UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
División de Ciencias Socioeconómicas
Departamento de Administración Agropecuaria

APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES A BASE DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITROGENO EN CULTIVOS BASICOS.

Por:

GABINO MORENO GONZALEZ

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Titulo de:

INGENIERO AGRONOMO ADMINISTRADOR

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

División de Ciencias Socioeconómicas
Departamento de Administración Agropecuaria

APLICACION DE BIOFERTILIZANTES A BASE DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITROGENO EN CULTIVOS BASICOS.

POR:

GABINO MORENO GONZALEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el titulo de: Ingeniero agrónomo administrador

ASESOR PRINCIPAL

DR. GUMERCINDO ALVAREZ MORENO

ASESOR

DR. ALFONSO REYES LOPEZ

SINODAL

DR. RUBEN LOPEZ CERVANTES

Universidad Autónoma Agraria "ANTONIO NARRO"

COORDINADOR DE LA DIVISION DE CIENCIAS SOCIOECONOMICAS

M.A.E TOMAS E. ALVARADO MARTINEZ

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2010

DIV. CS. SOCIOECONOMICAS COORDINACION

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

División de Ciencias Socioeconómicas
Departamento de Administración Agropecuaria

APLICACION DE BIOFERTILIZANTES A BASE DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITROGENO EN CULTIVOS BASICOS.

POR:

GABINO MORENO GONZALEZ

CON LA COLABORACION TECNICA DE:

TEC. MARIO A. FLORES HERNANDEZ

M.C. EVANGELINA RODRIGUEZ SOLIS

DR. ALFONSO REYES LOPEZ

ENCARGADO DEL PROYECTO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2010

DEDICATORIAS

Antes que nada agradezco a dios y la virgencita de Guadalupe por haberme dado la fuerza necesaria y la salud para concluir con esta meta tan personal e importante para mi, gracias por haber estado siempre conmigo.

AMIS PADRES
BALDEMAR MORENO TORRES
CARMEN GONZALEZ GALINDO

Gracias, por darme una maravillosa formación al forjarme con principios tan bellos, por su ternura y todo su amor, y por contagiarme de sus mayores fortalezas. Papa, Mama, nombres tan sencillos de pronunciar pero que siempre enaltecen de orgullo mi hablar por la fortuna de ser hijo suyo. Mama, tú me pusiste como ejemplo el ser “luchona” y decidida, y el pelear contra la adversidad que es condición dolorosa pero pasajera, me enseñaste a levantarme después de cada tropiezo. Papa, me enseñaste a ser perseverante y paciente, y a ponerme pasos fijos para alcanzar mis metas, a ver los problemas con la cabeza fría y como situaciones solucionables y no como dramas, y a guiarme por la premisa de que “toda disciplina tiene su recompensa”. Son los mejores papas del mundo, con todo mi amor y cariño.

A MIS HERMANAS SANDRA, VIKI Y ALEJANDRA Por haber estado conmigo a cada momento y por alentarme con sus palabras.

A TODOS MIS MAESTROS que con sus enseñanzas me transmitieron conocimientos nuevos desde el inicio de mi carrera hasta el final e hicieron posible este logro dándome las herramientas necesarias para enfrentarme al mundo.

A MIS COMPAÑEROS DE GENERACION gracias por haberme brindado su amistad incondicional en todo momento y en especial a ANA LILLIAN RESINOS DIAZ Y ZURIZADAY CORTES SANCHES por ser las mejores amigas que pude haber tenido.

A MI ALMA MATER por haberme abierto nuevos horizontes y dado la oportunidad de aprender algo nuevo y ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

Dr. ALFONSO REYES LOPEZ, quien me dio la oportunidad de realizar este trabajo, y por haberme brindado todo su apoyo durante el transcurso.

Dr. GUMERCINDO ALVAREZ MORENO, quien fue una persona que durante el desarrollo de este trabajo siempre me apoyo para que yo pudiera seguir adelante y sobretodo por el tiempo dedicado hasta el termino del trabajo "gracias".

DR. RUBEN LOPEZ CERVANTES, por el apoyo que me brindo para llevar acabo este trabajo "gracias".

AL TECNICO MARIO A. FLORES HERNANDEZ Y A LA MC. EVANGELINA RODRIGUEZ SOLIS, por todo su apoyo y colaboración en la revisión del material.

A la empresa **GBS GLOBAL,** por el apoyo que me brindaron económicamente y al **DR. MARIO CRUZ** por la información brindada.

INDICE DE CONTENIDO

PAG.

Dedicatorias…… i

Agradecimientos……iii

Introducción.…… 7

Objetivo..... 8

Hipótesis…… 8

Revisión de literatura……… 9

Importancia de los cereales en la alimentación humana……..... 9

Cultivo de maíz …….. 10

Cultivo de trigo ……. 11

Cultivo de avena ……..... 12

Cultivo de sorgo ……..… 14

Fertilizantes biológicos……..... 15

Propiedades de los biofertilizantes…… 16

Formas de aplicación y cantidades……..... 17

El nitrógeno…….. 17

Formas de nitrógeno aprovechadas por la planta…..... 18

Bacterias libres fijadoras de nitrógeno……..... 19

Efectos del uso de bacterias asimbioticas fijadoras de nitrógeno..... 19

Historia del genero Azospirillum…… 20

Clasificación taxonómica…….. 21

Interacción con la planta……..…..… 22

Algunos resultados obtenidos con la aplicación de Azospirillum……..... 23

Producción de fitohormonas por Azospirillum……..……..…… 24

Materiales y métodos……..…….…….....……..... 27

Localización del sitio experimental.……...…..….. 27

Diseño experimental……..……..……..... 27

Análisis de datos…… 28

Variables evaluadas…….……..... 28

Materiales……..... 30

Material experimental…….....…… 30

Material vegetativo……..……..... 30

Material biológico……..…… 30

Procedimientos……..... 32

Preparación del suelo y macetas……..……..... 32

Aplicación del biofertilizante……..……..…… 32

Manejo del cultivo ……..…….....…… 33

Resultados ……..... 34

Discusión……….…….....…… 43

Conclusión……..……..…..... 46

Literatura citada ……..…….....…….. 47

Apéndice…….…….....……..…… 50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Volumen de la producción nacional de los principales cereales……..…….. 10

Cuadro 2.Numero de bacterias utilizadas en maíz, trigo, avena y sorgo……..... 27

Cuadro 3. Variables evaluadas por cultivo……..……... 29

Cuadro 4. Características macroscópicas de las cepas aisladas de *A. brasilense*…….…….. 31

Cuadro 5. Resultados P > F…….……... 44

Cuadro 6. Resultados DMS……..…. 45

Cuadro 7. ANVA para AP en maíz durante la etapa de formación de espigas……..…... 50

Cuadro 8. ANVA para PFT en maíz durante la etapa de formación de espigas.....… 50

Cuadro 9. ANVA para PST en maíz durante la etapa de formación de espigas..…..... 50

Cuadro 10. ANVA para PST en maíz durante la etapa de producción……..…… 50

Cuadro 11. ANVA para AP en trigo durante la etapa de formación de espigas……..…….. 51

Cuadro 12. ANVA para PST en trigo durante la etapa de formación de espigas..……..... 51

Cuadro 13. ANVA para PST en avena durante la etapa de formación de espigas……..... 51

Cuadro 14. ANVA para AP en avena durante la etapa de producción…….....…..… 51

Cuadro 15. ANVA para PST en avena durante la etapa de producción……..…… 52

Cuadro 16. ANVA para AP en sorgo durante la etapa de formación de espigas…...……..... 52

Cuadro 17. ANVA para PFT en sorgo durante la etapa de formación de espigas..... 52

Cuadro 18. ANVA para PST en sorgo durante la etapa de formación de espigas…...…… 52

Cuadro 19. ANVA para PSR en sorgo durante la etapa de formación de espigas..... 53

Cuadro 20. ANVA para AP en sorgo durante la etapa de producción…….…… 53

Cuadro 21. ANVA para NH en sorgo durante la etapa de producción…….....….. 53

Cuadro 22. ANVA para PG en sorgo durante la etapa de producción……..... 53

Cuadro 23. CM para el cultivo de maíz durante etapa de formación de espigas..... 54

Cuadro 24. CM para el cultivo de maíz durante la etapa de producción……..….....… 54

Cuadro 25. CM para el cultivo de trigo durante etapa de formación de espigas…..…….. 55

Cuadro 26. CM para el cultivo de trigo durante la etapa de producción…….…… 55

Cuadro 27. CM para el cultivo de avena durante etapa de formación de espigas…..……..... 56

Cuadro 28. CM para el cultivo de avena durante la etapa de producción…….…… 56

Cuadro 29. CM para el cultivo de sorgo durante etapa de formación de espigas……..….. 57

Cuadro 30. CM para el cultivo de sorgo durante la etapa de producción……..…..……...…… 57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colonias típicas de *A. brasilense* color rojo escarlata en medio selectivo RC……..... 32

Figura 2. AP en maíz, trigo y sorgo durante la etapa de formación de espigas…..... 34

Figura 3. PFT en maíz durante la etapa de formación de espigas…….....… 35

Figura 4. PFT en sorgo durante la etapa de formación de espigas…….....… 36

Figura 5. PST en maíz durante la etapa de formación de espigas…….…… 36

Figura 6. PST en trigo durante la etapa de formación de espigas…….....…..... 37

Figura 7. PFT en avena durante la etapa de formación de espigas……..…… 38

Figura 8. PST y PSR en sorgo durante la etapa de formación de espigas……...…… 38

Figura 9. AP en avena y sorgo durante la etapa de producción……..…….…….....… 39

Figura 10. NH en sorgo durante la etapa de producción……. 40

Figura 11. PST en maíz durante la etapa de producción…….…….....… 40

Figura 12. PST en avena durante la etapa de producción……..……..…….…..... 41

Figura 13. PG en sorgo durante la etapa de producción…….……..… 42

RESUMEN

El uso de biofertilizantes hoy en día constituye un componente vital para el campo agrícola, ya que por medio de ellos se pueden obtener producciones elevadas con insumos de bajo costo, y sin daño alguno a los suelos y al medio ambiente. Estos productos se componen principalmente de microorganismos extraídos de la rizosfera del suelo o bien de las raíces de la planta, que al tener las condiciones adecuadas mejoran su efectividad.

Uno de estos microorganismos son las bacterias del genero *Azospirillum* que se encargan de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en formas asimilables para la planta, promoviendo también la producción de fitohormonas del crecimiento como las auxinas, citocininas, giberelinas e inhibidores. El cual es uno de los elementos de mayor importancia al formar parte del desarrollo de los cultivos, sus necesidades en la planta dependerán de los requerimientos del cultivo y de la cantidad que el suelo le proporcione a la planta.

El presente trabajo de investigación se realizo en un invernadero de la empresa GBS Global S. A. de C.V. ubicado en la carretera Saltillo-Monclova en el kilometro 27 de Ramos Arizpe, Coahuila, México. Con el objetivo de determinar los efectos de la inoculación de semillas de maíz, trigo, avena y sorgo con *Azospirillum brasilense* sobre las variables de crecimiento y producción, utilizando como material biológico cepas de *Azospirillum brasilense* aisladas y colectadas de diferentes lugares pertenecientes a la zona semiárida de Coahuila, las cuales se inocularon directamente a las semillas para su posterior evaluación. Para realizarla se utilizo un Diseño Experimental Bloques al Azar con cuatro tratamientos, un testigo y 15 repeticiones para cada tratamiento en cada uno de los cultivos establecidos. Desde la etapa de siembra hasta la formación de espigas se usaron seis repeticiones y nueve repeticiones para la

etapa de formación de espiga hasta producción en cada uno de los materiales empleados.

Los resultados fueron significativos sobre el crecimiento, producción de biomasa (Peso fresco y seco de tallo) al aplicar las cepas C0109Mz, C0109Cap y C0109Pi principalmente en los cultivos de maíz y sorgo. El mayor efecto en cuanto a peso de grano se obtuvo principalmente en el cultivo de sorgo al aplicar la C0109Mz y C0109Cap. Y de manera muy general, la cepa más notable y efectiva es la C0109Mz y que el cultivo que presento mejor respuesta fue el cultivo de sorgo.

Palabras claves: Biofertilizantes, *Azospirillum*, microorganismos, nitrógeno.

INTRODUCCION

Uno de los elementos mas valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica es el uso de biofertilizantes, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el medio ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad.

La sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido los biofertilizantes constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Mejía, 1995).

Entre los beneficios del uso de los microorganismos en la agricultura esta su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, la descomposición de residuos orgánicos, la desintoxicación con plaguicidas, la supresión de enfermedades en las plantas, el aporte de nutrientes al suelo y la producción de compuestos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002). La efectividad en el uso de microorganismos se logra cuando se dan las condiciones óptimas para metabolizar los sustratos, como disponibilidad de agua, oxigeno, pH, temperatura, así como la disponibilidad de fuentes energéticas.

En el grupo de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), *Azospirillum* sp. es considerado un sistema modelo para el estudio de la asociación entre bacterias y plantas que nodulan (Bashan y Holguín, 1996). Las bacterias pertenecientes a este genero son muy promisorias como inoculantes para la planta; pues tiene un numero de características interesantes que las hace adaptables para establecerse ellas mismas en el extremadamente complejo medio competitivo de la rizosfera (Burdman, Jurkevitch y Okon, 2000).

OBJETIVO

Determinar los efectos de la inoculación de semillas de maíz, trigo, avena y sorgo con *Azospirillum brasilense* sobre las variables de crecimiento y producción.

HIPOTESIS

La inoculación de semillas de cultivos básicos con *Azospirillum brasilense*, produce cambios en la planta, manifestándose ésta de diferentes maneras: mayor desarrollo radicular, mayor producción de materia vegetal y mayor producción de granos.

Al menos uno de los tratamientos de las semillas de cultivos con *Azospirillum brasilense* es más efectivo que el testigo para inducir mayor desarrollo radicular, mayor producción de materia vegetal y mayor producción de granos.

REVISION DE LITERATURA

Importancia de los Cereales en la Alimentación Humana

Históricamente, los cereales son los alimentos más importantes en la dieta humana y animal, debido a sus altas cualidades nutrimentales, ya que contienen hidratos de carbono, proteínas, sales minerales y vitaminas, nutrientes indispensables para el ser humano; además de bastante fibra. A diferencia de otros alimentos, los cereales se han constituido, desde siempre, en la base de la alimentación de sus pobladores.

El cultivo de cualquier cereal es relativamente sencillo y de bajo costo. Se caracterizan porque su semilla y su fruto son una misma cosa. Compuestos por la cascarilla que esta integrada por fibras de celulosa que contiene vitamina B1, el germen que contiene grasas insaturadas, y la almendra interna que se compone de almidón.

Cabe destacar que su riqueza alimenticia, además de proteínas, vitaminas y minerales, esta en su biodisponibilidad, y en sus muy variadas formas de prepararlos y de procesarlos.

Cuadro 1. VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE LOS PRINCIPALES CEREALES
1996 - 2006
Año Agrícola
Riego + Temporal
(Miles de Toneladas)

AÑO	MAIZ	TRIGO	SORGO	AVENA	ARROZ PALAY	CEBADA
1996	18,026.0	3,375.0	6,809.5	121.5	394.1	585.8
1997	17,656.3	3,656.6	5,711.6	96.5	469.5	470.7
1998	18,456.4	3,235.1	6,474.8	88.8	458.1	410.8
1999	17,708.2	3,020.9	5,720.3	133.1	326.5	454.1
2000	17,559.0	3,493.2	5,842.3	32.5	351.4	712.6
2001	20,134.3	3,275.5	6,566.5	88.9	226.6	761.6
2002	19,299.1	3,236.2	5,205.9	60.1	227.2	736.6
2003	20,703.1	2,715.8	6,759.1	94.1	273.3	1,081.6
2004	21,689.0	2,321.2	7,004.4	98.9	278.5	931.5
2005	19,341.1	3,015.2	5,524.4	127.1	291.1	760.7
2006	21,962.6	3,249.0	5,504.3	130.3	331.6	856.6
TMAC	**2.0**	**-0.4**	**-2.1**	**0.7**	**-1.7**	**3.9**
	65%	**11%**	**22%**	**4%**		

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. (SIACON-SIAP)

Cultivo de maíz

La producción de este cultivo se remonta a unos 700 años de antigüedad, cultivándose por las zonas de México y América central. Hoy en día ya se produce en el resto del país y en especial en toda Europa.

Características. El tallo es simple erecto, robusto y sin ramificaciones llegando alcanzar los 4 metros de altura. Sus hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas y alternas abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Presenta inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina

separada dentro de la misma planta. Mientras que sus raíces son fasciculadas presentando crecimiento de raíces secundarias o adventicias.

Exigencias edafoclimaticas. Su ciclo es de 120 a 190 días de la siembra a la cosecha. Necesita una temperaturas entre 20-30^{o}C, suelos profundos con gran contenido de materia orgánica que tengan pH entre 6 y 7. Sus necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo.

Usos. Sus usos son muy diversos, por ejemplo, el maíz de grano blanco se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero también se puede obtener aceite o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. Por otra parte, el maíz de grano amarillo también se utiliza para consumo humano, sin embargo, se tiene destinado al consumo pecuario.

Producción. Entre los principales estados productores de maíz blanco se encuentran Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Chiapas, Guerrero, México, Guanajuato, Veracruz y Puebla.

Cultivo de trigo

El trigo tiene su rigen en Asia central y pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. compactum*. Además es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz se producen en muchos países.

Características. Su tallo es hueco con 6 nudos, con hojas cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta. La inflorescencia esta compuesta de un tallo central con entrenudos cortos llamado raquis, los cuales presentan nudos

con espiguillas formadas por flores. Y sus raíces llegan alcanzar hasta más de un metro, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25cm del suelo.

Exigencias edafoclimaticas. El ciclo de este cultivo se distingue por tres periodos: el vegetativo, que comprende desde la siembra hasta el comienzo del encañado; el de reproducción, que comprende desde el encañado hasta la terminación del espigado y el de maduración, que comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección. Necesita una temperatura de entre 10-24ºC y suelos profundos, fértiles, y libre de inundación con pH de 6,0 y 7,5.

Usos. Un gran porcentaje de la producción total es utilizada para el consumo humano en la elaboración de pan, galletas, tortas y pastas, otra parte es destinada a la alimentación animal y el resto se utiliza en la industria o como simiente; también se utiliza para la preparación de adictivos para la preparación de cervezas y otros licores.

Producción. Entre los principales estados productores a nivel nacional se encuentra Sonora, Baja California, Guanajuato, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Tlaxcala, México, Oaxaca, Puebla y Zacatecas.

Cultivo de avena

Este cultivo tiene su origen en Asia central, perteneciente a la familia de las gramíneas. Se encuentra ocupando el quinto lugar en la producción mundial de cereales, además de ser el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. La razón por la cual se adapta mejor a estos climas, es porque sus necesidades hídricas son las más elevadas, en comparación con todos los cereales de invierno.

Características. Posee un sistema radicular potente con raíces abundantes y profundas. Los tallos son gruesos y rectos con varios entrenudos que terminan en gruesos nudos, con una altura que varia de medio metro hasta metro y medio. Las hojas son planas y alargadas de un color verde más o menos oscuro. La inflorescencia es en panícula, con un racimo de espiguillas de dos o tres flores.

Exigencias edafoclimaticas. Es una planta muy sensible a las altas temperaturas sobre todo durante la etapa de floración y la formación del grano. También es muy exigente en agua es por ello que se adapta mejor a los climas frescos y húmedos. En cuanto a suelo, es poco exigente porque se adapta a terrenos muy diversos pero es preferible suelos profundos y arcillo arenosos con pH de 5 y 7, por lo que es más tolerante a suelos ácidos.

Usos. La avena muestra la más alta concentración de proteínas en relación a los granos que más se producen en el mundo. Esto aunado a su excelente contenido de aminoácidos la convierte en un alimento de muy alto valor nutritivo, el grano se emplea principalmente en la alimentación de ganado y en menor escala para consumo humano, en productos dietéticos, triturada o molida y para preparar diversos platos. También se mezcla con harina de otros cereales en la fabricación de pan, así como en la fabricación de alcohol y bebidas.

Producción. Entre los principales estados productores a nivel nacional se encuentran el Estado de México, Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas.

Cultivo de sorgo

El sorgo quizás sea originario de África Central (Etiopía o Sudán), pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad. En nuestro país, el sorgo está considerado como un grano forrajero por excelencia, por su aportación al fomento y desarrollo de especies pecuarias proveedoras de alimentos básicos y de bajo precio relativo para la población, como las carnes de ave y cerdo. A su vez y de manera progresiva, la industria de alimentos balanceados se ha convertido en una actividad importante para la avicultura y la porcicultura.

Características. Su tallo puede alcanzar una altura de 1 a 2m, el mismo es compacto, esponjoso, con nudos engrosados que pueden originar macollos. Las hojas son alternas, apuestas, de forma lanceolada. Su sistema radicular puede alcanzar 2m de profundidad además se divide en tres tipos: laterales, adventicias y aéreas.

Exigencias edafoclimaticas. Se adapta muy bien al crecimiento en áreas áridas o semiáridas cálidas, ya que soporta la sequía durante un periodo largo y reemprende su crecimiento cuando cesa. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13ºC y durante la etapa de floración requiere una mínima de 16^{o}C. Temperaturas muy altas durante los días posteriores reducen el peso final del grano.

Producción. Los principales estados productores a nivel nacional se encuentran Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa, Michoacán y Nayarit.

Fertilizantes Biológicos

Un biofertilizante es un producto biológico que contiene microorganismos benéficos extraídos principalmente de la rizosfera del suelo o bien del interior de raíces, que al ser inoculados en el suelo o semilla, favorece los procesos de nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas incrementando la disponibilidad, toma, transporte y absorción de macro y micro-nutrientes.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) define a un inoculante biológico como un producto elaborado con una o más cepas de microorganismos benéficos, que al ser aplicado al suelo o a las semillas promueven el crecimiento vegetal favoreciendo la asimilación y aprovechamiento de varios nutrientes. Incluye entre otros los productos elaborados con micorrizas, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, los géneros *Rhizobium* sp*., Bradyrhizobium* sp*., Azotobacter* sp*., Azospirillum* sp*., Frankia* sp., *Beijerinckia* sp. y bacterias fosfato solubilizadoras (ICA, 2004).

Autores como Vassilev *et al.* (2001), consideran que un inoculante biológico es una solución con microorganismos que pueden sustituir parcial o totalmente la fertilización química, sin causar daño alguno al medio ambiente.

La importancia de estos biopreparados según Hernández *et al. (1994) y* Martínez *et al. (1995)*, radica en la capacidad que tienen los microorganismos para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo uso de recursos no renovables; además, tiene las ventajas de que los procesos microbianos son rápidos y los biopreparados pueden aplicarse para solucionar problemas locales específicos, al mismo tiempo que se reducen los problemas económicos y ecológicos que se derivan de la aplicación indiscriminada de los fertilizantes industriales.

Propiedades de los biofertilizantes

La aplicación de biofertilizantes aumenta el número y la diversidad microbiana, acelerando de esa forma los procesos microbianos, aumentando considerablemente la cantidad de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas, para acelerar los procesos de desarrollo y elevar los rendimientos. Además de los siguientes beneficios:

- Son económicos y fáciles de aplicar.
- Estimula la vida del suelo, mejoran la estructura del suelo y su permeabilidad.
- Fortalece el metabolismo de la planta.
- Aportan nutrientes inorgánicos y compuestos orgánicos benéficos, corrigiendo deficiencias en micro-nutrientes.
- Crean una barrera protectora en la raíz contra hongos y bacterias patógenas.
- Producen fitohormonas, como el acido indolacetico y las citoquininas capaces de acelerar y potenciar el crecimiento en plantas.

Desde la perspectiva del rendimiento, los biofertilizantes producen sustancias muy activas que, al interactuar en su conjunto con el metabolismo vegetal, provocan diferentes efectos benéficos:

- Incremento en el número de plántulas que emergen.
- Acortamiento del ciclo de los cultivos entre 7 y 10 días.
- Aumento en los procesos de floración y fructificación.
- Incremento del rendimiento entre 5 y 20% y obtención de frutos de mayor calidad comercial (aspecto y tamaño).

Formas de aplicación y cantidades

Al llevar a cabo la inoculación, el producto puede aplicarse directamente a la semilla, al suelo o bien al material vegetativo. En cultivos anuales los beneficios de la simbiosis se expresan en intervalos de 20-30 días después de biofertilizar, pero en cultivos perennes en viveros hasta después de tres meses, como por ejemplo, el cacao y el cafeto (Aguirre-Medina 2006). La forma mas precisa de aplicar estos productos es adhiriéndolo a las semillas.

Estos deben aplicarse al suelo cuando haya ausencia de algún nutriente especifico, cuando existan poblaciones altas o bajas de microorganismos que presenten baja capacidad de colonización o baja eficiencia como inoculante, cuando no existan cepas nativas del microorganismo, o bien cuando su población presente una seria reducción por procesos de degradación del suelo (Salamanca, 2002).

El Nitrógeno

El nitrógeno es un nutrimento esencial y de vital importancia para el crecimiento de plantas, dado que es un constituyente de todas las proteínas y por consiguiente, de todos los protoplasmas. Se absorbe generalmente por las plantas como iones nitrato o amonio, aunque el nitrato es rápidamente reducido, probablemente a amonio, por medio de una enzima que contiene molibdeno. Los iones amonio y parte de los carbohidratos sintetizados en las hojas son convertidos en aminoácidos (Rusell, 1968).

El nitrógeno es un elemento mayor con una dinámica muy grande y que forma parte del desarrollo de las plantas. La necesidad de este elemento depende de los requerimientos del cultivo y la cantidad que el suelo proporcione a la planta,

que por lo general no es suficiente, debido a gran cantidad que las plantas absorben y lo que se lixivia en el suelo (Bear, 1958).

Formas de nitrógeno aprovechadas por la planta

Las plantas lo pueden emplear en sus procesos sintéticos tomándolo en diferentes grados de oxidación o de reducción, por ejemplo, como ácido nitroso, como ácido hiponitroso, como amoniaco o hidrolamina y hasta como elemento libre, en el caso de las plantas inferiores (Prianishnikov, 1954).

El nitrógeno es el elemento que se encuentra relacionado con la fertilidad del suelo, el clima, y la variedad, principalmente durante la época de crecimiento del cultivo, (Sika y Grez, 1973).

Los caminos principales por los que el nitrógeno es convertido en formas aprovechables para las plantas superiores son las siguientes:

- Fijación por rhizobia y otros microorganismos que viven simbióticamente en las raíces de las leguminosas.
- Fijación por los microorganismos que viven libremente en el suelo y quizá por organismos que viven en las hojas de las plantas tropicales.
- Fijación, como algunos de los óxidos de nitrógeno, por descargas eléctricas atmosféricas.
- Fijación como aminoácidos (NH_3), NO_3^{-1}, o por alguno de los diferentes procesos industriales para la fabricación de los fertilizantes nitrogenados sintéticos (Tisdale y Nelson, 1989).

Bacterias Libres Fijadoras de Nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son organismos multicelulares que a través de un específico y único mecanismo que posee la enzima nitrogenasa, convierten el nitrógeno atmosférico en formas de amina y/o amonio para que la planta pueda aprovecharlo. Además colonizan las raíces de las plantas produciendo fitohormonas de crecimiento vegetal como las citocininas (fomentan y favorecen el crecimiento de las yemas laterales), auxinas (sustancias promotoras de crecimiento vegetal), esto trae consigo un aumento en la captación de nutrientes.

Los géneros de mayor importancia por lo innumerables estudios realizados son Azotobacter y Azospirillum. Los cuales son de vida libre y se encuentran ocupando los espacios entre las células de la raíz. Se encuentran con mayor abundancia en suelos con pH cercanos a la neutralidad, pero cuando el pH es menor de 5 se les encuentra en forma esporádica y en suelos con pH de 4.5 no se logran los aislamientos (Sylvia, 1989).

Efectos del uso de bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno

- Producen fitohormonas como el ácido indolacètico y las citoquininas, capaces de acelerar y potenciar el crecimiento de las plantas.
- Pueden sustituir al nitrógeno químico (Urea, amoníaco...) sin mermar la producción y a un menor costo.
- Incrementan la velocidad de germinación de semillas.
- Reducen el uso de la fertilización nitrogenada convencional.
- Aumentan la tolerancia al estrés hídrico y al ataque de plagas y enfermedades.
- Crea una barrera protectora contra hongos y bacterias patógenas en la raíz.

• Al permanecer vivas durante años y reproducirse en el suelo, no sólo no lo degradan sino que contribuyen a su enriquecimiento en nitrógeno y a su regeneración de forma ecológica y gradual.
• Producen enzimas que solubilizan los fosfatos y los hacen más accesibles a la planta, así como factores que facilitan la absorción de oligoelementos.

Historia del género Azospirillum

Las primeras especies del género *azospirillum* se aislaron de un suelo pobre en nitrógeno en Holanda por *Beijerinck* en 1925. Inicialmente se le llamo *Spirillum lipoferum* (Bashan y Levanony, 1990). Este género esta formado por bacterias diazotroficas Gram negativas y su nombre se deriva de los términos “azo” que significa capacidad para fijar nitrógeno y “spirillum” que significa movimientos espirales de la célula (Cosca Turca, 1995 y Bastelaere, 1996).

Este género de bacterias se encontró específicamente en cereales, las cuales viven en los suelos, en las raíces y dentro de las mismas proporcionando el nitrógeno necesario a la planta para su buen crecimiento y desarrollo. Al mismo tiempo reduce el uso de fertilizantes químicos y aumenta la producción de grano o rendimiento (Day y Döbereiner, 1976).

Actualmente son reconocidas seis especies del género *Azospirillum*. De las cuales las primeras dos descritas fueron *A. lipoferum y A. brasilense*, siendo éstas las mas ampliamente estudiadas. Posteriormente fueron descritas *A. amazonense, A. halopraeferans, A. irakense y A. largimobile (*Sly, 1999*)*, pocos años antes ésta especie fue considerada como un sinónimo de la especie *A. lipoferum*. Recientemente, en honor de quien impulsara los estudios con este género bacteriano y descubriera otros diazótrofos, se ha propuesto que reciba el nombre de *A. doebereinerae (*Hartmann, 2000).

Algunas características que presenta Azospirillum brasilense son las siguientes: es una bacteria microaerofilica promotora del crecimiento, que tiene un metabolismo oxidativo, es decir, tratara de llegar a ambientes donde tanto los nutrimentos como la concentración de oxigeno le permita mantener niveles de energía optima y fijación de nitrógeno (Alexandre *et al*. 2000). Además presenta pleomorfismo, por lo que cambia sus actividades metabólicas en respuesta a los cambios que haya en el ambiente.

Clasificación taxonómica

La clasificación como género de Azospirillum fue hecha por Tarrand et al (1978), para sustituir el antiguo nombre Spirillum y su división en las especies A. lipoferum, A. brasilense, como aparece en el Manual de Bergey (1984).

Según el Manual de Bergey, Azospirillum se clasifica:

CATEGORIA	CLASIFICACION
Reino	Procaryote
División	Gracilicute
Clase	Scotobactería
Familia	No existe
Género	Azospirillum
Especie	sp.
	Lipoferum
	brasilenses
	amazonense
	haloproferenses
	irakenses

Interacción con la planta

Probablemente, una vez que las células de *Azospirillum* se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de las raíces, debido a sus características quimio y aerotácticas, se iniciará el establecimiento de la asociación.

Steenhoudt y Vanderleyden (2000) consideran que cuando *Azospirillum* se encuentra en interacción con las raíces de las plantas se deben tener en cuenta cuatro aspectos importantes:

- *El hábitat natural.* Las especies de *Azospirillum* mas allá de ser bacterias de rizosfera de plantas o cultivos económicamente importantes, son habitantes naturales de plantas y en ocasiones pueden promover su crecimiento (Holguín *et al.* 1999). Se han aislado en numerosos cultivos alimenticios, cereales y hierbas silvestres, de regiones tropicales, subtropicales y templadas en todo el mundo (Eckert *et al.* 2001).

- *La interacción con la raíz de la planta.* La unión de *Azospirillum* a superficies es una parte esencial del ciclo de vida de la bacteria, estas pueden unirse a partículas del suelo, superficies de la raíz, así como a superficies inertes y al poliestireno hidrofobico (Castellanos *et al.* 2000). Los factores que controlan una colonización exitosa no son bien conocidos pero se ha sugerido que tanto el flagelo polar, la superficie de los polisacáridos y las proteínas tipo lectinas están involucradas en el proceso (Katupitiya *et al.* 1995). La capacidad de movimiento es una propiedad taxonómica del genero Azospirillum, lo cual permite trasladarse del sitio de inoculación a la raíz, lo cual es esencial para que la colonización ocurra, y esta depende tanto de la detección de los exudados de la raíz en un ambiente de competición con la microflora, así como la cualidad para detectar y responder tácticamente a parámetros

físicos que están involucrados en la generación de energía, como son la luz, el oxigeno y sustratos oxidables (Alexandre *et al.* 2000).

- *La fijación de nitrógeno*, representa una de las mas importantes vías de acceso de nitrógeno a los seres vivos, y en la cual interviene el complejo de enzimas nitrogenasas, que incluyen a la dinitrogenasa (*proteína fierro-molibdeno y productos del gen nifDK*). Este complejo es muy sensible al oxigeno, inactivándose irreversiblemente a altas concentraciones de O_2 (Kathleen y Vanderlayden, 2000). La capacidad de fijar N_2 fue el primer mecanismo propuesto para explicar el aumento de tamaño de las plantas, cuando estas eran inoculadas con *Azospirillum*, sin embargo estudios posteriores demostraron que la contribución de fijación de nitrógeno por la bacteria a la planta estaba en un rango de 5-18% (Soto y Baca, 2001). En algunas variedades de caña de azúcar la contribución de nitrógeno fijado por la bacteria al nitrógeno total adquirido por la planta esta entre el 40-80%, en otros cultivos como sorgo, maíz y arroz el rango de fijación de nitrógeno oscila entre 0-30% (Eckert *et al.* 2001).

- *La biosíntesis de hormonas de crecimiento.* La biosíntesis de índoles, en su mayoría acido indolacetico (AIA), y giberelinas juegan un papel importante para promover el crecimiento de las plantas dado por *Azospirillum (Bashan et al., 2004*).

Algunos resultados obtenidos con la aplicación de Azospirillum

Se ha puesto especial interés a la actividad simbiótica de microorganismos del suelo, por su capacidad de promover el crecimiento y la producción de los cultivos, como agentes de fertilización biológica. La respuesta a inoculantes basados en *Azospirillum brasilense* ha sido exitosa permitiendo incrementos mayores al 30% en la producción de grano y materia seca de maíz, frijol, trigo,

garbanzo, pastos, cítricos y haba (O´Hara *et al.* 1981; Okon y Labandera-Gonzalez, 1994; Bashan *et al.* 1996; Fallik y Okon, 1996; Burdman *et al*. 1997; Hamaoui *et al.* 2001; Dobbelaere *et al.* 2002; Holguín *et al.* 2003; Aguirre-Medina, 2004). El uso de biofertilizantes también ha permitido reducir la aplicación de fertilizantes químicos nitrogenados en diversos cultivos (Martínez-Medina, 2004).

En el norte de Tamaulipas, México durante el periodo 2002-2004 se realizó un estudio donde se evaluaron tres cepas nativas de *Azospirillum brasilense* (CBG-497, CBG-180 y CBG-181), para determinar su capacidad de producir biomasa y grano de sorgo en condiciones de invernadero y campo. En invernadero, las plantas inoculadas con CBG-497 incrementaron significativamente la producción de biomasa en un (50%), en comparación con las del testigo no inoculado, mientras que las CBG-180 y CBG-181 incrementaron la biomasa en 12 y 22% respectivamente en el cultivo de sorgo. En campo los tratamientos inoculados tuvieron un rendimiento promedio de grano en sorgo de 13 y 17% mayor que el testigo no inoculado en 2002-2003 y 2003-2004, respectivamente; y las cepas CBG-180 y CBG-181 incrementaron el rendimiento en mayor proporción respecto al testigo (13 a 27%), en comparación con CBG-497 (10% a 12%), (Díaz-Franco y Mendoza-Herrera, 2004).

Producción de fitohormonas por Azospirillum

Lira (1994), menciona que los reguladores de las plantas se definen como compuestos orgánicos diferentes a los nutrientes que en pequeñas cantidades fomentan, inhiben, o modifican de alguna forma el proceso fisiológico vegetal.

Estos compuestos desempeñan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Para un desarrollo longitudinal, los tejidos deben de recibir sustancias de crecimiento. En la actualidad, se reconocen cuatro tipos de

hormonas de las plantas: auxinas, giberelinas, citocininas e inhibidores (Weaver, 1990).

El *Azospirillum* produce fitohormonas (acido indolacetico y citoquininas) capaces de acelerar y potenciar el crecimiento de las plantas; promueve la formación de sideróforos, sustancias antifúngicas y genera enzimas que favorecen la solubilizacion de fosfatos y oligoelementos facilitando la asimilación de estos compuestos.

Las “auxinas” son compuestos caracterizados por su capacidad para inducir la extensión de las células de los brotes, son hormonas cuya acción fisiológica básica es sobre el mensaje genético contenido en el ADN, determinando que la planta sintetice proteínas y enzimas nuevas cambiando su química y fisiología (Rojas y Vázquez, 1995).

La producción de auxina se efectúa en el ápice del brote y en particular en las hojas jóvenes, proporciona un medio para la elongación de entrenudos y en cantidades muy pequeñas, el ácido indolacético estimula el crecimiento, y ésta se desplaza hacia abajo (geotropismo), a la zona de elongación y ahí produce una respuesta (crecimiento), se le considera como un mensajero químico u hormona, (Ray, 1985).

Otros compuestos que en cantidades muy pequeñas, aceleran el crecimiento del tallo, son las “giberelinas”. Un papel de la giberelina en la planta es el de alterar el balance entre crecimiento del entrenudo y el desarrollo de las hojas, otro efecto es el de inducir la síntesis de enzimas como la amilasa y proteasa durante la germinación de semillas de cereales como la cebada y el trigo (Ray, 1985). Las giberelinas son compuestos que estimulan la división o la prolongación celular o ambas cosas, éstas pueden provocar un aumento sorprendente en la prolongación de los brotes de muchas especies, tienen

como acción básica el modificar el mensaje genético que lleva el ARN (Rojas y Vázquez, 1995).

Las “citocininas” son hormonas vegetales naturales que estimulan la división celular en tejidos no meristemáticos. Su característica más importante es que estimulan las divisiones celulares en plantas y retrasan el envejecimiento. Las citocininas influyen en múltiples procesos bioquímicos, como la estimulación de la biosíntesis de los ácidos nucleídos y de diferentes proteínas.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

El presente trabajo se realizó en el invernadero de la empresa GBS Global S.A. de C.V. localizado en la carretera Saltillo-Monclova en el kilometro 27, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México. El invernadero contó con un control de temperatura de 27 grados Celsius, la humedad relativa de 50 % y libre de plagas y enfermedades, el manejo fitosanitario del cultivo fue de acuerdo al manual del manejo del cultivo de la UAAAN.

Diseño Experimental

El experimento se estableció de acuerdo al Diseño Experimental Bloques al Azar con cuatro tratamientos, un testigo y 15 repeticiones para cada tratamiento en cada uno de los cultivos establecidos. En maíz desde la siembra hasta la formación de espigas se usaron seis repeticiones y nueve repeticiones para la etapa de formación de espiga hasta producción. De igual forma, el procedimiento empleado fue el mismo para trigo, avena y sorgo.

Cuadro 2. Numero de bacterias utilizadas en Maíz, Trigo, Avena y Sorgo.

Tratamiento	Bacteria	UFC
1	C0109Mz	$1x10^8$
2	C0109Cap	$1x10^8$
3	C0109Pi	$1x10^8$
4	C0109Esp1	$1x10^8$
5	Testigo	0

Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos

El análisis estadístico consistió en realizar un análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias para cada una de los parámetros evaluados, por medio del “Paquete de Diseños Experimentales de la Facultad de Agronomía UANL versión 2.5”.

Variables Evaluadas

Los parámetros que se evaluaron fueron aspectos como Altura de Planta (AP), Número de Hojas (NH), Número de Tallos (NT), Peso Fresco de Tallo (PFT), Número de Espigas (NE), Peso Fresco de Raíz (PFR), Peso Seco de Tallo (PST), y Peso Seco de Raíz (PSR).

Altura de planta. Para conocer este parámetro se utilizo una cinta métrica, tomando a la planta desde su base hasta la punta de su última hoja en formación.

Numero de hojas. El conteo se realizo en los cultivos de maíz y sorgo tomándolas con cuidado para evitar algún tipo de daño.

Numero de tallos y espigas. Esta variable fue tomada en los cultivos de trigo y avena tomándolos cuidadosamente para evitar algún daño, trayendo como consecuencia perdida de grano.

Peso fresco de tallo y raíz. El procedimiento que se llevo a cabo para conocer estas variables fue el siguiente: se inicio lavando completamente la raíz para quitarle el exceso de tierra, después con una navaja separamos el tallo de la planta para iniciar el pesado.

Peso seco de tallo y raíz. De igual forma para estas variables el procedimiento fue el mismo que en peso fresco solo que para conocerlas, se dejaron ambas muestras en una estufa de aire caliente a una temperatura de 60ºC.

Peso de mazorca y grano. Para conocer estos datos, cuidadosamente se tomo la planta para la extracción de granos y de esa forma evitar perdidas de grano.

Cuadro 3. Variables evaluadas por cultivo

ETAPA DE SIEMBRA HASTA FORMACION DE ESPIGAS			
Maíz	**Trigo**	**Avena**	**Sorgo**
Altura de planta	Altura de planta	Altura de planta	Altura de planta
Numero de hojas	Numero de tallos	Numero de tallos	Numero de hojas
Peso fresco de tallo	Numero de espigas	Numero de espigas	Peso fresco de tallo
Peso fresco de raíz	Peso fresco de tallo	Peso fresco de tallo	Peso fresco de raíz
Peso seco de tallo	Peso fresco de raíz	Peso fresco de raíz	Peso seco de tallo
Peso seco de raíz	Peso seco de tallo	Peso seco de tallo	Peso seco de raíz
	Peso seco de raíz	Peso seco de raíz	
ETAPA DE FORMACION DE ESPIGAS HASTA PRODUCCION			
Maíz	**Trigo**	**Avena**	**Sorgo**
Altura de planta	Altura de planta	Altura de planta	Altura de planta
Numero de hojas	Numero de tallos	Numero de tallos	Numero de hojas
Peso seco de tallo	Numero de espigas	Numero de espigas	Peso seco de tallo
Peso seco de raíz	Peso seco de tallo	Peso seco de tallo	Peso seco de raíz
Peso de grano	Peso seco de raíz	Peso seco de raíz	Peso de grano
Peso de mazorca	Peso de grano	Peso de grano	

Materiales

Material experimental

El material utilizado en el experimento fue el siguiente:

- Palas y carretilla para recoger y llenar cada una de las macetas.
- Macetas de 4 Kg c/u donde posteriormente se coloco el sustrato para su siembra.
- Botes de plástico de un litro que sirvieron para la preparación de los tratamientos e inoculación de cada uno de los materiales empleados.
- Balanza analítica digital (OHAUS) modelo TS120 expresada en gramos, la cual fue usada para pesar cada una de las muestras obtenidas.
- Estufa de aire caliente marca MAPSA modelo HDP334.

Material vegetativo

Como material vegetativo se usaron semillas de maíz, trigo, avena y sorgo. Los cuales fueron proporcionados por el encargado del proyecto. Por lo anterior la información referente a las variedades y especificaciones técnicas representan información no disponible por ahora para la comunidad en general, para datos adicionales dirijirse a la empresa GBS Global S.A

Material biológico

Las cepas usadas en el experimento, se aislaron de muestras colectadas de suelos de diferentes lugares pertenecientes a la zona semiárida de Coahuila, aledaños a la ciudad de Saltillo, los cuales a continuación se enlistan:

- Sierra H
- Sierra Arteaga
- Puente Cuates
- Las Esperanzas

El muestreo se llevó a cabo en plantas que presentaran un buen crecimiento principalmente de las especies de cedro, mezquite, manzano, pino, encino, mimbre y capulin. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0- 15 cm, mantenidas en bolsas de plástico en una hielera y llevadas al laboratorio.

Para el aislamiento de cepas de *Azospirillum* se utilizó como medio selectivo el Rojo Congo, observándose crecimiento de colonias color rojo escarlata. En este medio pueden encontrarse colonias mutantes de *Azospirillum* de color blanco debido a la incapacidad que pueden presentar algunas cepas para producir polisacáridos no identificados. En todas las muestras se presentó crecimiento, no contable por el título de la dilución, mientras tanto se seleccionaron del medio las muestras de: pino, encino, manzano, mimbre y cedro. La morfología que presentaron las cepas aisladas fue la siguiente:

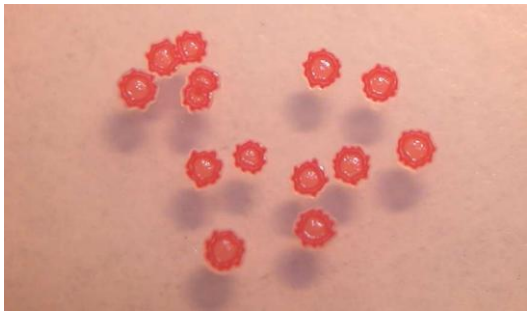
Macroscópica. Colonias color rojo escarlata, pequeñas, lisas, consistencia dura y parcialmente inmersas en el agar y otras son convexas de borde entero y consistencia suave.

Cuadro 4. Características macroscópicas de las cepas aisladas de *A. brasilense*

Cepa	Morfologia	Tinción
C0109Mz	Bacilos y presencia de quistes	Gram (-)
C0109Cap	Bacilo	Gram (-)
C0109Pi	Bacilo	Gram (-)
C0109Esp1	Bacilo	Gram (-)

Fuente: Dr. Mario Cruz

Figura 1. Colonias típicas de *Azospirillum brasilense* color rojo escarlata en medio selectivo RC.



Fuente: www.inta.gob

Procedimientos

Preparación del suelo y macetas

El proceso llevado a cabo para la preparación del suelo o sustrato fue muy sencillo, ya que por medio de una revolvedora se iba incorporando cantidades iguales de humus de lombriz y suelo del lugar posteriormente esterilizado, dejándola el tiempo necesario para una completa homogenización. Después de que se tenía una buena cantidad de sustrato se procedió con el llenado de macetas, procurando colocar la misma cantidad de suelo en cada una de ellas, aproximadamente 4Kg cada una.

Aplicación del biofertilizante

Antes de su aplicación se comenzó con la preparación del producto, la cual consistió en aforar los 100ml del biofertilizante en botes de plástico de un litro con agua de la llave, mezclando perfectamente hasta dejar una mezcla homogénea para asegurar el éxito de la inoculación. Después se procedió a seleccionar las mejores semillas de cada material en base a su tamaño y color principalmente.

En maíz y sorgo se usaron 30 semillas por tratamiento colocando 2 semillas por maceta mientras que en trigo y avena se usaron 45 semillas por tratamiento colocando 3 semillas por maceta. Después las semillas se introdujeron en la solución respectiva a cada tratamiento dejándola reposar para que el producto cubra bien la superficie de la semilla para luego sacarla y dejarla al aire libre por 2-3 minutos antes de iniciar la siembra.

Manejo del cultivo

Después de la siembra el manejo que se le dio a los cultivos fue el siguiente:

- En las primeras etapas el riego es importantísimo ya que de él depende la germinación de la semilla, es por eso que en las primeras dos semanas el suelo se mantuvo siempre a capacidad de campo después se realizaron conforme a las necesidades que presento cada variedad a lo largo de su ciclo.
- Se realizo desahíjes cuando las plántulas ya presentaban un tamaño aproximado de 25-30cm, eliminando aquellas que mostraban un menor tamaño y dejando una sola plántula por maceta. Posteriormente se realizaron escardas para remover y soltar un poco el suelo.
- La única plaga que se presento fue el pulgón verde de los cereales. Teniendo mayor incidencia en el cultivo de maíz durante. Para su control se utilizaron productos totalmente orgánicos proporcionados por la misma empresa, como: Predator mix y Pestilout.
- La cosecha se realizó manualmente en fresco y en seco para cada uno de los cultivos establecidos.

RESULTADOS

Etapa de Formación de Espigas

Altura de Planta

Para esta variable los efectos que se presentan al aplicar las diferentes cepas muestran un comportamiento diferente. El Análisis de Varianza (ANVA) indicó una variación significativa en la altura de la planta entre tratamientos. En maíz la diferencia promedio de los tratamientos con respecto a la media del testigo son diferentes para C0109Mz, C0109Pi y 1C0109Cap, no siendo así para la C0109Esp1, que no fue mayor a la D.M.S. (13.8960). Para el caso de la Altura de la Planta en Trigo, la variación entre tratamientos también fue significativa y los valores medios para todos los tratamientos mostraron una diferencia con respecto a la media del testigo mayor a la D.M.S. (6.5415), destacando la corespondiente a la C0109Mz con una diferencia de hasta 10cm. En sorgo se obtuvieron resultados similares a lo ocurrido con la altura de la Planta en Maíz y Trigo, mientras que en la avena no se obtuvieron resultados satisfactorios para ninguno de los tratamientos (Ver figura 2).

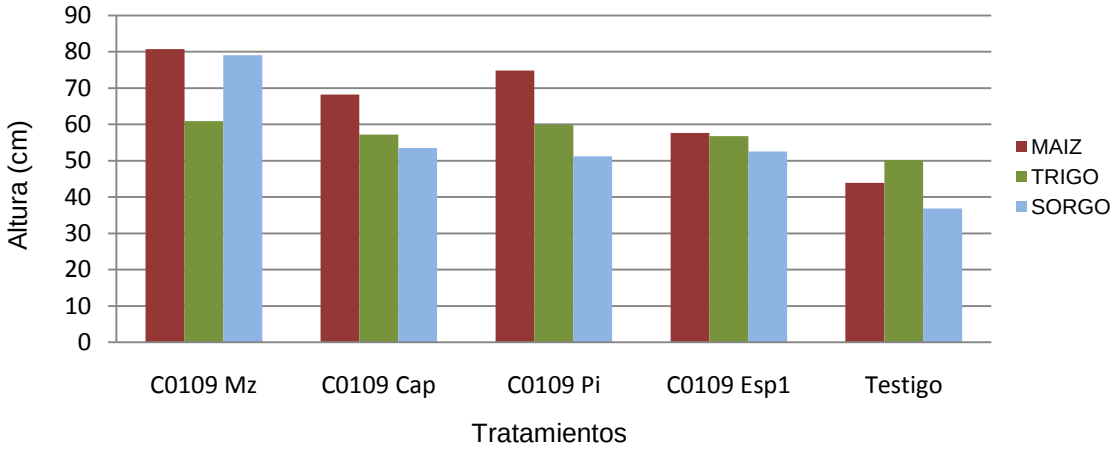


Figura 2. Efecto de cepas de *A.brasilense* sobre altura de la planta en maíz, trigo y sorgo

Peso Fresco de Tallo

En maíz

El Análisis de Varianza (ANVA) mostro variación significativa entre tratamientos para la variable peso fresco de tallo. Las diferencias fueron altamente significativas, ya que el mejor peso se obtuvo al aplicar la C0109Mz con una diferencia entre medias de tratamiento y testigo de 135.16gr, le siguieron en importancia la C0109Cap y C0109Pi. La diferencia entre la media del Peso Fresco de Tallo entre la C0109Esp1 y el Testigo no superó la D.M.S. (59.3198), por lo que se considera que sus efectos son iguales (Ver figura 3).

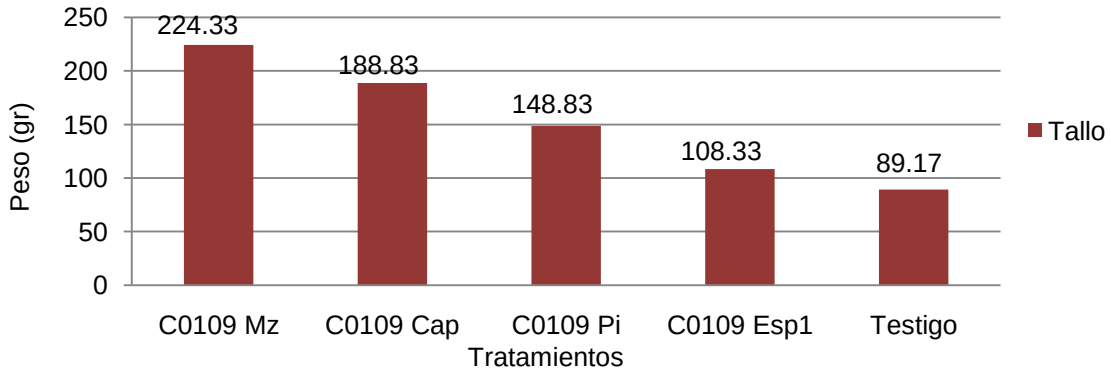


Figura 3.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de maíz

En sorgo

De forma similar a lo ocurrido con el máiz, en sorgo para el factor peso fresco de tallo con variación altamente significativos. En particular la cepa C0109Mz, obtuvo una diferencia de 89.33gr, en comparación al testigo. También como se presentó en el maíz la diferencia entre media del Peso Fresco de Tallo y el Testigo fue inferior a la D.M.S. (34.4785), estableciéndose que no hay diferencia en el efecto de estos tratamientos sobre la variable de prueba. (Ver figura 4)

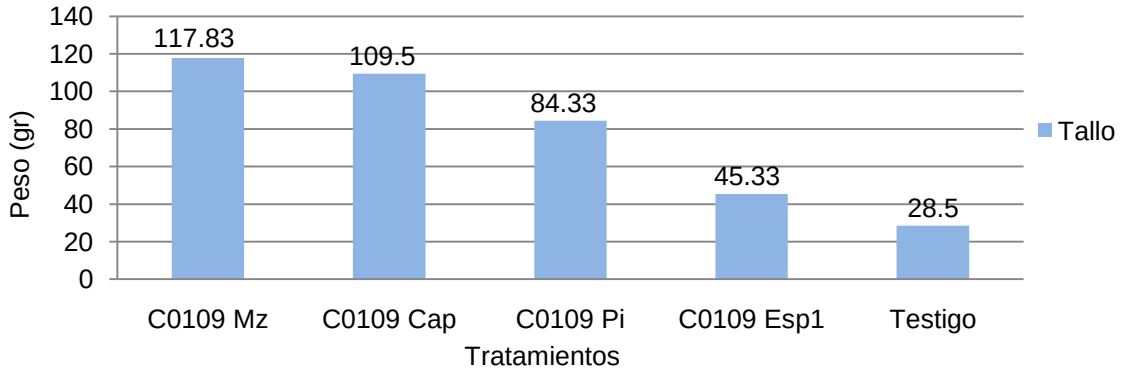


Figura 4.- Efecto de Cepas *A. brasilense* en el cultivo de sorgo

Peso Seco de Tallo

En maíz

Los resultados para la variable peso seco de tallo indican que la cepa C0109Mz tuvo efectos significativos al aplicarse en Maíz, mostrando una diferencia de 25.29gr con relación al testigo, la cual es superior a la D.M.S. (14.7918). Los otros tratamientos no superaron la prueba de D.M.S., por lo que se considera tienen efectos similares al testigo (Ver figura 5).

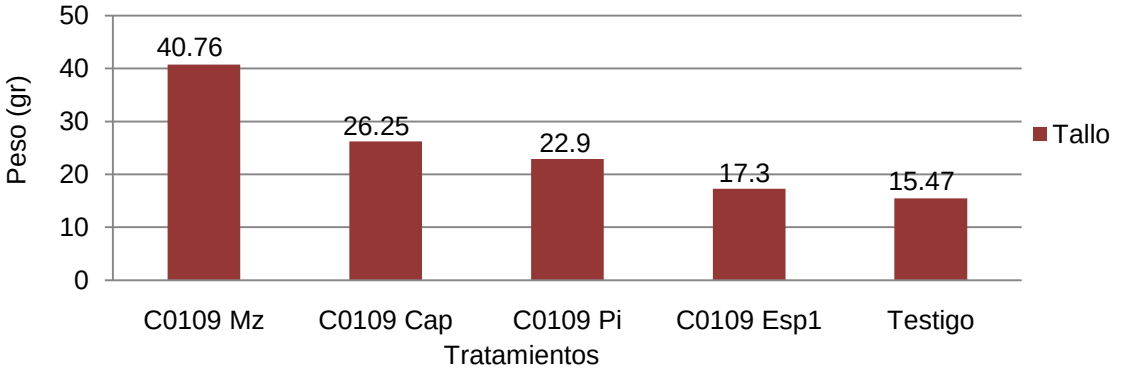


Figura 5.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de maíz

En Trigo

Los resultados en los tratamientos inoculados analizados con ANVA, indican variación significativa para peso seco de tallo. En donde destacó el efecto de la cepa C0109Mz cuyo valor medio dio una diferencia de 9.24gr respecto al testigo, el cual es mayor a la D.M.S. (4.3769). Los demas tratamientos fueron iguales al testigo, al no superar a la D.M.S. calculada. (Ver figura 6).

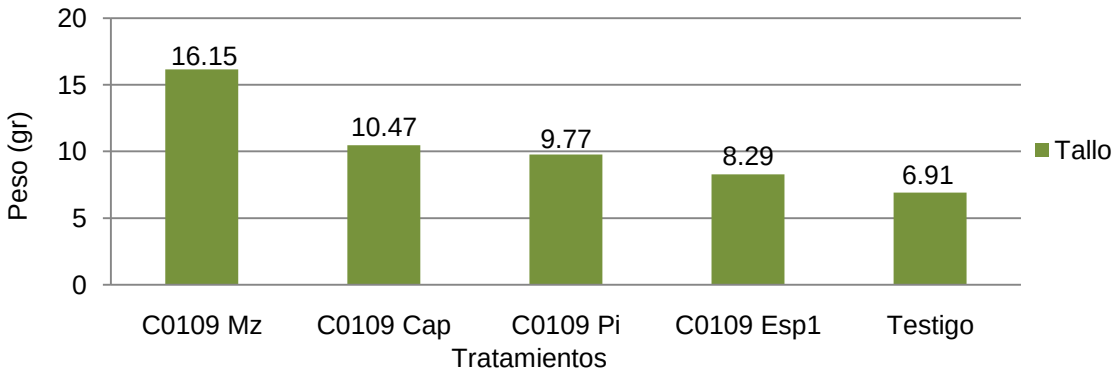


Figura 6.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de trigo

En Avena

Los resultados observados para el cultivo de avena mostraron variación significativa debida a los tratamientos para peso seco de tallo. La mayor diferencia entre medias en esta variable se dio cuando se aplicó la cepa C0109Pi, siendo esta de 9.5gr respecto a la referencia. Les siguen en importancia los efectos de las cepas C0109Cap, y C0109Mz. En relación al tratamiento con la cepa C0109Esp1, el valor medio del peso seco de tallo de la avena no fue estadisticamente diferente al valor medio del testigo (Ver figura 7).

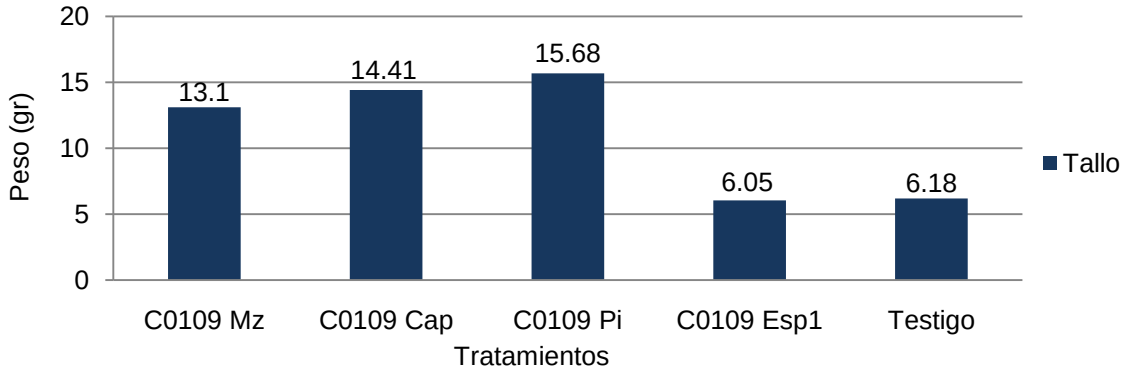


Figura 7.- Efecto de Cepas de *A. brasilense* en el cultivo de avena

Sorgo

Los resultados indican que las cepas aplicadas tuvieron efectos altamente significativos tanto en peso seco de tallo y raíz del cultivo. Al respecto, la mejor respuesta en peso seco de tallo se tuvo al aplicar la cepa C0109Mz con una diferencia de 20.11gr con el testigo; le siguieron la C0109Cap y C0109Pi. Sin embargo para la C0109Esp1 la diferencia entre su valor medio y la obtenida por el testigo no fue superior a la D.M.S. Por otra parte en la variable peso seco de raíz se obtuvieron diferencias significativas con respecto a los tratamientos con la cepa C0109Cap y C0109Mz, en las que los valores medios para el peso seco de raíz dieron una diferencia de 22.82gr y 15.75, respectivamente, ambas superiores a la D.M.S. (13.2133) (ver Figura 8).

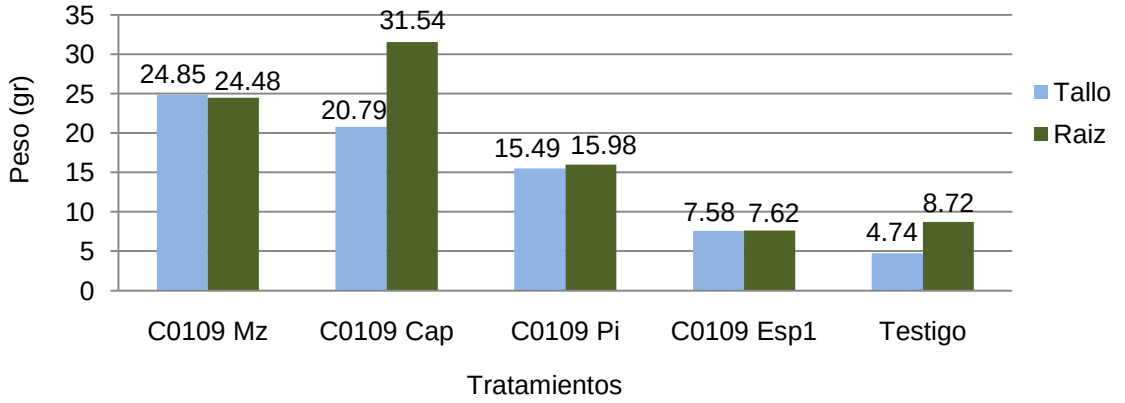


Figura 8.- Efecto de Cepas de *A. brasilense* en el cultivo de sorgo

Etapa de producción

Altura de Planta

La variación entre tratamientos fue significativa para el cultivo de avena en relación a la variable altura de la planta. El mejor resultado se dio en el tratamiento con la cepa C0109Mz, la cual presentó una diferencia de 15.32cm con respecto al testigo, seguido de la C0109Cap, C0109Pi y la C0109Esp1, que obtuvo el menor crecimiento. En sorgo los resultados indican que los efectos fueron altamente significativos al aplicar la C0109Esp1 y la C0109Pi con una diferencia de 32.77 y 32.11gr respectivamente sobre el testigo, seguido de la C0109Cap y la C0109Mz con un crecimiento no mayor a los 110.55cm, (Ver figura 9).

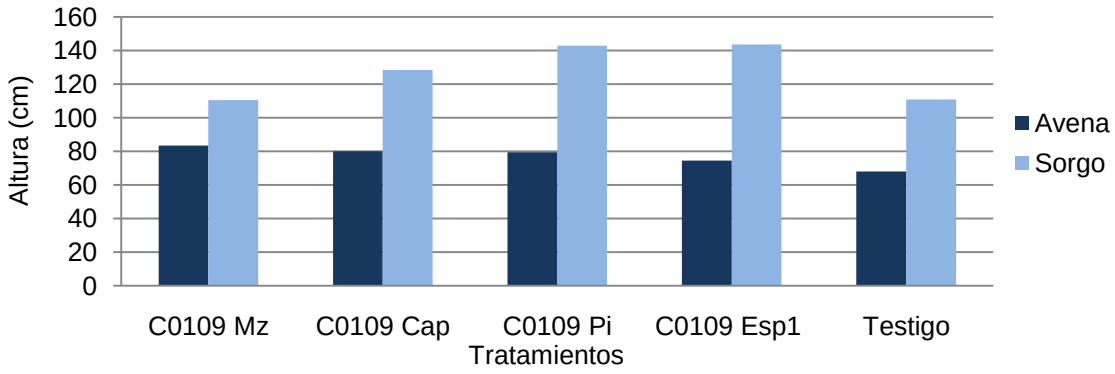


Figura 9.- Efecto de cepas *A. brasilense* sobre altura de planta en avena y sorgo

Número de Hojas

El Análisis de Varianza (ANVA) indicó una variación significativa en el número de hojas de la planta entre tratamientos para el cultivo de sorgo. Sin embargo el análisis de la D.M.S. muestran que el efecto tendencial de las cepas fue más que un incremento, fue la reducción en el número de hojas con CO109Cap y CO109Mz, mientras que para C0109Pi y C0109Esp1 se ubican ligeramente por arriba del testigo, sin alcanzar la D.M.S. (Ver figura 10).

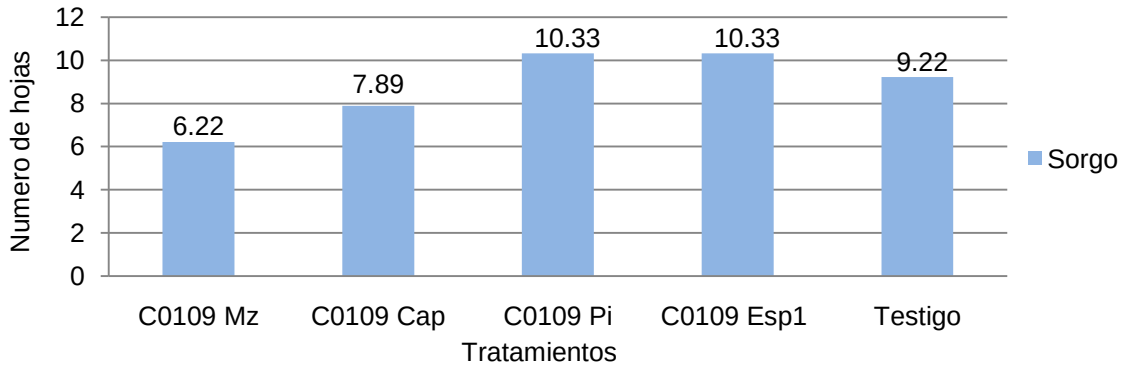


Figura 10.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de sorgo

Peso Seco de Tallo

En maíz

Aunque el resultado del ANVA mostró variación significativa en Peso Seco de Tallo entre tratamientos, la prueba de la D.M.S. descarta que los tratamientos produzcan efectos superiores al testigo. La cepa C0109Pi con una diferencia de 20.64gr respecto al testigo, resulta inferior a la D.M.S. (28.3493), seguido de la C0109Esp1, C0109Mz y la C0109Cap con el menor peso. Por ello se concluye que las diferencias entre las medias de tratamiento y el testigo son estadisticamente iguales (Ver figura 11).

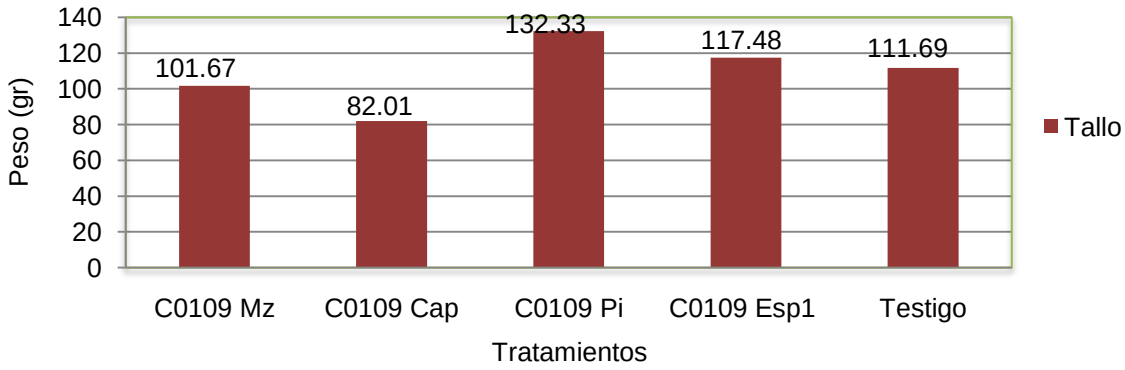


Figura 11.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de maíz

En avena

Los resultados indican que aunque para la variable peso seco de tallos se presentan variaciones significativas por tratamientos, la diferencia entre los promedios de tratamientos con las diferentes cepas y el promedio del testigo, no son suficientemente amplias como para superar la D.M.S. de 4.0332, con lo cual se concluye que no existen diferencias entre ellos. El único efecto superior al testigo se obtuvo con la cepa C0109Mz (Ver figura 12).

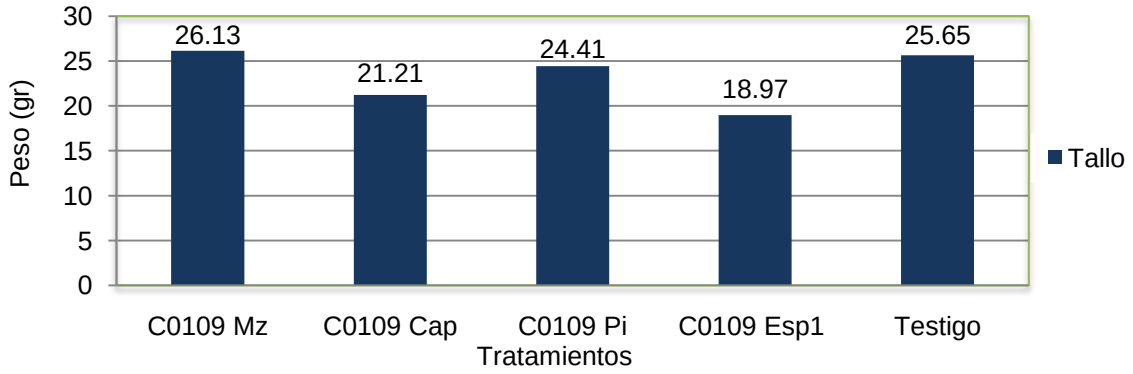


Figura 12.- Efecto de cepas de *A.* brasilense en el cultivo de avena

Peso de Grano

Sorgo

El ANVA muestra que los resultados presentan una variación significativa repecto al Peso de Grano en sorgo. La mayor diferencia entre la media entre tratamientos y el testigo se dio para la cepa C0109Mz con 17.39gr, seguido de la C0109Cap y C0109Pi, todas superiores a la D.M.S. (6.3754), con lo que se concluye que estos efectos son diferentes a los producidos por el testigo. Sin embargo para la cepa C0109Esp1, no muestra evidencia suficiente, por lo que se resuelve que no hay diferencia entre esta media y el testigo (Ver figura 13).

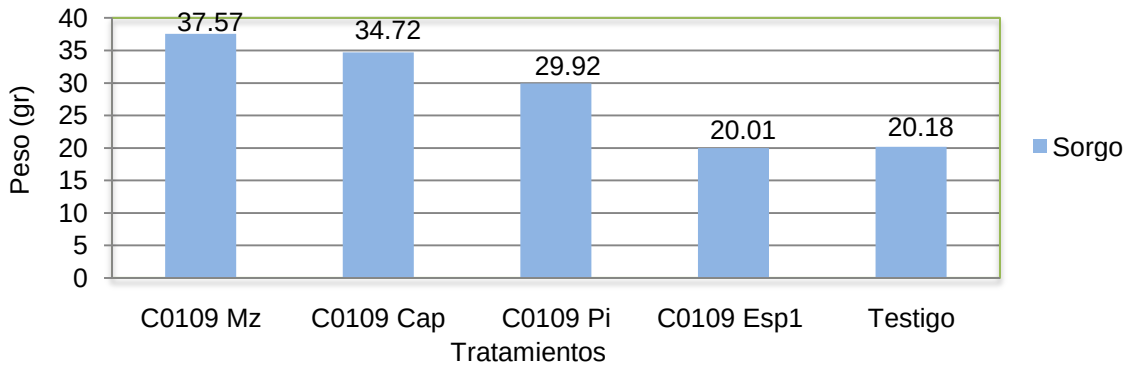


Figura 13.- Efecto de cepas de *A. brasilense* en el cultivo de sorgo

DISCUSION

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron incrementos mayores al 20% sobre la producción de materia seca y grano. No obstante, los resultados son similares a los presentados por (Okon y Labandera-Gonzalez, 1994; Aguirre-Medina, Díaz-Franco y Mendoza-Herrera, 2004). Y con respecto al resto de las variables que se evaluaron los resultados no fueron tan consistentes con respecto a otros trabajos de investigación.

Numerosos factores pueden tener influencia en la efectividad simbiótica de los microorganismos en la planta, como la cepa utilizada, la planta hospedera y las condiciones edáficas. Esto es importante porque al manipular tales factores, se optimiza le crecimiento de la plántula en función de los simbiontes empleados (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2004).

Además se ha demostrado que bacterias del genero *Azospirillum spp.,* pueden aportar del 30% al 50% de los requerimientos de nitrógeno para algunas plantas de importancia económica como son el maíz, sorgo y caña de azúcar (Bashan y Holguín, 1994).

RESUMEN

Cuadro 5. Resultados P > F

	DESDE SIEMBRA HASTA FORMACION DE ESPIGAS				DESDE FORMACION DE ESPIGAS HASTA PRODUCCION			
Variable	Maíz	Trigo	Avena	Sorgo	Maíz	Trigo	Avena	Sorgo
Altura de planta	**Mz, Pi, Cap	* Cap	N.S.	** Mz	N.S.	N.S.	* Mz, Cap,Pi	** Esp, Pi
Número de hojas	N.S.			N.S.	N.S.			** Pi, Esp1
Numero de tallos		N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	
Numero de espigas		N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	
Peso fresco de tallo	**Mz, Cap,Pi	N.S.	N.S.	** Mz, Cap, Pi				
Peso fresco de raíz	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.				
Peso seco de tallo	* Mz	** Mz	** Pi, Cap, Mz	** Mz, Cap	* Pi	N.S.	** Mz	N.S.
Peso seco de raíz	N.S.	N.S.	N.S.	** Cap	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Peso de grano					N.S.	N.S.	N.S.	** Mz, Cap
Peso mazorca					N.S.			

N.S.= No Significativa; * = Significativa; ** = Altamente Significativa

Cuadro 6. Resultados DMS

	DESDE SIEMBRA HASTA FORMACION DE ESPIGAS				DESDE FORMACION DE ESPIGAS HASTA PRODUCCION			
Variable	Maíz	Trigo	Avena	Sorgo	Maíz	Trigo	Avena	Sorgo
Altura de planta	**Mz, Pi, Cap	** Mz, Pi, Cap, Esp1	N.S.	** Mz, Cap, Esp1, Pi	N.S.	N.S.	** Mz, cap, Pi	** Esp1, Pi
Número de hojas	N.S.			N.S.	N.S.			NS
Numero de tallos		** Mz	N.S.			N.S.	N.S.	
Numero de espigas		** Mz	N.S.			N.S.	N.S.	
Peso fresco de tallo	* * Mz, Cap, Pi	** Mz	**Pi	** Mz, Cap, Pi				
Peso fresco de raíz	N.S.	N.S.	**Pi	** Cap, Mz				
Peso seco de tallo	* Mz	** Mz	** Pi, Cap, Mz	** Mz, Cap, Pi	NS	N.S.	N.S.	**Cap, Esp1
Peso seco de raíz	* Mz	** Mz	N.S.	** Cap, Mz	N.S.	N.S.	**Cap	N.S.
Peso de grano					N.S.	N.S.	N.S.	**Mz, Cap,Pi
Peso mazorca					N.S.			

CONCLUSION

De acuerdo a los diferentes resultados que arrojaron las cepas aplicadas de *Azospirillum brasilense* sobre los diferentes cultivos evaluados en cada una de sus variables, se concluye lo siguiente:

- Aunque los efectos no fueron significativos en la mayoría de los parámetros evaluados, si se presentaron incrementos respecto al testigo en algunas de las cepas.

- Las cepas que generaron cambios significativos sobre el crecimiento, producción de biomasa (Peso fresco y seco de tallo) fueron las C0109Mz, C0109Cap y C0109Pi principalmente en los cultivos de maíz y sorgo.

- El mayor efecto en cuanto a peso de grano se obtuvo principalmente en el cultivo de sorgo al aplicar la C0109Mz y C0109Cap.

De manera general, la cepa más notable y efectiva es la C0109Mz y que el cultivo que presento mejor respuesta fue el cultivo de sorgo.

LITERATURA CITADA

Aguirre-Medina, J. F., Irizar- Garza, M.B., Duran-Pardo, A., Grajeda-Cabrera, O.A., Peña-del rio, M.A. y Loredo-Osti, C, Gutiérrez-Baeza, A. (2009). Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 13-17p.

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.

Arturo Díaz Franco, Alfredo S. Ortegon Morales (2006). Efecto de inoculación con *Azospirillum brasilense* y fertilización química en el crecimiento y rendimiento de canola (Brassica napus). Revista fitotecnica mexicana. Sociedad mexicana de filogenética, A. C. Chapingo, México. Pp. 63-67.

Burdman S., Y Okon (1997). Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of common vean (*Phaseolus vulgaris L.).* Soil Biol. Biochem. 29:923-929.

C. Chico Juan Luis (2006), “Respuesta a la Biofertilizaciòn con Azospirillum sp., en Trigo Duro y Harinero en Invernadero”. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila.

Elein Terry A. (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (Lycopercicon esculentum). Revista Colombiana de Biotecnología Vol. VII. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia pp. 47-54. (http://redalyc.uaemex.mx/pdf/776/77670207.pdf)

García Olivares J. (2006). Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo, en el norte de México. *Agricultura Técnica en México, vol. 32.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco, México pp. *135-141.* (http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=60832201)

García Olivares J. (2007). Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz Revista *Fitotecnica Mexicana,* vol 30. Sociedad Mexicana de Fitogenetica A. C. Chapingo Mexico pp. 305-310. (http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61003013)

Cholula Cordero L. (2005), “Estudio de la producción de poli-β-hidroxibutirato (PHB) en *Azospirillum brasilense* Sp7”. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas. (http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/1143/1/389_2005_CEBIOGEN_MAESTRIA_cholula_cordero_laura_patricia.pdf)

Soto L., Baca B. (2001). Mecanismos de protección de la nitrogenasa a la inactivación por oxigeno. Revista Latinoamericana de Microbiologia 43, 37-49.

Steenhoudt O., Vanderleyden J., (2000). *Azospirillum,* a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiol. Rev. 24, 487-506.

PAGINAS WEB CONSULTADAS

www.harina.org

http://w4.siap.gob.mx/sispro/SP_AG/Maiz/PortalesFijos/Situacion/maiz96-12.pdf

http://w4.siap.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/Trigo/Descripcion.pdf

http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional2.pdf

www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm

APENDICE

Cuadro 7. ANVA para altura de planta en maíz durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	5119.554688	1279.888672	17.1610	0.000
Error	25	1864.531250	74.581253		
Total	29	6984.085938			

C.V.= 13.28 %

Cuadro 8. ANVA para peso fresco de tallo en maíz durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	74721.562500	18680.390625	13.7448	0.000
Error	25	33977.125000	1359.084961		
Total	29	108698.687500			

C.V.= 24.27 %

Cuadro 9. ANVA para peso seco de tallo en maíz durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	2420.410156	605.102539	7.1605	0.001
Error	25	2112.646484	84.505859		
Total	29	4533.056641			

C.V.= 37.47 %

Cuadro 10. ANVA para peso seco de tallo en maíz durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	12651.500000	3162.875000	6.4278	0.001
Error	40	19682.625000	492.065613		
Total	44	32334.125000			

C.V.= 20.34 %

Cuadro 11. ANVA para altura de planta en trigo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	427.898438	106.974609	6.4725	0.001
Error	25	413.187500	16.527500		
Total	29	841.085938			

C.V.= 7.14 %

Cuadro 12. ANVA para peso seco de tallo en trigo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	300.621338	75.155334	10.1573	0.000
Error	25	184.978027	7.399121		
Total	29	485.599365			

C.V.= 26.36 %

Cuadro 13. ANVA para peso seco de tallo en avena durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	513.481445	128.370361	14.7517	0.000
Error	25	217.552246	8.702090		
Total	29	731.033691			

C.V.= 26.61 %

Cuadro 14. ANVA para altura de planta en avena durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	1277.843750	319.460938	5.5466	0.001
ERROR	40	2303.812500	57.595314		
TOTAL	44	3581.656250			

C.V.= 9.85 %

Cuadro 15. ANVA para peso seco de tallo en avena durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	341.074219	85.268555	8.5614	0.000
ERROR	40	398.384766	9.959620		
TOTAL	44	739.458984			

C.V.= 13.56 %

Cuadro 16. ANVA para altura de planta en sorgo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	5580.046875	1395.011719	23.6641	0.000
Error	25	1473.765625	58.950626		
Total	29	7053.812500			

C.V.= 14.06 %

Cuadro 17. ANVA para peso fresco de tallo en sorgo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	36794.203125	9198.550781	20.0343	0.000
Error	25	11478.500000	459.140015		
Total	29	48272.703125			

C.V.= 27.79 %

Cuadro 18. ANVA para peso seco de tallo en sorgo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	1743.293457	435.823364	12.5400	0.000
Error	25	868.867188	34.754688		
Total	29	2612.160645			

C.V.= 40.13 %

Cuadro 19. ANVA para peso seco de raíz en sorgo durante la etapa de formación de espigas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	2535.645508	633.911377	9.4007	0.000
Error	25	1685.806641	67.432266		
Total	29	4221.452148			

C.V.= 46.48 %

Cuadro 20. ANVA para altura de planta en sorgo durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	9554.875000	2388.718750	10.6700	0.000
ERROR	40	8954.875000	223.871872		
TOTAL	44	18509.750000			

C.V.= 11.76 %

Cuadro 21. ANVA para número de hojas en sorgo durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	111.199951	27.799998	8.5538	0.000
ERROR	40	130.000000	3.250000		
TOTAL	44	241.199951			

C.V.= 20.49 %

Cuadro 22. ANVA para peso de grano en sorgo durante la etapa de producción

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	4	2377.890625	594.472656	23.8878	0.000
ERROR	40	995.441406	24.886036		
TOTAL	44	3373.332031			

C.V.= 17.51 %

Cuadro 23. Concentración de medias para el cultivo de maíz durante etapa de formación de espigas

Tratamientos	Altura de planta	Numero de hojas	Peso fresco		Peso seco	
			Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
C0109Mz	80.6667 A	8.6667 A	224.3333 A	293.8333 A	40.7583 A	52.8400 A
C0109Cap	68.1667 AB	7.5000 A	188.8333 AB	238.3333 A	26.2550 AB	32.2433 AB
C0109Pi	74.8333 A	8.6667 A	148.8333 BC	223.6667 A	22.9000 B	39.4483 AB
C0109Esp1	57.6667 BC	7.1667 A	108.3333 CD	201.6667 A	17.2983 B	35.2333 AB
Testigo	43.8500 C	8.8333 A	89.1667 D	209.5000 A	15.4683 B	18.8467 B
D.M.S.	13.8960	1.8719	59.3198	152.5194	14.7918	28.4871

Cuadro 24. Concentración de medias para el cultivo de maíz durante la etapa de producción

Tratamientos	Altura de planta	Numero de hojas	Peso seco		Peso de mazorca	Peso de grano
			Tallo	Raíz		
C0109Mz	179.7778 A	11.4444 A	101.6667 BC	119.0000 AB	84.4145 A	57.8300 A
C0109Cap	174.2222 A	11.2222 A	82.0111 C	102.8889 B	51.2522 B	35.5344 B
C0109Pi	180.0000 A	11.2222 A	132.3333 A	164.5556 A	72.9089 AB	45.8122 AB
C0109Esp1	185.7778 A	11.3333 A	117.4778 AB	93.7778 B	66.0411 AB	39.9056 AB
Testigo	178.6667 A	11.4444 A	111.6889 AB	116.1111 AB	54.9311 AB	41.0822 AB
D.M.S.	21.2631	1.0667	28.3493	52.0248	30.1223	22.2591

Cuadro 25. Concentración de medias para el cultivo de trigo durante etapa de formación de espigas

Tratamientos	Altura de planta	Numero de tallos	Numero de espigas	Peso fresco		Peso seco	
				Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
C0109Mz	60.9167 A	7.0000 A	6.3333 A	27.8333 A	14.3333 A	16.1517 A	6.0383 A
C0109Cap	57.1667 A	5.3333 AB	5.O000 AB	19.8333 B	10.5000 A	10.4700 B	4.2333 AB
C0109Pi	59.9167 A	5.1667 AB	4.8333 AB	17.5000 B	15.0000 A	9.7733 B	3.0850 B
C0109Esp1	56.7500 A	4.5000 B	4.0000 B	15.8333 B	13.6667 A	8.2867 B	3.5583 B
Testigo	50.1167 B	4.8333 B	4.0000 B	17.8333 B	12.0000 A	6.9083 B	2.7700 B
D.M.S.	6.5415	2.1468	1.7079	7.6076	6.2416	4.3769	2.0852

Cuadro 26. Concentración de medias para el cultivo de trigo durante etapa de producción

Tratamientos	Altura de planta	Numero de tallos	Numero de espigas	Peso seco		Peso de Grano
				Tallo	Raíz	
C0109Mz	58.2323 A	5.1111 A	4.1111 A	24.2331 A	1.6667 A	5.8422 A
C0109Cap	59.4333 A	5.4444 A	5.0000 A	23.0879 AB	1.4444 A	5.2800 A
C0109Pi	57.1556 A	5.1111 A	4.0000 A	23.0074 AB	2.1111 A	5.8100 A
C0109Esp1	57.4333 A	3.8889 A	3.6667 A	18.6204 B	1.4444 A	3.3244 B
Testigo	55.0778 A	5.1111 A	4.2222 A	22.6269 AB	1.3333 A	4.1833 AB
D.M.S.	5.8693	1.9358	1.9004	5.0575	1.0564	1.8957

Cuadro 27. Concentración de medias para el cultivo de avena durante etapa de formación de espigas

Tratamientos	Altura de planta	Numero de tallos	Numero de espigas	Peso fresco		Peso seco	
				Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
C0109Mz	79.8500 A	8.1667 A	4.8333 AB	28.8333 AB	17.1667 B	13.1017 A	3.4950 AB
C0109Cap	79.2833 A	6.6667 A	4.5O00 AB	31.3333 AB	15.1667 B	14.4100 A	4.5617 AB
C0109Pi	81.9333 A	9.1667 A	6.1667 A	36.8333 A	32.3333 A	15.6800 A	6.8067 A
C0109Esp1	69.6667 A	7.0000 A	2.5000 B	15.8333 B	21.6667 AB	6.0550 B	2.8417 B
Testigo	78.6167 A	4.8333 A	4.0000 AB	17.8333 B	12.0000 B	6.1817 B	4.9000 AB
D.M.S.	12.7000	4.5264	2.8178	15.5429	13.9474	4.7467	3.4494

Cuadro 28. Concentración de medias para el cultivo de avena durante etapa de producción

Tratamientos	Altura de planta	Numero de tallos	Numero de espigas	Peso seco		Peso de grano
				Tallo	Raíz	
C0109Mz	83.3889 A	4.5556 A	4.1111 A	26.1359 A	3.5556 B	3.0789 A
C0109Cap	80.0778 A	3.4444 A	3.3333 A	21.2110 BC	7.7778 A	1.8467 A
C0109Pi	79.3667 A	4.7778 A	4.6667 A	24.4119 AB	7.0000 AB	2.3122 A
C0109Esp1	74.4889 AB	3.2222 A	3.1111 A	18.9702 C	5.6667 AB	2.7278 A
Testigo	68.0667 B	3.8889 A	3.6667 A	25.6476 A	3.5556 B	2.8289 A
D.M.S.	9.6989	1.6471	1.6137	4.0332	4.1313	1.3649

Cuadro 29. Concentración de medias para el cultivo de sorgo durante etapa de formación de espigas

Tratamientos	Altura de planta	Numero de hojas	Peso fresco		Peso seco	
			Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
C0109Mz	79.0333 A	5.6667 B	117.8333 A	131.1667 AB	24.8467 A	24.4767 AB
C0109Cap	53.4667 B	6.3333 AB	109.5000 A	145.0000 A	20.7867 A	31.5400 A
C0109Pi	51.1833 B	7.1667 A	84.3333 A	108.1667 ABC	15.4950 AB	15.9817 BC
C0109Esp1	52.5000 B	5.8333 AB	45.3333 B	80.0000 BC	7.5833 BC	7.6183 C
Testigo	36.8333 C	6.5000 AB	28.5000 B	66.8333 C	4.7367 C	8.7250 C
D.M.S.	12.3544	1.4332	34.4785	58.5478	9.4860	13.2133

Cuadro 30. Concentración de medias para el cultivo de sorgo durante etapa de producción

Tratamientos	Altura de planta	Numero de hojas	Peso seco		Peso de grano
			Tallo	Raíz	
C0109Mz	110.5556 B	6.2222 C	166.4444 AB	123.2222 A	37.5711 A
C0109Cap	128.3333 AB	7.8889 BC	208.4778 A	150.3333 A	34.7233 AB
C0109Pi	142.8889 A	10.3333 A	198.3222 AB	116.0000 A	29.9233 B
C0109Esp1	143.5556 A	10.3333 A	208.1556 A	133.8889 A	20.0133 C
Testigo	110.7778 B	9.2222 AB	154.7556 B	117.1111 A	20.1844 C
D.M.S.	19.1219	2.3039	45.4083	44.9573	6.3754