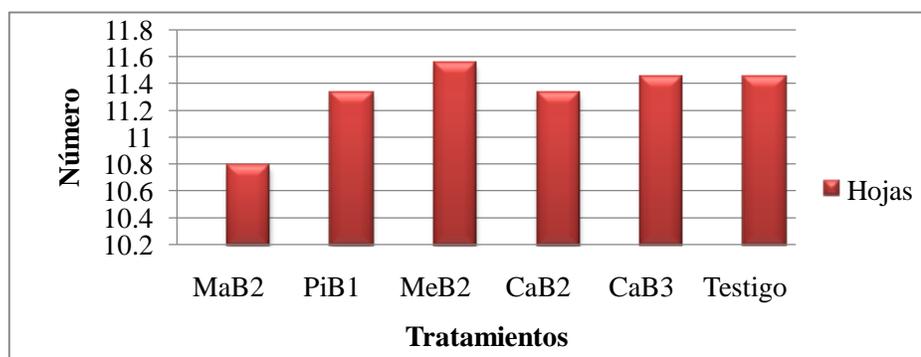


Figura 10. Número de hojas de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 20, donde se presenta el análisis de varianza del peso fresco del tallo, se observa que hay efecto altamente significativo de los tratamientos. Así, al agregar la bacteria MaB2, el peso sobrepasó los 120 g, lo que significa uno por ciento más que el testigo; mientras que al adicionar las demás bacterias, el valor no fue superior a los 100 g (Figura 11).

Cuadro 20. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallo de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	13820.3	2764.1	4.27	0.003**
Repeticiones	8	3875.4	484.4	0.75	0.648NS
Error	40	25872.8	646.8		
Total	53	43568.5			

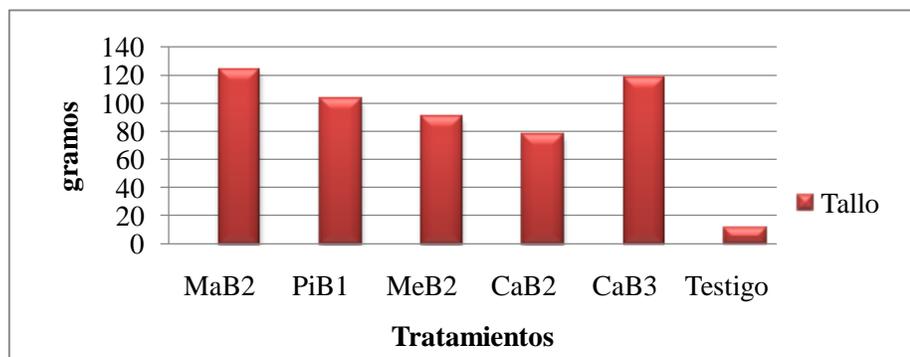


Figura 11. Peso fresco de tallo de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 21, se puede observar que los tratamientos no causaron efecto en el peso seco de raíz. Sin embargo, lo anterior se manifiesta de forma gráfica en la Figura 12, donde se observa que al adicionar las bacterias CaB2 y CaB3 superaron en 9 y 13 por ciento, respectivamente, al testigo.

Cuadro 21. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	10443	2089	1.46	0.225NS
Repeticiones	8	22221	2778	1.94	0.081NS
Error	40	57334	1433		
Total	53	89998			

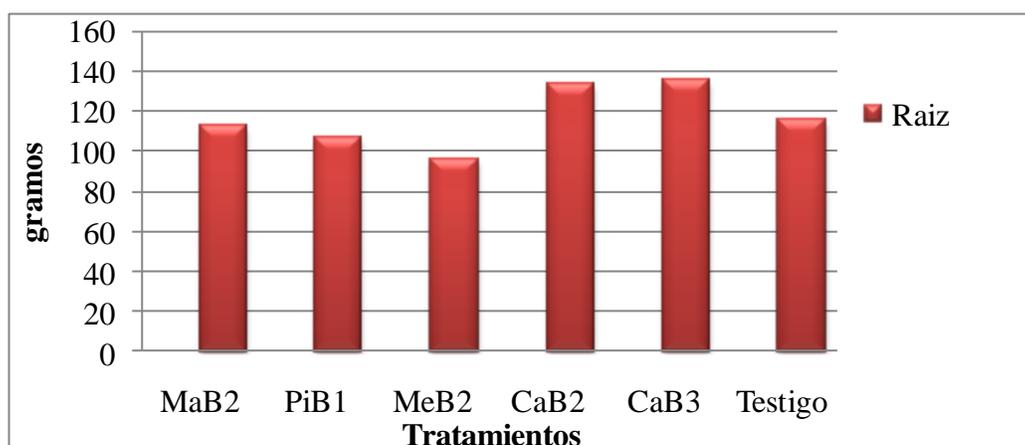


Figura 12. Peso seco de raíz de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el peso de la mazorca del maíz, hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 22). Así, a partir de la Figura 13, se puede establecer que se presentó un alto contraste entre las plantas donde se adicionaron las bacterias MeB2, CaB2 y CaB3, ya que sobrepasaron al testigo en 54.5, 51 y 45.5 por ciento, respectivamente; mientras que con la aplicación de las bacterias MaB2 y PiB1, el peso no llegó más que a los 50 g.

Cuadro 22. Análisis de varianza (ANVA) para peso mazorca de maíz en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	20462.6	4092.5	4.98	0.001**
Repeticiones	8	5033.5	629.2	0.77	0.634NS
Error	40	32847.3	821.2		
Total	53	58343.5			

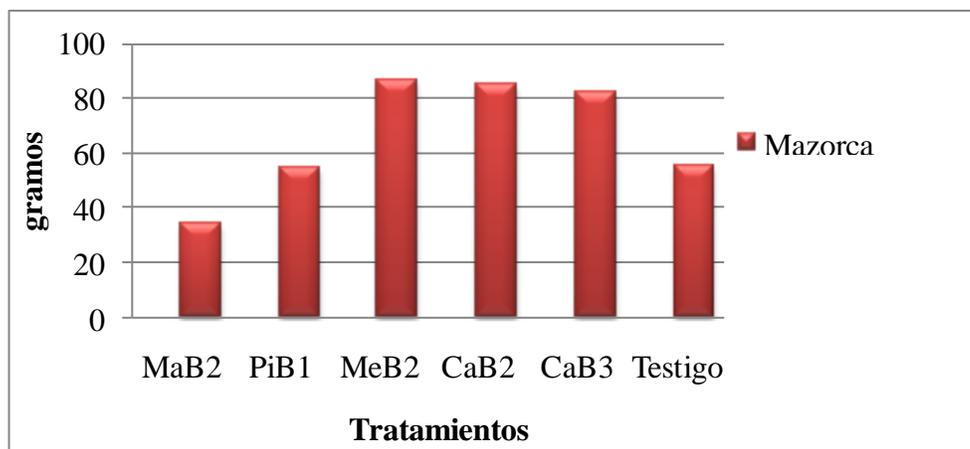


Figura 13. Peso de mazorca de planta de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el peso de grano de maíz, hay efecto significativo de los tratamientos, como lo muestra el Cuadro 23. En la gráfica 14, se aprecia como al adicionar la bacteria CaB2, se superó en 62.5 por ciento al testigo; además, con las bacterias MaB2 y PiB1, los valores no sobrepasaron los 40 g y al aplicar las bacterias MeB2 y CaB3, los valores oscilaron cerca de los 60 g.

Cuadro 23. Análisis de varianza (ANVA) para peso de grano de maíz, en etapa de producción, inoculadas con bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	6054.1	1210.8	3.11	0.018*
Repeticiones	8	2337.8	292.2	0.75	0.647NS
Error	40	15569.5	389.2		
Total	53	23961.4			

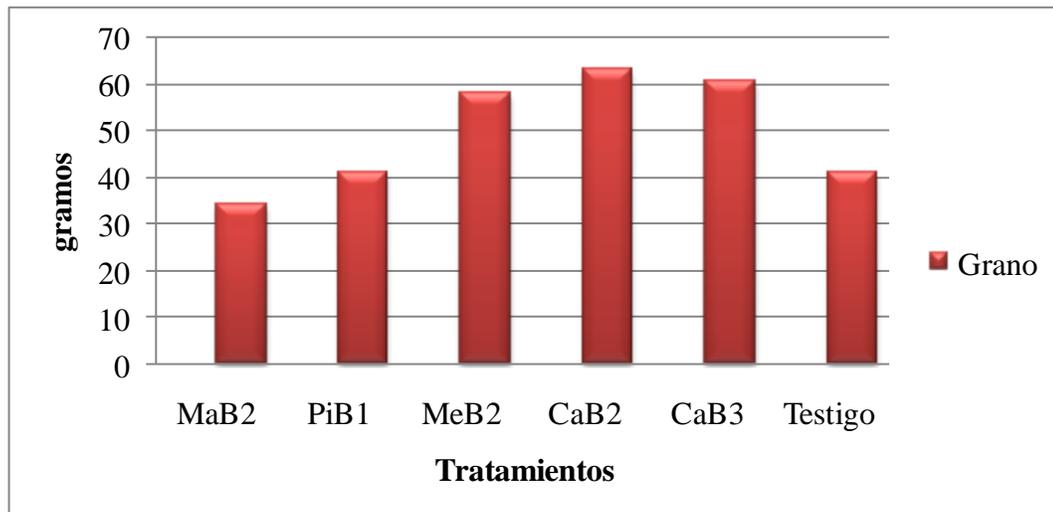


Figura 14. Peso de grano de maíz, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En esta etapa, a forma de resumen, en las variables altura de planta, peso seco de raíz, peso de mazorca y peso de grano, la bacteria CaB2 fue la que causó el mayor efecto, mientras que en el número de hojas y el peso seco de tallo, lo realizó la bacteria MaB2 (Cuadro 24).

Cuadro 24. Concentración de medias del cultivo de maíz en la etapa de producción.

Tratamiento	APM	NHM	PTM	PGM	PMM	PSRM
1	180.44 ab	10.78 a	123.44 a	34.14 b	34.14 b	113.11 a
2	174.22 ab	11.33 a	102.38 abc	41.18 ab	54.81 ab	106.33 a
3	163.44 b	11.55 a	90.15 bc	58.17 a	86.32 a	96.33 a
4	169.55 ab	11.33 a	77.31 c	62.97 a	84.60 a	133.11 a
5	185.22 a	11.44 a	117.88 ab	60.76 a	81.86 a	135.55 a
6	178.66 ab	11.44 a	11.68 ab	41.08 ab	54.93 ab	116.11 a

## El Sorgo

### Etapa de Formación de la Espiga

En la altura de planta de sorgo, los tratamientos provocaron efecto altamente significativo (Cuadro 25). Así, al aplicar las bacterias MaB2, PiB1, MeB2 y CaB3, la planta no sobrepasó los 60 cm de altura, mientras que con la adición de la bacteria CaB2, la planta alcanzó la altura superior y aventajó al testigo en 110 por ciento (Figura 15).

Cuadro 25. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	7290.1	1458.0	9.55	0.000**
Repeticiones	5	381.7	76.3	0.50	0.773NS
Error	25	3818.8	152.8		
Total	35	11490.6			

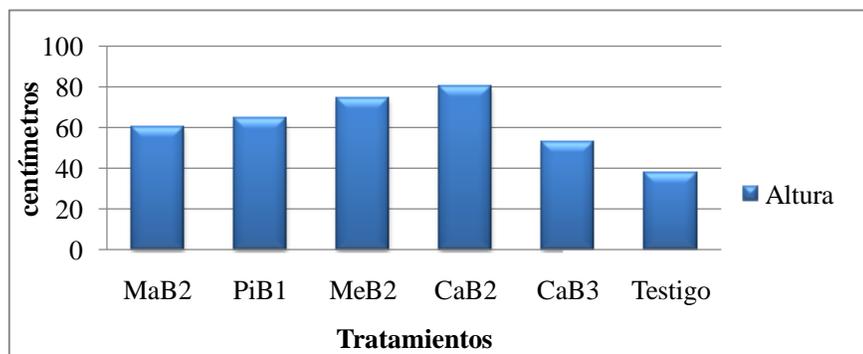


Figura 15. Altura de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, causaron efecto significativo en el número de hojas del sorgo, en la etapa de formación de la espiga (Cuadro 26), porque al adicionar las bacterias PiB1 y MeB2, superaron al testigo en 23 por ciento; lo cual quiere decir que las otras bacterias empleadas como tratamientos, no ejercieron efecto en esta variable, ya que al adicionarlas, las plantas no sobrepasaron el número de hojas del testigo (Figura 16).

Cuadro 26. Análisis de varianza para (ANVA) número de hojas de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	9.8889	1.9778	2.83	0.037*
Repeticiones	5	1.8889	0.3778	0.54	0.743NS
Error	25	17.4444	0.6978		
Total	35	29.2222			

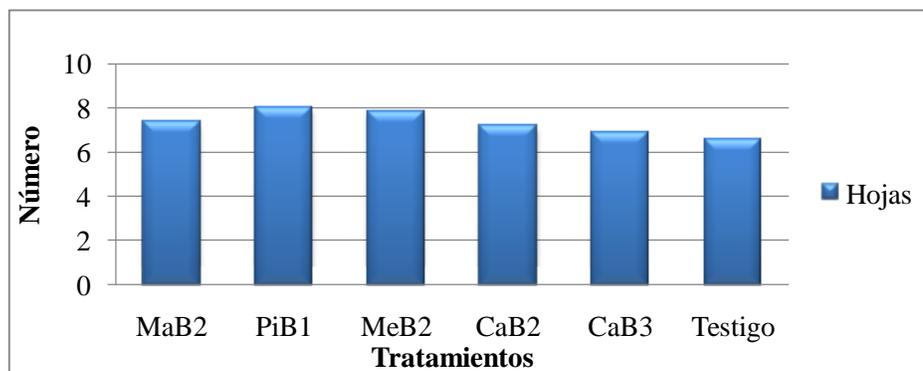


Figura 16. Número de hojas de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 27, donde se presenta el análisis de varianza del peso fresco del tallo del sorgo, se observa efecto altamente significativo; además, al agregar las bacterias MaB2, PiB1, CaB2 y CaB3, el peso no sobrepasó los 140 g; mientras que con la adición de la bacteria MeB2, el valor fue de 160g y se superó al testigo en 450 por ciento (Figura 17).

Cuadro 27. Análisis de varianza para (ANVA) peso fresco de tallo de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	88428.9	17685.8	33.18	0.000**
Repeticiones	5	3200.6	640.1	1.20	0.337NS
Error	25	13326.4	533.1		
Total	35	104955.9			

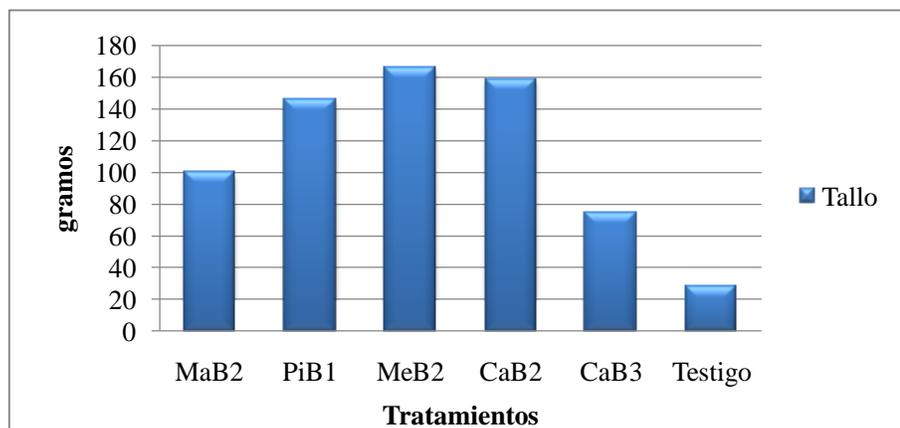


Figura 17. Peso fresco de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Al efectuar el análisis de varianza del peso fresco de la raíz, a partir del Cuadro 28, se puede establecer que los tratamientos causaron efecto altamente significativo. Lo anterior quiere decir que, con la adición de las bacterias PiB1 y MeB2, esta variable aventajó en 176 por ciento al testigo. Al agregar las bacterias MaB2, CaB2 y CaB3, no se sobrepasaron los 140 g de peso fresco de raíz (Figura 18).

Cuadro 28. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de raíz de en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	82968	16594	12.16	0.000**
Repeticiones	5	3031	606	0.44	0.813NS
Error	25	34101	1364		
Total	35	120101			

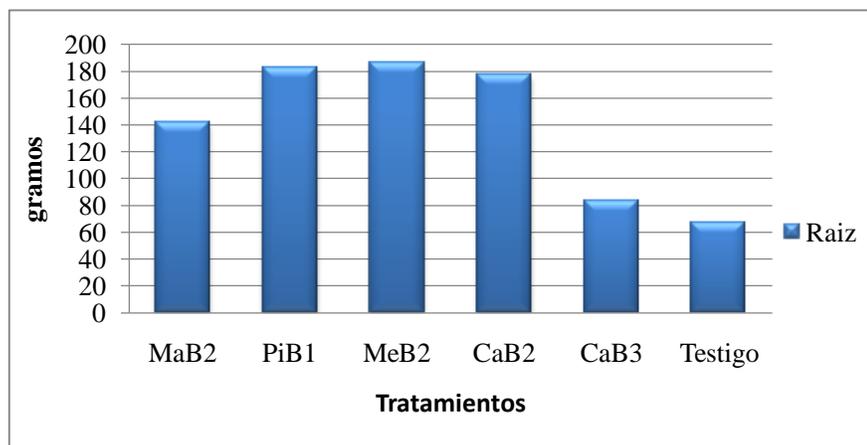


Figura 18. Peso fresco de raíz de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, mostraron efecto altamente significativo en el peso seco del tallo; lo anterior se presenta en el Cuadro 29. A partir de la Figura 19, se puede establecer que con la aplicación de las bacterias MeB2, se superó al testigo en 600 por ciento, respectivamente; mientras que con las bacterias MaB2, PiB1, CaB2 y CaB3, solo se alcanzaron los valores entre 15 y 30g.

Cuadro 29. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de tallo de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	4344.16	868.83	29.67	0.000**
Repeticiones	5	479.04	95.81	3.27	0.021*
Error	25	732.18	29.29		
Total	35	5555.38			

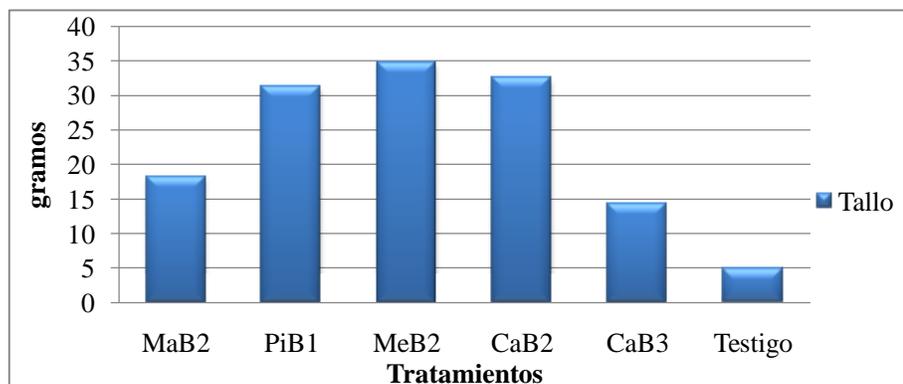


Figura 19. Peso seco de tallo de planta de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 30, se puede observar que los tratamientos provocaron efecto altamente significativo en el peso seco de raíz del sorgo. Lo anterior se manifiesta en la Figura 20, donde se observa una distribución casi normal de los valores con relación a los tratamientos; así, al aplicar las bacterias MaB2 y PiB1, los valores fueron en aumento. Con la adición de las bacterias MeB2 y CaB2, se alcanzó el superior valor de esta variable, porque se superó al testigo en 337 por ciento y con la aplicación de la bacteria CaB3, disminuyó considerablemente su peso, porque solo alcanzó 15 gramos.

Cuadro 30. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de sorgo en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	3559.99	712.00	15.00	0.000**
Repeticiones	5	273.90	54.78	1.15	0.359NS
Error	25	1186.99	47.48		
Total	35	5020.88			

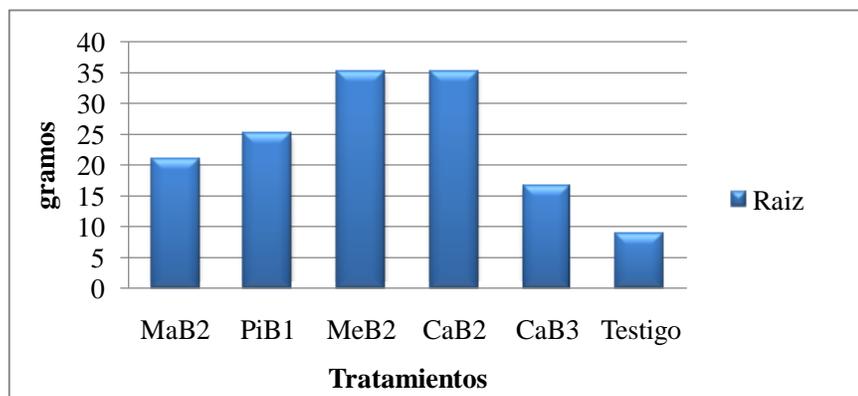


Figura 20. Peso seco de raíz de sorgo, en la etapa de formación de la espiga, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

A forma de resumen en esta etapa, a partir del Cuadro 31, se puede establecer que en las variables evaluadas, la adición de las bacterias MeB2 y PiB1, produjo efecto significativo en todas ellas; sin embargo, en la altura de planta quien lo efectuó fue la bacteria CaB2.

Cuadro 31. Concentración de medias del cultivo de sorgo en la etapa de formación de espiga.

Tratamiento	APS	NHS	PTS	PRS	PSTS	PSRS
1	60.01 bc	7.33 ab	99.66 b	141.33 a	18.25 b	20.91 b
2	63.65 abc	8.00 a	145.00 a	182.50 a	31.24 a	24.95 ab
3	74.26 ab	7.83 a	166.16 a	185.83 a	34.73 a	35.08 a
4	80.21 a	7.16 ab	158.33 a	176.83 a	32.47 a	35.04 a
5	52.41 cd	6.83 ab	74.00 b	83.33 b	14.12 bc	16.63 bc
6	36.83 d	6.50 b	28.50 c	66.83 b	4,73 c	8.72 c

## Etapa de Producción

En la altura de planta de maíz, los tratamientos causaron efecto altamente significativo (Cuadro 32). Así, al aplicar las bacterias MaB2, MeB2 y CaB2, la planta no sobrepasó los 130 cm de altura, mientras que con la adición de las bacterias PiB1 y CaB3, la planta alcanzó la mayor altura y aventajó al testigo en 25 por ciento (Figura 21).

Cuadro 32. Análisis de varianza (ANVA) para altura planta de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	4097.4	819.5	4.39	0.003**
Repeticiones	8	3774.8	471.9	2.53	0.025*
Error	40	7474.1	186.9		
Total	53	15346.3			

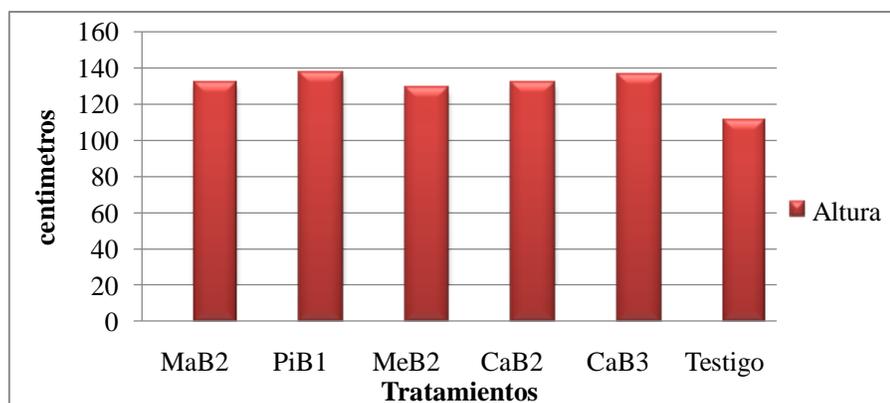


Figura 21. Altura de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Los tratamientos, registraron efecto significativo en el número de hojas del sorgo (Cuadro 33); así, al adicionar la bacteria CaB3, superó al testigo en cinco por ciento; lo cual quiere decir que las otras bacterias empleadas como tratamientos, no ejercieron efecto en esta variable, ya que al adicionarlas, las plantas no sobrepasaron de nueve el número de hojas (Figura 22).

Cuadro 33. Análisis de varianza (ANVA) para número de hojas de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	26.444	5.289	2.57	0.041*
Repeticiones	8	12.667	1.583	0.77	0.631NS
Error	40	82.222	2.056		
Total	53	121.333			

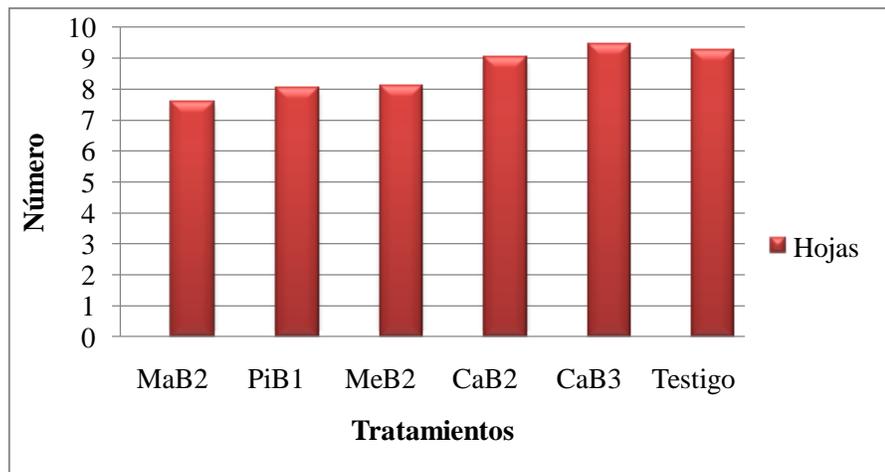


Figura 22. Número de hojas de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 34, donde se presenta el análisis de varianza del peso fresco del tallo, se observa que hay efecto altamente significativo de los tratamientos. Así, al agregar la bacteria CaB3, el peso sobrepasó los 210 g, lo que significa el 50 por ciento más que el testigo; mientras que al adicionar las demás bacterias, el valor no fue superior a los 180 g (Figura 23).

Cuadro 34. Análisis de varianza (ANVA) para peso fresco de tallo de sorgo en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	19463	3893	3.73	0.007**
Repeticiones	8	8840	1105	1.06	0.410NS
Error	40	41746	1044		
Total	53	70049			

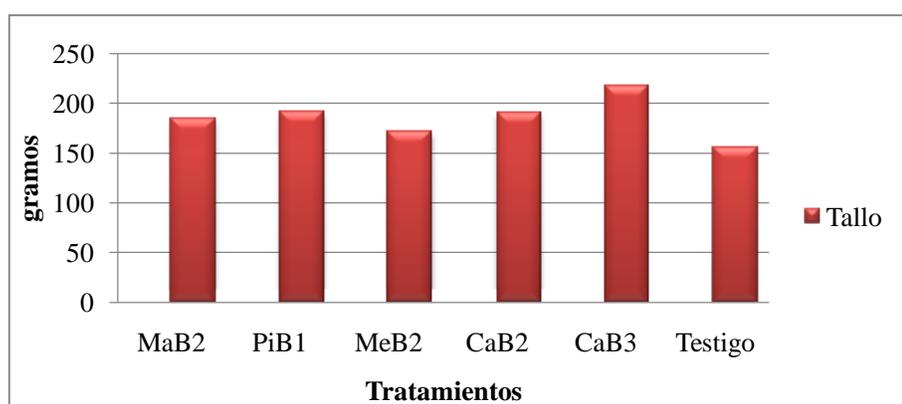


Figura 23. Peso fresco de tallo de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el peso de grano del sorgo, hay efecto altamente significativo de los tratamientos, como lo muestra el Cuadro 35. En la figura 24, se aprecia como al adicionar la bacteria PiB1, se superó en 70 por ciento al testigo; además, con la bacteria MaB2, el valor no sobrepasó los 25 g y al aplicar las bacterias MeB2, CaB2 y CaB3, los valores oscilaron cerca de los 30 g.

Cuadro 35. Análisis de varianza (ANVA) para peso de grano de sorgo, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	1160.32	232.06	5.39	0.001**
Repeticiones	8	437.71	54.71	1.27	0.286NS
Error	40	1722.07	43.05		
Total	53	3320.10			

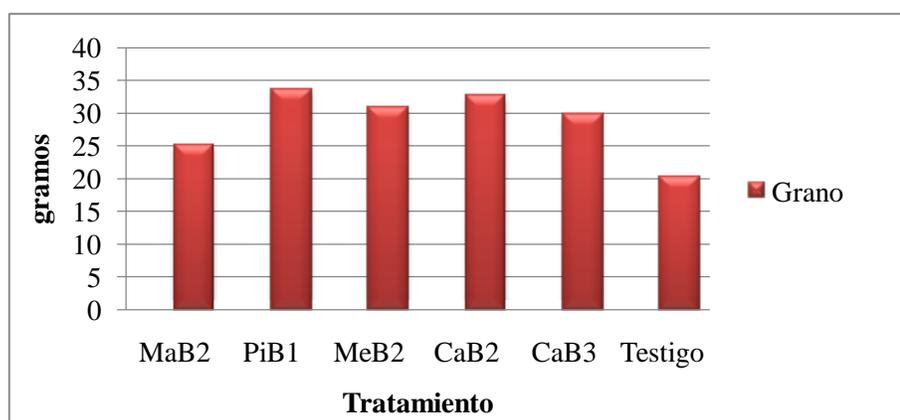


Figura 24. Peso de grano de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

En el Cuadro 36, se puede observar que los tratamientos no causaron efecto en el peso seco de raíz del sorgo. Sin embargo, lo anterior se manifiesta de forma gráfica en la Figura 25, donde se observa que al adicionar las bacterias MaB2 y CaB3 adelantaron en cinco por ciento, respectivamente, al testigo.

Cuadro 36. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de raíz de sorgo, en la etapa de producción, con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

F.V.	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	5	2114.4	422.9	0.72	0.613NS
Repeticiones	8	5183.0	647.9	1.10	0.382NS
Error	40	23507.4	587.7		
Total	53	30804.8			

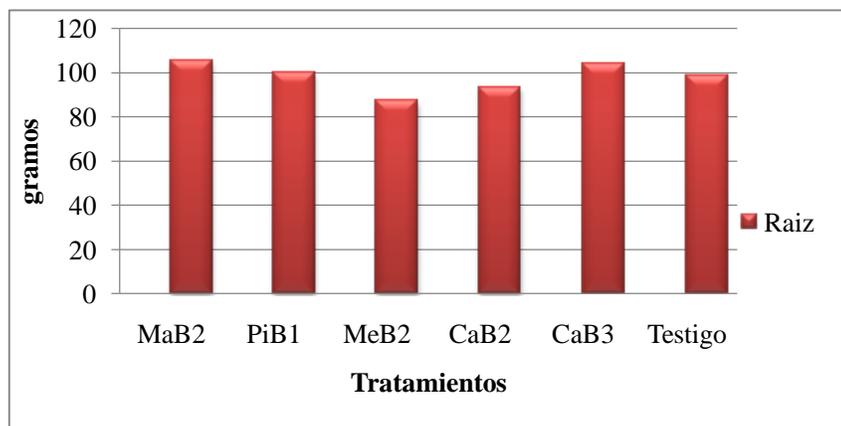


Figura 25. Peso seco de raíz de planta de sorgo, en la etapa de producción con la adición de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Como resumen de la etapa de producción del sorgo, se tiene que en la altura de planta y el peso de grano, la bacteria PiB1 produjo efecto positivo, mientras que en el resto de las variables medidas, la bacteria CaB3 provocó el efecto positivo.

Cuadro 37. Concentración de medias del cultivo de sorgo en la etapa de producción.

Tratamiento	APS	NHS	PTS	PGS	PSRS
1	131.55 a	7.55 b	184.32 ab	25.13 bc	105.55 a
2	137.22 a	8.00 ab	190.38 ab	33.59 a	100.00 a
3	128.55 ab	8.11 ab	170.30 b	30.82 ab	87.22 a
4	131.66 a	9.00 ab	189.48 ab	32.6311 ab	93.22 a
5	136.11 a	9.44a	216.38 a	29.73 ab	103.89 a
6	111 b	9.22 ab	154.75 b	20.18 c	98.44 a

## Estudio Microbiológico

Para el aislamiento de hongos se utilizó el medio Czapek-levadura selectivo para *Aspergillus* y *Penicillium*, el cual se incubó a 28° C por 2-5 días. Estos medios se utilizaron, ya que la literatura señala que estos microorganismos también presentan actividad fosfato solubilizadora. En el Cuadro 38 se observan los hongos aislados con capacidad solubilizadora.

Cuadro 38. Hongos aislados en agar Pikovskay y su capacidad solubilizadora.

Microorganismo	Fosfato solubilizadora
EnH1	Si
EnH2	Si
MeH1	Si
MeH2	Si
CeH1	Si
MiH1	Si
CaH1	Si
PiH1	Si
CeH2	Si

### Determinación de la Eficiencia Solubilizadora

En este caso el medio empleado fue el SMRS1, que contiene fosfato tricálcico que constituye la fuente inorgánica de fósforo, glucosa como fuente de carbono, púrpura de bromocresol como indicador de pH, sulfato de amonio y extracto de levadura como fuente de nitrógeno, cloruro de sodio y potasio para regular la presión osmótica y otros componentes como sulfato de magnesio y de hierro como cofactores enzimáticos, además de incrementar la tasa metabólica de los microorganismos.

Los microorganismos aislados y purificados fueron sembrados en placas de agar con medio SMRS1, el cual contiene púrpura de bromocresol, que permite observar el halo que se forma como producto de la solubilización del fosfato, cambiando de color morado a amarillo (Figura 26). Se determinó el diámetro del halo de solubilización así como también el diámetro de crecimiento a las 24, 48 y 72 horas.. Se realizó un promedio para determinar la eficiencia solubilizadora (E) mediante la ecuación:

$$E = \frac{\text{Diámetro de crecimiento}}{\text{Diámetro de solubilización}} (100)$$



Figura 26. EnH2 en placa con medio SMRS1 en el cual se observa el halo de solubilización como un viraje de color púrpura-amarillo, por la producción de ácidos orgánicos.

## Los Suelos

Tanto en el suelo donde se desarrolló el maíz, como el sorgo, no hay problemas de salinidad; es decir, los valores de conductividad eléctrica (CE), prácticamente son cero. El pH del suelo es básico y no hay fluctuación de los valores de esta característica del suelo, aún con la adición de las bacterias. El contenido de materia orgánica (MO), en el suelo donde se produjo el maíz, aumentó cuando se adicionaron las bacterias, en relación a donde no se aplicaron y los valores oscilaron de 1.24 hasta 1.85 por ciento. En el suelo donde se produjo el sorgo, los valores fluctuaron de 1.55 a 3.63 por ciento (Cuadros 39 y 40).

Cuadro 39. Características del suelo donde se cultivo maíz después del ciclo.

Cultivo	Tratamiento	CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	pH	MO (%)	Textura
Maíz	MaB2	0	8.1	1.240	Franca
	PiB1	0.1	8.1	1.545	
	MeB2	0	8.1	1.773	
	CaB2	0	8.1	1.621	
	CaB3	0	8.2	1.850	
	Testigo	0	8.2	0.44	

Cuadro 40. Características del suelo donde se cultivo sorgo después del ciclo.

Cultivo	Tratamientos	CE (mScm <sup>-1</sup> )	pH	MO (%)	Textura
Sorgo	MaB2	0	8.1	2.097	Franco- limosa
	PiB1	0	8.2	2.821	
	MeB2	0	8.1	3.635	
	CaB2	0	8.1	2.368	
	CaB3	0	8.1	1.554	
	Testigo	0	8.2	0.440	

A manera de discusión, se puede establecer que en el maíz, en la etapa de formación de la espiga, en las variables altura de planta, número de hojas, peso fresco y seco de tallo y fresco de raíz, la bacteria MeB2, la que se caracteriza por tener color blanco brillante y mide 1 mm de diámetro, causó efecto positivo; mientras que en el peso seco de raíz, fue la bacteria CaB2 la que produjo el efecto. Esta bacteria se caracteriza por ser de color blanco – lechoso y mide entre 2 y 3 mm de diámetro. Esta misma bacteria, en la etapa de producción, provocó efecto positivo en la altura de planta y el peso seco de raíz; mientras que la bacteria MeB2, lo efectuó en el número de hojas, el peso seco del tallo y el peso de la mazorca y el grano.

De forma idéntica a ambas etapas del maíz, en la etapa de formación de la espiga del sorgo, actuaron los mismos tipos de bacterias; sin embargo, en el sorgo en la etapa de producción, quienes causaron el efecto positivo en las variables medidas fueron: en la altura de planta, actuaron las bacterias PiB1 y CaB3; esta última bacteria también

actuó en el número de hojas, peso fresco de tallo y peso seco de raíz y la bacteria PiB1, lo efectuó en el peso de grano.

Lo anterior y los resultados obtenidos de las características del suelo medidas, concuerda con lo establecido por Bojórquez *et al.* (2010), al comentar que el uso de biofertilizantes, preparados con microorganismos aplicados al suelo, con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización química, su respuesta varía considerablemente, dependiendo del tipo de los microorganismos, tipo de suelo, especies de plantas y condiciones ambientales. Los microorganismos aplicados deben competir con una microflora nativa mejor adaptada a condiciones ambientales adversas, incluyendo falta de humedad en el suelo, alta salinidad (que no es el caso de estos suelos) y pH extremos, que pueden disminuir rápidamente la población de cualquier especie microbiana introducida. Ferraris y Couretot (2004), registraron incrementos significativos de rendimiento en suelos con baja disponibilidad de P, al aplicar biofertilizantes consistentes en bacterias solubilizadoras de fósforo y por esta razón altamente fijadores del nutrimento.

## **CONCLUSIÓN**

En el maíz, desde la siembra hasta la producción, la bacteria MeB2 causó efecto positivo; mientras que en el sorgo, desde la siembra hasta la formación de la espiga, lo hicieron las bacterias CaB2 y MeB2 y de esta etapa hasta la producción, lo efectuaron las bacterias PiB1 y CaB3.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre Medina, J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos: experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Libro Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 201 p.
- Aguirre Medina, J. F., Irizar Garza, M.B., Duran Pardo, A. Grajeda Cabrera, O.A., Peña del río, M.A. y Loredó Osti, C, Gutierrez Baeza, A. 2009. Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 13-17p
- Armenta, B.A.D., García, G.C.; Camacho, B.J.R, Apodaca, S.M.A.; Montoya, G.L.; Nava, P.E.; 2010, BIOFERTILIZANTES EN EL DESARROLLO AGRÍCOLA DE MÉXICO. Ra Ximhai, Vol. 6, Núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 51-56 Universidad Autónoma Indígena de México.
- Asociation California Fertilizar. 1995. Manual de fertilizantes para Horticultura, soil improvement committee . california fertillizer association. Ed. Limusa, S.A. de C.V. México D.F. pp. 93-94
- Dommergues, Y.R. 1978. Impact on soil management and plant growth. In: interactions between nonpathogenic soil microorganisms and plants. Y.R. Dommergues and S.V. kurpa (eds). Elsevier. The Netherlands. p 443- 458.
- FAO. 2001. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Los mercados mundiales de frutas y verduras orgánico. Roma Italia. <http://fao.org>
- Fernández L.A., P. Zalba, M.A., Gómez, M.A., Sagardoy.2005. Bacterias Solubilizadoras de Fosfato Inorgánico Aisladas de Los Suelos de la Región

- Sojera. Departamento de Agronomía. Universidad nacional del sur, 8000 Bahía Blanca. CI. SUELO (ARGENTINA) – 23 (1) 31-37, 2005
- Ferraris, G. y L. Couretot. 2004. Evaluación de la utilización de bacterias solubilizadoras de fósforo (*Pseudomonas* spp.) en trigo. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, IX (25): 37-39. Argentina.
- Financiera Rural.2009. Monografía el sorgo. **Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. México, D.F.**
- Font Quer, P. 1977. Diccionario de botánica. 6a. reimpresión. Editorial labor, S.A. Barcelona, España. 1244 p.
- García, R. y T. Bach. 2003. Efecto de la inoculación con *Pseudomonas* sobre el rendimiento de trigo. Informe técnico 324, INTA EEA Pergamino. 19 p., Argentina.
- Glick, B.R.1995.The enhancement of plant growth by free-living bacteria.can J.Microbiol. 41:109-117. Canada.
- Gomes. T.L., Gomez C.M.A. Schwentesius R. R. 1999. Desafíos de la agricultura Orgánica, Grupo mundi Prensa. 1°. Edición. 19-24. Pp.México.
- Grain (1996). The biotech battle over the golden crop, Seedling 13/3, Octubre, citado en: Greenpeace (2000). Centros de Diversidad. Revista internacional.
- Guerrero, A., 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ed. Mundi-prensa. Pp. 53
- Kapulnik, Y. and Y. Okon. 2002. plant growth promotion by rhizosphere bacteria. In: waisel, Y., A. Eshell and U. Kafkafi (eds.) plant roots. The hidden half. Thrid edition revised and expended. Marcel Dekker New York., p. 869-895. U.S.A.
- Kloepper, J., Lifshitz, R. and Zablotowicz, R. 1989. Free-living bacteria inocula for enhancing crop productivity. Trends Biotechnol 7: 39-44. U.S.A.

- León, A.N.G.2005. Efectividad Biológica de un biofertilizante en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Marschner, H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 889 p.
- Mazliak P. 1976. Fisiología vegetal nutrición y metabolismo. Ed. Omega S.A. Barcelona. España.
- Sacade, J.1981. Cereales. Ed. ACRIBIA, Zaragoza (España) pp. 88
- SAGARPA. 2005. Sistema Producto-Sorgo del Estado de Chiapas. Pp. 117
- Sistema de información agropecuario y pesca. 2010. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- Terry A.E., Leyva A., Hernández A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum* *Mill*) revista colombiana de biotecnología. Universidad Nacional de Colombia vol. VII N°2
- Teuscher, H., Adler R., Seaton, J.P. 1965. El suelo y su fertilidad. Compañía Editorial Continental, S.A. pp. 249
- Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Ediciones mundi-prensa Madrid, España.