BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

VICERRECTORIA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

"INOCULACIÓN MAÌZ CON *Glomus Intraradice* *Azospirillum brasilense* EN SAN PABLO TEPETZINGO, TEHUACÁN, PUEBLA"

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO CON ESPECIALIZACIÓN EN AREA AGRÍCOLA

PRESENTA

JUAN ANTONIO JUÁREZ CORTEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRIGUEZ

CODIRECTOR

MC.NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

ASESORES

MC. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

MC. JORGE FRANCISCO LEÓN DE LA ROCHA

TEHUACÁN, PUEBLA MÉXICO A 15 DE ABRIL DE 2016

La presente tesis titulada: Inoculación de maíz con *Glomus intraradice* Y *Azospirillum brasilense* en San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla **realizada por**, Juan Antonio Juárez Cortez, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Consejo particular integrado por:

Director: Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez _____

Co-director: M.C. Numa Pompilio Castro González _____

Asesor: M.C. Ramiro Escobar Hernández _____

Asesor: M.C. Jorge Francisco León de la Rocha _____

Tehuacán, Puebla, México a 15 de abril de 2016

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este día, por acompañarme siempre y estar presente en mi familia llenándonos de bendiciones.

Con todo mi amor y cariño a mis padres, Sara Cortés Flores, Federico Juárez Contreras† y Juan Cortés Huerta, por ser mi inspiración y mi mejor ejemplo a seguir durante toda la vida. Gracias mamá y papá, por su apoyo incondicional.

Como agradecimiento, amor y cariño por todo el apoyo brindado continuamente, a mi esposa Dulce María Reyes González.

En especial a mi hijo Ander Nahil, eres mi fuente de inspiración.

A mis hermanos, Wendy, Jhaen, Erik, Armando† y Luis Fernando por apoyarme siempre, con mucho cariño para ustedes, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por todo lo que me ha proporcionado a mi vida profesional.

A la Universidad Tecnológica de Tehuacán por el apoyo a la realización de este postgrado.

A la Facultad de Ingeniería de Agrohidráulica y Maestría en Manejo Sostenible de Sistemas Agrícolas por la disposición de todo el personal para impartirnos el postgrado

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, además de todo su apoyo durante el transcurso del mismo y hasta el día de hoy, también le agradezco por todas las enseñanzas para mi formación profesional.

Al M.C. Numa P. Castro González, por el apoyo y disposición brindada para hacer este trabajo.

Al Dr. Francisco Valencia Ponce, por el apoyo y disposición brindada para la realización de este postgrado, además de que durante mi estancia en la Universidad Tecnológica de Tehuacán me ha brindado las facilidades para el crecimiento personal.

Al Mtro. Arturo Olivar Hernández, por el apoyo y disposición brindada para la realización de este postgrado, además por su gran amistad, así mismo por los conocimientos compartidos.

Al M.C. Jorge Francisco León de la Rocha por todo el apoyo para la elaboración de este trabajo y por compartir sus conocimientos.

Al MVZ. Joaquín Trujillo Hernández por la amabilidad y disposición para la realización del proyecto en sus parcelas.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Páginas

I. INTRODUCCIÓN 8
1.1 JUSTIFICACIÓN 9
1.2. Planteamiento del problema 10
II. OBJETIVOS 11
2.2. Objetivos particulares 11
III. HIPÓTESIS 12
IV. REVISIÓN DE LITERATURA 12
4.1. Importancia del cultivo de maíz. 12
4.2. Microorganismos del suelo 13
4.3. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal 13
4.4. El género *Azospirillum* 15
4.5. Características fisiológicas del género *Azospirillum* sp. 16
4.6. Biología de *Azospirillum* sp. 16
4.7. Forma de acción del *Azospirillum brasilense* 17
4.8. Las Micorrizas 17
4.8.1. Tipos de micorrizas 18
4.8.2 Ectomicorrizas 18
4.8.3. Endomicorrizas 19
4.8.4. Micorriza vesículo-arbuscular 19
4.8.5. Características de las Micorrizas Arbusculares 20
4.8.6. Mecanismos de acción de las Endomicorrizas 20
4.8.7. La simbiosis planta y micorrizas 22
V. Materiales y Métodos 25
5.1. Localización 25
5.2 Establecimiento del experimento. 26

5.2.1 Análisis de suelo..... 26
5.2.2 Material vegetativo..... 26
5.3. Preparación del terreno..... 27
5.3.1 Inoculación micorrízica de las semillas de maíz..... 27
5.3.2 Siembra..... 27
5.3.3 Fertilización y riegos..... 28
5.4.1 Análisis estadístico..... 31
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 31
6.1 Análisis de suelo de ambos experimentos..... 31
VII. CONCLUSIÓN: 43
VIII. LITERATURA CITADA..... 44

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1: Número y fechas de riego del 1er experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla..... 28

Tabla 2: Número y fechas de riego del 2do experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla.**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 3: Análisis de suelo de los experimentos establecidos en San Pablo Tepetzingo..... 32

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Figura 1. Mapa de la ubicación del experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla... **¡Error! Marcador no definido.**

2 Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas y precipitación pluvial en el 1er. Experimento San Pablo Tepetzingo..... 33

3 Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas y precipitación pluvial en el 2do. Experimento San Pablo Tepetzingo..... 33

4 Figura 4. Comparación de las variedades AS-7573 y blanco Tehuacanero para la variable altura de planta..... 34

5 Figura 5. Comparación de las variedades AS-7573 y blanco Tehuacanero para la variable altura de planta..... 35

6 Figura 6. Promedio de Altura de plantas de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 36

7 Figura 7. Promedio de Altura de plantas de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 36

8 Figura 8. Promedio de Diámetro de 1er experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.. **¡Error! Marcador no definido.**

9 Figura 9. Promedio de Diámetro del 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 38

10 Figura 10. Promedio de número de hojas de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 39

11 Figura 11. Promedio de Número de hojas de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 39

12 Figura 12. Promedio de Rendimiento de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 40

13 Figura 13. Promedio de Rendimiento de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla..... 41

"RESPUESTA DEL CULTIVO DEL MAÍZ A LA INOCULACIÓN CON *Glomus intraradice* Y *Azospirillum brasilense* EN SAN PABLO TEPETZINGO, TEHUACÁN, PUEBLA"

Juan Antonio Juárez Cortez, MSSA

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la producción de grano en las variedades de maíz AS-7573 y Blanco Tehuacanero utilizando la Bacteria *Azospirillum brasilense* (333 g ha^{-1}), el hongo *Glomus* (1000 g ha^{-1}), fertilización química al 100% (120-60-100),fertilización química al 50% (60-30-50). El trabajo se realizó en San Pablo Tepetzingo, municipio de Tehuacán, Puebla. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo factorial 2x3, donde el primer factor fue la variedad y el segundo factor la nutrición. El rendimiento de grano entre variedades no presento diferencia significativa ($P \geq 0.0553$). Por el contrario, la condición de nutrición si tuvo efecto ($P \leq 0.0027$). En rendimiento promedio los dos experimentos presentaron lo siguiente: *Azospirillum brasilense* obtuvo 7525 ton/ha y 7166 ton/ha, *Azospirillum brasilense* y 50% de Fertilización 7708.3 ton/ha y 7573 ton/ha, Glomus intraradice obtuvo 7218.8 ton/ha y 7264 ton/ha, Glomus intraradice y 50% fertilización obtuvo 6817.7 ton/ha y 6963 ton/ha, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradice* obtuvieron 7257.1 ton/ha y 7586 ton/ha, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradice* obtuvieron y 50% de fertilización obtuvieron 6622.9 ton/ha y 7227 ton/ha, 50% fertilización obtuvo 7306.3 ton/ha y 6335 ton/ha, y el tratamiento donde no se aplicó nada obtuvo 5025 ton/ha y 3341 ton/ha siendo el tratamiento el que se comportó con los promedios más bajos de los dos experimentos. Los resultados demuestran que al utilizar *Glomus*, *Azospirillum*

y/o fertilizante nos muestran una respuesta favorable comparada con el tratamiento testigo donde no hubo fertilización ni aplicación de microorganismos.

Palabras Claves: Rendimiento, fertilizantes biológicos, sostenibilidad

Summary

The aim of the study was to evaluate the effect of grain yield in maize varieties AS-7573 and White Tehuacanero using the Bacterium Azospirillum brasilense (333 g ha-1), the Glomus fungus (1000 g ha-1), fertilization chemistry 100% (120-60-100), chemical fertilizers 50% (60-30-50). The work was done in San Pablo Tepetzingo, municipality of Tehuacán, Puebla. The experimental design was a randomized complete block factorial arrangement 2x3, where the first factor was the variety and the second factor nutrition. Grain yield between varieties do not show significant difference ($P \geq 0.0553$). On the contrary, if the condition had an effect nutrition ($P \leq 0.0027$). On average performance both experiments showed the following: Azospirillum brasilense scored 7525 ton / ha and 7166 ton / ha, Azospirillum brasilense and 50% Fertilization 7708.3 ton / ha and 7573 ton / ha, Glomus intraradice obtained 7218.8 ton / ha and 7264 ton / ha, Glomus intraradice and 50% fertilization obtained 6817.7 ton / ha and 6963 ton / ha, Azospirillum brasilense and Glomus intraradice obtained 7257.1 ton / ha and 7586 ton / ha, Azospirillum brasilense and Glomus intraradice obtained and 50% fertilization obtained 6622.9 ton / ha and 7227 ton / ha, 50% fertilization obtained 7306.3 ton / ha and 6335 ton / ha, and treatment where nothing is applied scored 5025 ton / ha and

3341 ton / ha being treatment which behaved with averages lower of the two experiments. The results demonstrate that by using Glomus, Azospirillum and / or fertilizer show a favorable response compared to control treatment where no fertilization or application of microorganisms.

Keywords

Yield, biological fertilizers, sustainability

I. INTRODUCCIÓN

La superficie cosechada del cultivo de maíz en México en 2013 fue de 8,095967 has con un volumen de 24,411777 toneladas en México (SIAP, 2013). Tan sólo en el estado de Puebla se cosechó una superficie de 464,089.60 has con un volumen de producción de 611,805.06 toneladas dando un rendimiento promedio de 1.3 ton ha^{-1} (SIAP, 2013). Específicamente en Tehuacán se sembraron 39,269 has con un rendimiento promedio de 0.798 ton ha^{-1} (SAGARPA, 2013). A pesar de la superficie considerable que se siembra, en dicho cultivo se registra un déficit de casi 8 millones de toneladas anuales (SIAP, 2013). Este cereal es base de la alimentación de los mexicanos; sin embargo, generalmente se abusa en el uso de pesticidas y fertilizantes.

Un punto importante a considerar es el reconocimiento del problema ambiental del cual se tiene poco cuidado, ya que el abuso en el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos provocan la degradación de los suelos, contaminación de la atmósfera y contaminación de los mantos acuíferos. Es necesario implementar nuevas estrategias tecnológicas para aumentar el rendimiento de grano del cultivo de maíz y evitar la contaminación del medio ambiente. Una buena opción es el uso de

microorganismos benéficos como *Azospirillum brasilense y* micorrizas del género *Glomus* además de buscar un manejo agroecológico del cultivo. Manoharan *et al. (*2012), realizaron un estudio donde se comparó la eficiencia de *Azospirillum brasilense* con asociación en maíz (*Zea mays*) *in vitro* y a campo abierto. Sus resultados indicaron que hubo mayor grado de resistencia a la deshidratación, en términos de reducción en la disponibilidad de agua y su capacidad de supervivencia fue 12% mayor, en porcentaje de germinación (11%).

Tian *et al*. (2011), probaron la respuesta del maíz a las micorrizas arbusculares, las raíces del maíz y los suelos de tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) con lo que se llegó a la conclusión de que las raíces del maíz pueden ser rápidamente y fuertemente colonizadas por micorrizas arbusculares aún en producciones agrícolas intensivas. Ellos mencionan también que los hongos micorrízicos son importantes para satisfacer la demanda de fósforo (P) en la planta.

Se considera recomendable implementar el uso de microorganismos benéficos como micorrizas *Glomus* y *Azospirillum brasilense* para fomentar el cuidado del medio ambiente, además de incrementar los rendimientos de grano y de buscar disminuir los costos de producción.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La producción de los sistemas agrícolas depende en gran manera de los recursos naturales para sostener su desarrollo y el cultivo del maíz no es la excepción.

En estos últimos tiempos se ha dependido de nuevas prácticas agresivas como la agricultura intensiva basadas en el uso de

altas dosis de fertilizantes químicos y productos agroquímicos como fungicidas, plaguicidas y otros fitofármacos empleados para proteger a los cultivos ante enfermedades y plagas. Dichos productos han impactado de manera negativa en el ambiente (Gryndler, 2000), deteriorando el medio así como la salud pública. Ante estos problemas se han buscado soluciones como es el caso de la biotecnología ya que ésta propone la incorporación de procesos naturales a las prácticas agrícolas convencionales como el aprovechamiento de organismos capaces de ejercer efectos de control biológico, evitar o reducir el uso de recursos no renovables o cuyo uso signifique riesgos al ambiente o al agricultor.

El uso de microorganismos es fundamental, ya que estos tienen una función trascendental para el sistema suelo-planta, ya que son los responsables de diversas actividades como desarrollo, salud, nutrición de la planta, además de beneficiar la calidad del suelo.

1.2. Planteamiento del problema

Los problemas de productividad en maíz se atribuyen en parte a la baja fertilidad del suelo, al uso de variedades de baja producción o mal uso de los nuevos híbridos de gran potencial de rendimiento. La nutrición se realiza por el productor sin un conocimiento de las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo. Esto ocasiona que se desperdicie fertilizante y los costos aumenten. Se requiere por tanto buscar opciones que optimicen la fertilidad del suelo a bajos costos y de manera amigable con el ambiente.

1.3. Pregunta de investigación

Con base en lo anterior, la pregunta de investigación fue ¿Qué efecto tiene el inocular al maíz con *Glomus intraradice* y *Azospirillum brasilense* sobre la producción de grano?

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta del cultivo de maíz al inocularse con *Glomus intraradice* y *Azospirillum brasilense*, y compararlo con la fertilización química, en la comunidad de San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla.

2.2. Objetivos particulares

Evaluar el efecto de la inoculación de *Glomus intraradice y Azospirillum brasilense* en maíz hibrido As-7573 y maíz criollo blanco Tehuacanero sobre el rendimientos de grano.

Evaluar el efecto de la inoculación de *Glomus intraradice y Azospirillum brasilense* con la fertilización química y su efecto en las variables fenológicas.

III. HIPÓTESIS

Al utilizar *Glomus intraradice y Azospirillum brasilense* se logrará mejorar la producción de maíz en la variedad As-7573 y blanco Tehuacanero.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia del cultivo de maíz.

El maíz es un cultivo agrícola de mucha importancia para la alimentación humana y animal. De este cereal se obtiene una diversidad de productos útiles en muchas necesidades. Por todo esto, este cultivo no sólo es el más importante en México, sino un bien estratégico mundial. La producción de grano presenta anualmente cifras considerables de volúmenes. Se encontraron reportes que indicaron que la superficie cosechada fue de 8, 095,967 has con un volumen de 24,411,777 toneladas en México; sin embargo, se registra un déficit de casi 8 millones de toneladas anuales (SIAP-SAGARPA, 2014).

La producción de este grano está limitada, entre otros factores, por la baja fertilidad de suelos agrícolas. Las condiciones climáticas muy cambiantes han ocasionado pérdidas como resultado de sequías o inundaciones. Los monocultivos también han traído consigo una gran susceptibilidad de los cultivos a sufrir daño por plagas y enfermedades. Esta problemática ha sido sorteada con el uso de agroquímicos y genotipos mejorados; sin embargo, estas soluciones han traído la contaminación de los ecosistemas, además de afectar las interacciones entre los organismos ocupantes de estos hábitats, sobre todo de la biota microbiana (Guerra, 2011).

4.2. Microorganismos del suelo

Los microorganismos del suelo son una parte importante en el ecosistema, estos sobreviven a las múltiples interacciones que se presentan con la compleja comunidad microbiana. Entre los microorganismos que encontramos en la rizósfera están hongos micorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno. Ellos forman parte sustancial de la comunidad microbiana del suelo donde establecen una simbiosis mutualista para el cultivo de maíz. Es importante la función de estos microorganismos ya que participan de manera decisiva en la absorción de nutrientes minerales del suelo. Ellos también ayudan a generar mayor tolerancia o resistencia a factores bióticos o abióticos, y mejorar la composición de las comunidades vegetales naturales, beneficiando con ello la calidad del suelo (Arruda, 2012).

4.3. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal

El término Rhizobacterias pomotoras del crecimiento de plantas "*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* -PGPR), se conoce desde 1978 y se acepta para describir a las bacterias que habitan en la rizósfera de las plantas y que pueden tener un efecto positivo sobre los cultivos (Dileep y Dubet, 1992). El efecto benéfico de las rizobacterias radica en diferentes mecanismos mediante las cuales ellas ejercen su acción. Las bacterias rizosféricas son capaces de producir sustancias fisiológicamente activas tales como vitaminas, giberelinas, citocininas, ácido indol-acético en cantidades importantes; las cuales, mediante su acción conjunta, estimulan la germinación de la semilla, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos (Martínez *et al.*, 1997).

Ciertos géneros bacterianos, fundamentalmente los de vida libre, fijan el nitrógeno atmosférico en proporciones considerables. Los géneros *Azospirillum* y *Azotobacter* producen polisacáridos extracelulares durante el crecimiento y proliferación. Estos compuestos son efectivos en la formación de agregados del suelo, lo que trae como consecuencia mejoras en el intercambio gaseoso y capacidad hídrica de los suelos (Martínez y Dibut, 1996).

La inoculación de diversas plantas con *Azospirillum* ha mostrado que los principales sitios de colonización son las áreas de elongación celular y las bases de los pelos radicales; sin embargo, la capacidad de *Azospirillum* para colonizar las raíces de las plantas es variable dependiendo de la cepa, la especie y las condiciones del suelo (Levanony y Bashan, 1991).

Sólo algunas células de *Azospirillum* llegan a adherirse a la cofia o a los pelos radicales (Levanon y Bashan, 1991). Una revisión realizada por Okon y Labandera (1994) menciona que experimentos de campo en todo el mundo indican el éxito del 60 al 70 % debido a la inoculación con *Azospirillum* con aumentos del rendimiento de 5 a 30 %. También se observó que la inoculación de los cultivos con *Azospirillum* permite reducir en 40-50 % el nivel de los fertilizantes nitrogenados sin que exista disminución en el rendimiento de la cosecha. Recientemente se ha reportado un incremento del 16 % en el rendimiento total en el cultivo de tomate cherry inoculado con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradice* (Lira-Saldívar, *et al*., 2011). En otro trabajo, Flores *et al.* (2010) reportan que la fijación biológica de nitrógeno por *Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa* representa el 46% del contenido de nitrógeno total en las plantas de chile.

En numerosos estudios de inoculación con *Azospirillum*, además del mejor crecimiento de las plantas, fueron observados

incrementos del 35% en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto al testigo (Murthy y Ladha, 1988). Debido a que los efectos de la inoculación con *Azospirillum* sobre el crecimiento de la raíz y la parte aérea de las plantas son similares a los que se presentan cuando las plantas son tratadas con fitohormonas, fue sugerido que estas sustancias podrían ser responsables del mejor crecimiento de las plantas; así como de los incrementos observados en el contenido de minerales y en el rendimiento de los cultivos (Itzigsohn *et al.,* 2000).

En el caso de *Azospirillum* se ha encontrado mecanismos que estimulan el crecimiento de la raíz y esto favorece el crecimiento de las plantas por la fijación de Nitrógeno (N) y absorción de Fósforo (P). Además de promover la circulación de nutrientes y de reducir el uso de fertilizantes químicos (Dilfuza, 2007).

4.4. El género *Azospirillum*

El género *Azospirillum* spp es una bacteria promotora del crecimiento vegetal de vida libre (Manoharan *et al.,* 2012).

Los análisis hechos en los últimos años, indican que *Azospirillum* tiene la habilidad de tomar el nitrógeno atmosférico y transformarlo en un nutriente aprovechable por las raíces de la planta. A esto se suma el hecho de que la bacteria causa un ensanchamiento y elongación de las raíces, lo que aumenta significativamente la superficie de absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo. Este tipo de tecnología microbiológica es interesante para la agricultura,

ya que su aplicación implica una reducción en los costos de fertilizantes químicos de por lo menos un 50% y un beneficio directo para el medio ambiente (Caballero-Mellado, 2003).

Actualmente, se reconocen seis especies en el género *Azospirillum*: *A. lipoferum* y *A. brasilense*, siendo éstas las más ampliamente estudiadas. Posteriormente, fueron descritas las especies *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense* y *A. largimobile* (Rivera-Botia, 2008).

4.5. Características fisiológicas del género *Azospirillum* sp.

Las bacterias del género *Azospirillum* sp., son eubacterias gram-negativas, de forma bacilar con un diámetro de 1.0 µm x 2.1-3.8 µm, su movilidad se debe a la presencia de material fibrilar creciendo en concentraciones bajas de oxígeno (Vital y Mendoza, 2014).

Este tipo de bacterias establecen simbiosis con la planta. Son fijadores de nitrógeno y forman parte del grupo de diazótrofos asociativos que contribuyen al crecimiento de la planta sin la formación de estructuras diferenciadas, creciendo exitosamente a pH de 6.8-7.0 (Marín *et al*., 1999).

Son bacterias químio-organotróficas y pueden utilizar como fuente de carbono a azúcares, alcoholes, sales de ácidos orgánicos y como fuente de nitrógeno pueden disponer de nitrato, sales de amonio y ciertos aminoácidos (Rivera-Botia, 2008).

4.6. Biología de *Azospirillum* sp.

Su forma de reproducción es la división celular, y sus mecanismos de supervivencia se basan en producir y acumular

gránulos de poliß-hidroxibutirato (PHB), los cuales son empleados por la propia célula como fuentes de carbono y energía durante períodos de inanición; incluso, son capaces de formar quistes en condiciones muy desfavorables (Parra, 2002).

4.7. Forma de acción del *Azospirillum brasilense*

Es una bacteria diazotrófica del suelo capaz de colonizar la rizósfera de muchos cereales y gramíneas económicamente importantes. Anteriormente se creía que el beneficio que aportaba se debía a la fijación de nitrógeno atmosférico. Conforme se han desarrollado diferentes experimentos, según Alexandre *et al*. (2000) se sugiere que el mayor desarrollo de los vegetales colonizados por *Azospirillum* es el resultado de mayor captación de nutrimentos minerales presentes en el suelo como consecuencia de un incremento del sistema radical de las plantas inoculadas. El mecanismo que produce este efecto es la liberación de ciertas fitohormonas por parte de *Azospirillum brasilense*, principalmente el ácido indolacético (Alexandre *et al*., 2000).

4.8. Las Micorrizas

Se conoce con el nombre de micorriza (del griego mykes-hongo, rhiza-raiz) a la asociación mutualista que existe entre algunos hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas (Brundett, 2002). Se cree que gracias a esta simbiosis las plantas lograron la colonización del ambiente terrestre (Read *et al*., 2000)

Las micorrizas tienen un protagonismo destacado en el sistema suelo-planta, donde desarrollan actividades de nutrición, desarrollo de la planta y, por tanto, mejora de la productividad (Gollner *et al.,* 2006).

Tian *et al*., (2011), realizó un experimento para comprobar la efectividad en cuanto a probar la respuesta del maíz a la inoculación con micorriza. El resultado fue positivo ya que aumentó hasta un 25% más considerablemente el suministro de fósforo de los suelos. Con ello mejoró la biomasa vegetal y el rendimiento del cultivo de maíz, en gran medida.

4.8.1. Tipos de micorrizas

Son varios los tipos, en función de la forma de colonizar a la planta hospedante. Se reconocen hasta siete tipos, pero en forma práctica se distinguen principalmente a las Ectomicorrizas y las Endomicorrizas (Coyne, 2000).

4.8.2 Ectomicorrizas

Se caracterizan por tener un manto de hifas compactadas alrededor de las raíces cortas; sólo colonizan el exterior de la raíz y los espacios intercelulares (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2002).

El hongo crece entre las células de la raíz rodeándolas sin penetrarlas, formando una estructura característica denominada la "red de Harting". Además, las raíces están rodeadas por una

vaina formada por el hongo llamada manto fúngico; las hormonas que secreta el hongo inducen la ramificación de la raíz, que adopta un aspecto característico esponjoso y ramificado. El micelio se extiende mucho hacia el suelo. Los pelos absorbentes a menudo están ausentes, siendo reemplazados por las hifas fúngicas (Gollner *et al.,* 2006).

4.8.3. Endomicorrizas

Además de colonizar el exterior de la raíz, invaden el tejido radical en forma inter e intracelularmente (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2002). Son más frecuentes las Endomicorrizas, pues ocurren aproximadamente en el 80% de las plantas vasculares (González *et al.*, 2005). Las hifas de las Endomicorrizas penetran las células del córtex de la raíz sin romper el plasmalema o el tonoplasto (Rocha *et al.*, 2009). Estos autores mencionan que forman unas estructuras dendroides llamadas arbúsculos o protuberancias llamadas vesículas, que quedan revestidas por la membrana plasmática. Él hongo nunca penetra la endodermis, ni la estela, ni el meristemo apical, ni la caliptra, las hifas se extienden varios centímetros por fuera de la raíz incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos (Yu *et al.*, 2001). El intercambio entre hongo y hospedante tiene lugar en los arbúsculos que se llenan de gránulos de fosfatos (Gollner *et al.,* 2006).

4.8.4. Micorriza vesículo-arbuscular

Dentro de las Endomicorrizas se distinguen las micorrizas vesiculares arbusculares quienes disponen de una gran variedad de huéspedes. Así, pueden infectar la mayor parte de los

cultivos agrícolas y el 90% de todas las plantas vasculares. Su nombre se debe a que el hongo forma un consorcio fisiológico caracterizado por la presencia de estructuras típicas en la epidermis de la misma, hifas, arbúsculos y vesículas (Duchicela, 2003). Las micorrizas vesiculares arbusculares no suelen ser específicas. A diferencia de las Ectomicorrizas, no pueden cultivarse fuera de una planta huésped (Coyne, 2000).

4.8.5. Características de las Micorrizas Arbusculares

Las Micorrizas arbusculares pertenecen a la clase Zigomicetes dentro del orden Glomales se dividen en dos subórdenes, en tres familias y seis géneros (Morton y Benny, 1990), distribuidas principalmente en el género *Glomus* (Schwarzoot *et al*., 2001). Se caracterizan por ser cenocíticos, multinucleados, bitrofos obligados, que producen esporas que germinan solo en la presencia del hospedero (León, 2006). Poseen una fase extra-radical (en el suelo), con hifas, esporas, células auxiliares y esporocarpos; y otra intra-radical, donde son capaces de formar hifas inter e intracelulares, arbúsculos y vesículas (Becard *et al*., 2004).

4.8.6. Mecanismos de acción de las Endomicorrizas

Los mecanismos de los hongos micorrízicos para beneficiar el desarrollo de las plantas o mejorar las condiciones del suelo se describen a continuación.

Incrementa en el área de exploración del sistema radical y, por tanto, existe mayor disponibilidad de nutrimentos. La extensa red de hifas que desarrollan los hongos micorrízicos es capaz

de explorar mayor volumen de suelo y llegar a sitios con mayor disponibilidad de nutrimentos, donde la raíz por si misma sería incapaz de penetrar (Shactman *et al*., 2000).

Mayor beneficio de la humedad y tolerancia a sequía. En la simbiosis micorrízica los hongos que forman micorrizas vesículo arbusculares acrecienta la retención de humedad en el suelo. (Augé *et al*., 2001).

Disminución del estrés. La inoculación con micorrizas vesículo arbusculares ha contribuido a la adaptación y crecimiento de plantas en condiciones extremas como con sitios de baja fertilidad, sitios con problemas de salinidad y en sitios de escasa precipitación (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2004).

Las respuestas celulares al estrés incluyen muchos cambios en la planta tanto a nivel celular como a nivel bioquímico y molecular. Las plantas presentan un comportamiento denominado tolerancia cruzada, es decir tolerancia a un estrés inducida por la aclimatación de otro (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Las plantas sufren estrés por déficit hídrico cuando hay sequía, provocando ésta una disminución en el crecimiento de la misma. El potencial hídrico del suelo (V) al tener un valor más negativo que el de la planta, determina que ésta absorba con mayor dificultad agua del suelo (Frank *et al.,* 2000).

El micelio externo de los hongos micorrízicos produce glomalina, sustancia que actúa como adherente y aglutinar las partículas del suelo en agregados más estables (Wright y Upadhyaya, 1998).

Biorremediación. Se ha comprobado una función importante de las micorrizas en eliminación de compuestos xenobióticos (Ferrera-

Cerrato y Alarcón, 2004). Además, las micorrizas tienen mecanismos de tolerancia a metales pesados (González, 2002).

4.8.7. La simbiosis planta y micorrizas

De la Vega (2006) menciona que la simbiosis se realiza de la siguiente forma: se produce identificación mutua planta-hongo/hongo-planta en la rizósfera, o en regiones próximas a las raíces. Se produce un acercamiento y acoplamiento progresivo y gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular al formarse una estructura que ata ambas biomasas. Durante la colonización se producen cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbiontes (hongo-raíz) y, por último, se produce una alteración de las actividades enzimáticas que se coordinan entre los simbiontes para integrar sus procesos metabólicos (De la Vega, 2006).

Se han realizado diversos trabajos de investigación donde se ha buscado la eficiencia de estos microorganismos en diferentes cultivos como: frijol, maíz, cebolla entre otros.

Se han evaluado a estos microorganismos bajo diferentes condiciones como invernaderos, lugares semidesérticos, lugares costeros, bosques, encontrándose buenos resultados a continuación se presentan algunos trabajos específicamente en el cultivo de maíz.

En un experimento de maíz realizado en el estado de Chiapas (INIFAP, 2010) durante el verano de 2010 dentro de un vivero bajo condiciones de temperatura media máxima de 34°C y temperatura media mínima de 17°C, se evaluaron los tratamientos de *Azospirillum,* A*zospirill*um + *Rizopaghus*, *Glomus*, y el testigo con solamente suelo, sin microorganismos. Los resultados fueron mayor inducción en el número de hojas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos donde se utilizó *Glomus sp.* Sin embargo, a los 140 días *Azospirillum brasilense* presentó número semejante de hojas con respecto al *Glomus*, y superaron ampliamente al tratamiento testigo. Se sugiere que esto pudo estar relacionado principalmente por el aumento en la capacidad de absorción de nutrientes y agua del sistema radical inducido por los microorganismos hacia la planta, especialmente por los hongos micorrízicos, en el caso de *A. Brasilense* se debió a la promoción de mayor crecimiento radical en la planta hospedera (Aguirre-Medina *et al*., 2014).

En otro experimento evaluando Azospirillum y Glomus en el estado de Puebla se encontró que la inoculación con *Azospirillum* produjo mayor rendimiento para el maíz hibrido (6.4 t ha^{-1}) en comparación al testigo que produjo solo 2.4 t ha^{-1} (Irízar-Garza *et al*., 2003).

En Tamaulipas se observó el efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de maíz donde se encontraron diferencias significativas ($p< 0.05$). La inoculación de *A. brasilense* incremento el rendimiento de grano del maíz 15% más que el del testigo absoluto que fue sin fertilización e inoculación (García-Olivares *et al*., 2012).

Cid-Carpio (2014). Trabajó con variedades criollas e hibridas en Guerrero, donde evaluó fertilización de 160 kg N ha^{-1}, 80

kg N ha $^{-1}$, *Glomus* y *Azospirillum,* encontrando que la variedad criolla Vandeño de Guerrero fertilizada solo con 160 kg N ha en rendimiento no mostró diferencias significativas, la mejor fue fertilización de 160 kg N ha $^{-1}$ más *Glomus* y *Azospirillum*; en el caso de las variedades hibridas la variedad H-562 fertilizada con 80 kg N ha $^{-1}$, *Glomus* y *Azospirillum* fue la mejor.

Otro estudio se realizó en Azad, Tabriz, Irán donde se trabajó con una variedad de maíz palomero, se utilizó un fertilizante nitrogenado, se tuvieron tratamientos con fertilización completa, combinado con *Azospirillum lipoferum* al 25%,50%,75% y sin fertilizar. La inoculación con *Azospirillum* aumentó 19.38 % el rendimiento de grano, también aumentó el contenido de N, P, Fe, y Zn en 11.87, 16.66, 7.39, y 5.95 % respectivamente con el testigo sin nitrógeno (Davaran-Hagh *et al*., 2015).

Otro estudio realizado en Colombia, se analizó la adaptabilidad del maíz a la aplicación de Glomus. Se tuvieron tres tratamientos con 1,40 y 100 mg kg $^{-1}$ de P en el suelo y los anteriores niveles más *Glomus* spp. Los resultados muestran que los mayores contenidos de fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio se presentan con los más altos niveles de fósforo disponible en el suelo (100 mg/kg), especialmente en presencia de *Glomus* spp. Seguidos de la concentración media de (40 mg.Kg $^{-1}$) mientras que las menores concentraciones se encuentran en el testigo (1 mg kg $^{-1}$). Se observó que plantas asociadas a Glomus presentaron mayores índices de crecimiento expresados en biomasa (materia seca y área foliar) como consecuencia a la mayor asimilación de los nutrientes especialmente el fósforo (Roveda y Polo, 2007).

Otro estudio se realizó en la Universidad de Nebraska, Estados Unidos, en un suelo de textura limoso-franco-arcilloso. Se trabajó en dos sistemas de cultivo que fueron monocultivo y sistema de rotación de maíz y cinco niveles de aplicación 50, 100, 150, y 300 kg N ha^{-1}. Los microorganismos utilizados fueron micorrizas arbusculares. Los resultados mostraron que la rotación de cultivos y la aplicación de N no superó significativamente al tratamiento donde se utilizó Micorrizas *Arbusculares* (Tian *et al.,* 2012*).*

V. Materiales y Métodos

5.1. Localización

La población de San Pablo Tepetzingo está situada a 1,420 metros de altitud sobre el nivel del mar con coordenadas geográficas de 18° 25' 19’’ Longitud Oeste, y 97° 20' 26'' de Latitud Norte (Figura 1).

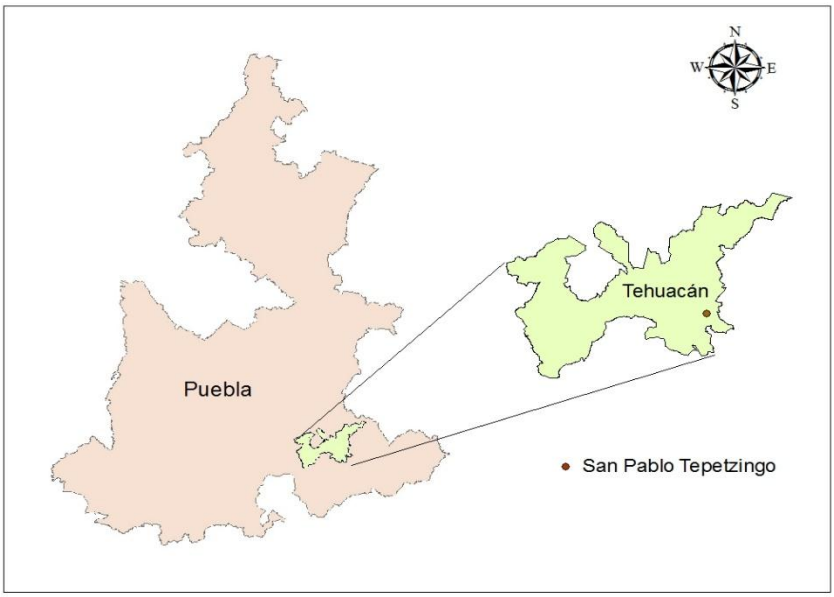


Figura 1. Mapa de la ubicación del experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla.

En el lugar predomina un clima seco semiárido con lluvias en verano y escasas a lo largo del año. La precipitación media anual es de 300 mm, con una temperatura media anual de 22 a 30°C y vientos promedios de 40 km h^{-1}. Los suelos son de tipo Vertisol según el análisis de suelo, el cual muestra ser de tendencia arcillosa, de origen aluvial, muy variables en su fertilidad, con un pH promedio de 8.

5.2 Establecimiento del experimento.

Se establecieron dos experimentos en los terrenos del ejido de San Pablo Tepetzingo perteneciente al Municipio de Tehuacán en el Estado de Puebla. Uno fue en el ciclo febrero-junio de 2014 y el segundo en el ciclo Septiembre 2014-enero 2015.

5.2.1 Análisis de suelo

La toma de muestras se realizó con una barrena en varios puntos del terreno a una profundidad de 0-30 cm, estas se juntaron en una misma bolsa, resultando una por cada experimento (Brady *et al.*, 1999). Posteriormente, las muestras compuestas fueron enviadas al laboratorio de edafología de la Universidad Tecnológica de Tehuacán, para su análisis.

5.2.2 Material vegetativo

Como material vegetal se utilizaron dos cultivares de maíz, identificados como AS-7573® y criollo Blanco Tehuacanero.

5.3. Preparación del terreno

Para el establecimiento del cultivo se preparó el terreno mediante en barbecho profundo. Posteriormente se realizaron dos pases de rastra con la finalidad de desmoronar los terrones que deja el barbecho, exponer a la intemperie algunas plagas del suelo y eliminar algunas malezas existentes en el predio. Posteriormente se trazaron surcos a 80 cm de separación.

5.3.1 Inoculación micorrízica de las semillas de maíz

La inoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradice* se hizo utilizando una solución de un litro de agua con 250 g de azúcar para que al impregnarse con la semilla se adhiriera la bacteria y el hongo. Para no afectar el potencial de germinación de las semillas de maíz de la variedad AS-7573® utilizadas en este trabajo, se eliminaron los restos de fungicida con agua corriente.

5.3.2 Siembra

La fecha de siembra del primer experimento fue el 2 de febrero de 2014 y el segundo fue el 27 de septiembre de 2014. La siembra se llevó acabo de manera manual para ambos genotipos de maíz estudiados empleando una distancia entre matas de 0.20 m., y se depositaron tres semillas a 5 a 8 cm de profundidad.

5.3.3 Fertilización y riegos

La fórmula de fertilización utilizada fue la 120-60-100 de N-P-K, respectivamente. Las fuentes utilizadas fueron Urea (209.84 Kg Ha^{-1}), el DAP (130.43 Kg Ha^{-1}) y el Cloruro de Potasio (166.66 Kg Ha^{-1}) (INIFAP, 2014). Esta fue aplicada en dos momentos: en el aporque se aplicó el 50% del nitrógeno y el 100% de Fósforo y Potasio y el resto del Nitrógeno en el segundo riego de auxilio,

El riego se realizó en forma rodada y se contemplaron al menos 6 riegos distribuidos en todo el ciclo del cultivo.

CUADRO 1. Número y fechas de riego del 1er experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla.

Riego	Fecha
1er	29 de enero
2do	28 de febrero
3ero	24 de marzo
4to	10 de abril
5to	25 de abril
6to	10 de mayo

CUADRO 2. Número y fechas de riego del 1er experimento en la comunidad de San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla.

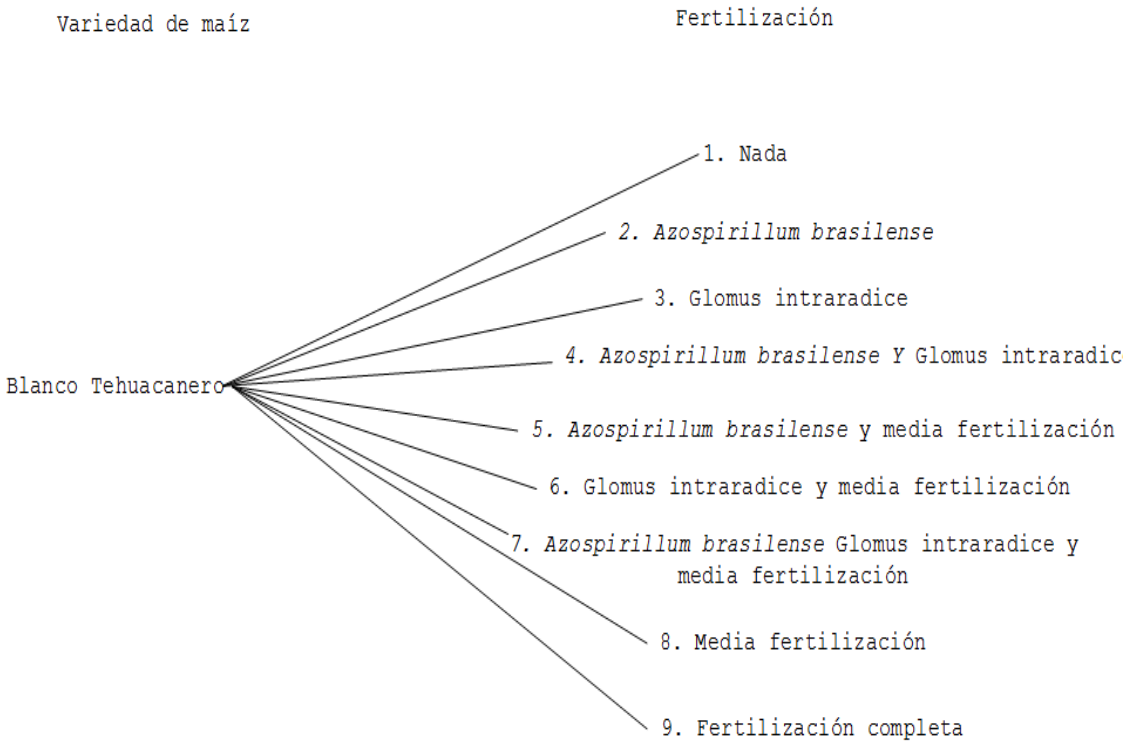
Riego	Fecha
1er	2 de septiembre
2do	25 de septiembre
3ero	24 de octubre
4to	2 de noviembre
5to	17 de noviembre
6to	30 de noviembre

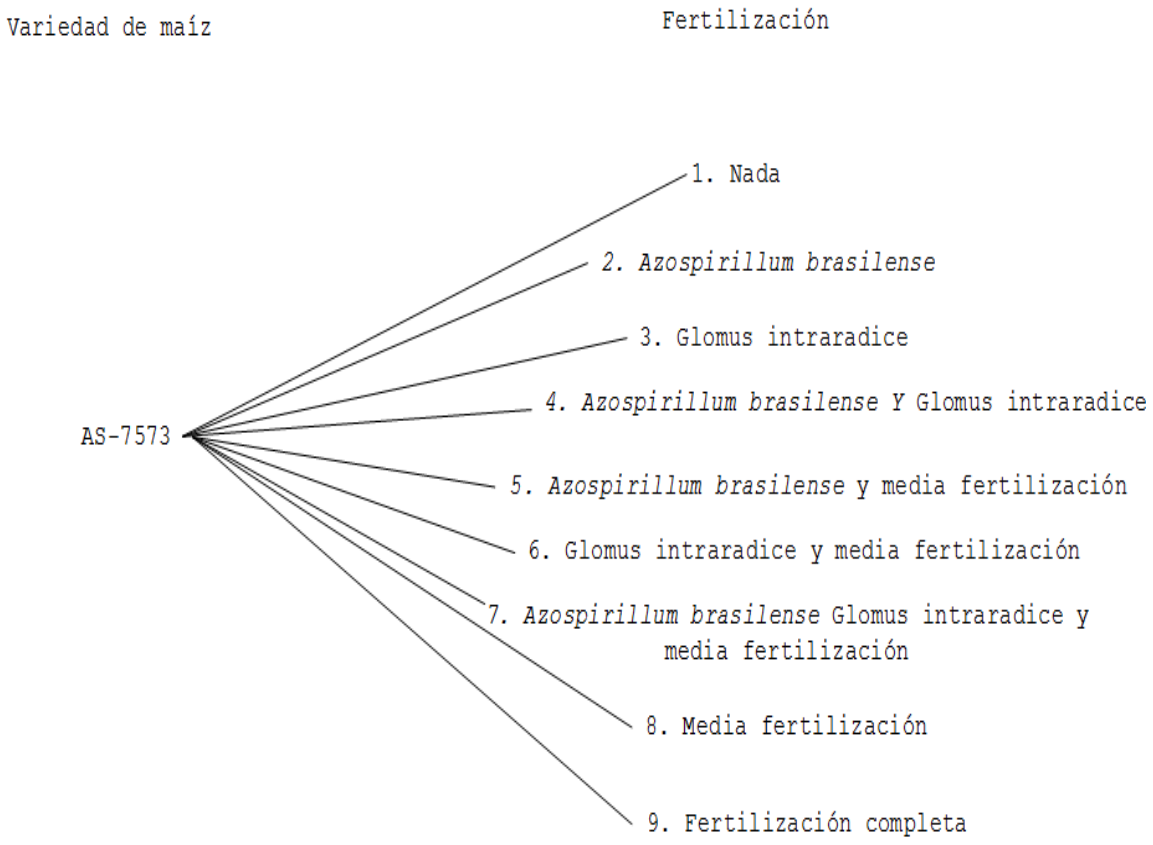
5.3.4 Temperatura y precipitación. En los dos experimentos, la temperatura y la precipitación fue tomada por la estación meteorológica de la Universidad Tecnológica de Tehuacán.

5.4. Diseño Experimental

El diseño experimental fue en bloques al azar con arreglo factorial 3x2, donde los factores fueron las dos variedades de maíz y tres tipos de fertilización.

La unidad experimental estuvo conformada de cuatro surcos de 5 metros de largo de los cuales se utilizaron solamente los dos centrales para todas las mediciones. Estableciéndose dieciocho tratamientos y tres repeticiones que a continuación se describen:





Las mediciones dieron inicio con el conteo de días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), que fueron determinadas hasta que el 50% de la población de plantas tuvieron anteras dehiscentes y estigmas expuestos. Ya que las plantas habían desarrollado el elote y el grano comenzaba a ponerse macizo, se identificaron tres plantas representativas por cada parcela, en las que se les midió: Altura, que fue tomada desde la base del tallo hasta el final de la espiga, hojas arriba y debajo de la mazorca.

El número de hojas se determinó contando las hojas verdaderas formadas, El diámetro de tallo se tomó utilizando un vernier midiendo en la base del tallo.

Para el rendimiento de grano, en cada parcela se cosecharon los dos surcos centrales, se contaron las mazorcas y la producción fue pesada en una báscula. Una vez pesada la producción de cada parcela, se tomaron tres mazorcas las cuales fueron pesadas y se introdujeron en una bolsa de papel y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C hasta alcanzar un peso constante. Una vez secas las mazorcas, se desgranaron manualmente y se pesó el grano y el olote por separado, datos que se utilizaron para obtener el factor de desgrane y humedad y con ello ajustar el rendimiento por unidad de superficie.

5.4.1 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un Anova y para la comparación de medias se utilizó una prueba de Tukey, mediante el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2015)

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de suelo de ambos experimentos

Los resultados obtenidos para el análisis de suelo (Cuadro 3), muestran que el pH de ambas localidades es alcalino. El porcentaje de la materia orgánica (MO) es bajo, al igual que la cantidad de macro y micronutrientes. La textura que presentan los suelos es arcillosa.

Tabla 2: Análisis de suelo de los experimentos establecidos en San Pablo Tepetzingo.

	1er. Experimento	2do. Experimento
MO (%)	0.54	0.50
pH	8.6	8.7
N ppm	10.01	8.09
Arena (%)	3.0	3.0
Limo (%)	9.0	10.0
Arcilla (%)	88.0	87.0
Textura	Arcillosa	Arcillosa
Ca (meq/100g)	7.23	8.32
Mg(meq/100g)	2.15	2.53
Na(meq/100g)	0.74	0.81
K (meq/100g)	0.33	0.48
P (mg/kg)	9.7	13.5
Fe	3.5	1.9
Cu	2.1	2.0
Zn	0.7	0.4
Mn	1.9	1.6

Condiciones climatológicas de los experimentos en San Pablo Tepetzingo

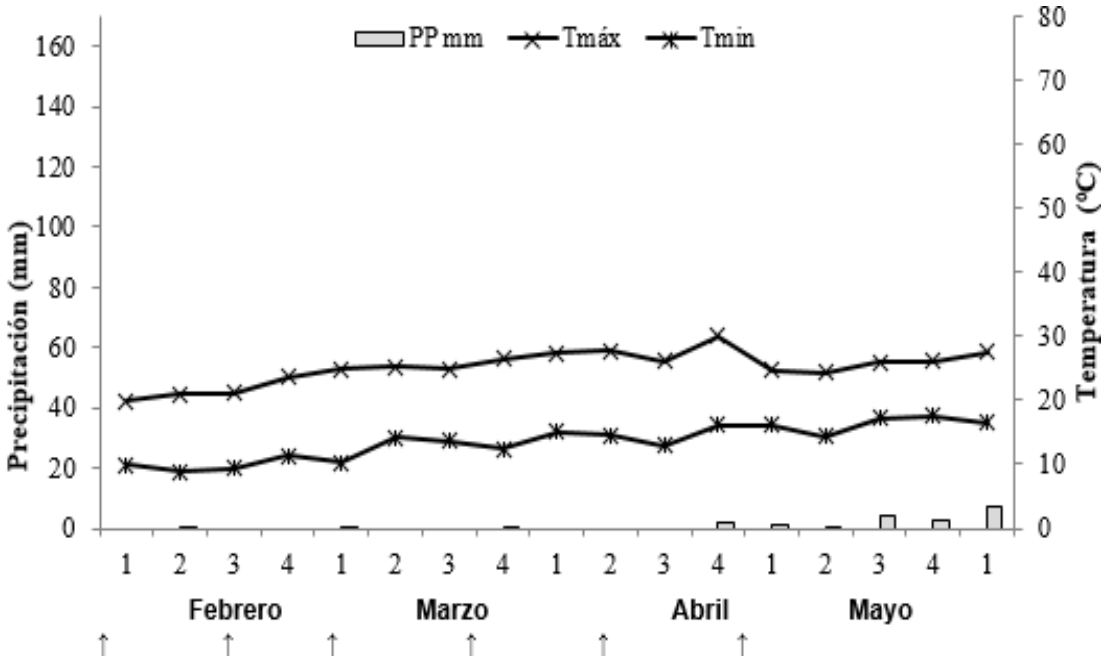


Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas y precipitación pluvial en el 1er. Experimento San Pablo Tepetzingo.

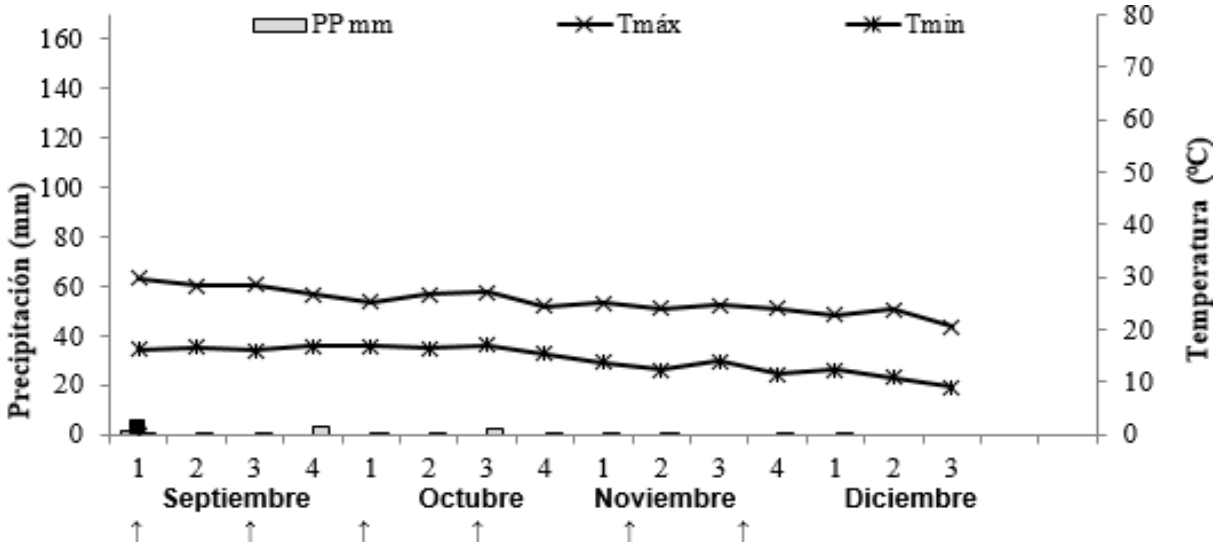


Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas y precipitación pluvial en el 2do. Experimento San Pablo Tepetzingo.

6.1.4. Análisis de las variables de los experimentos

Altura de planta

La altura de planta para los factores de estudio en cuestión en el primer experimento fue igual para las dos variedades de maíz (P>0.27). De igual forma, la condición de nutrición no afectó dicha característica (P>0.25). En promedio se tuvo una altura de 156 cm (Figura 2).

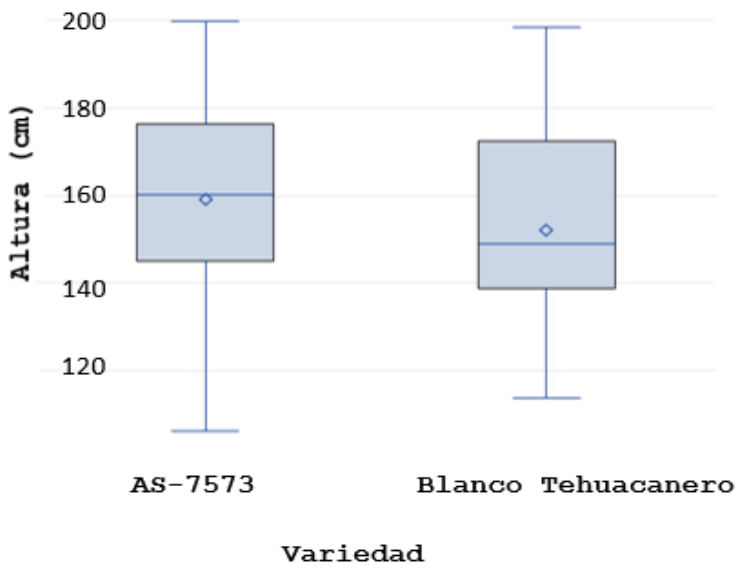


Figura 4. Comparación de las variedades AS-7573 y blanco Tehuacanero para la variable altura de planta.

Para el segundo experimento con respecto a la altura, siendo más alta mostrando diferencia significativa (P<0.05) la variedad Tehuacanero con 124 cm, respecto de la As-7573, que tuvo 0.92 cm.

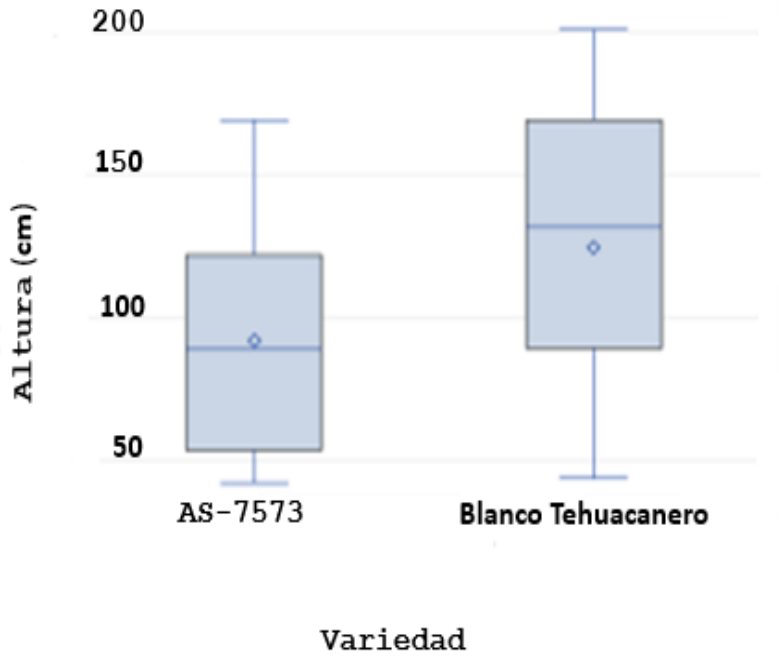
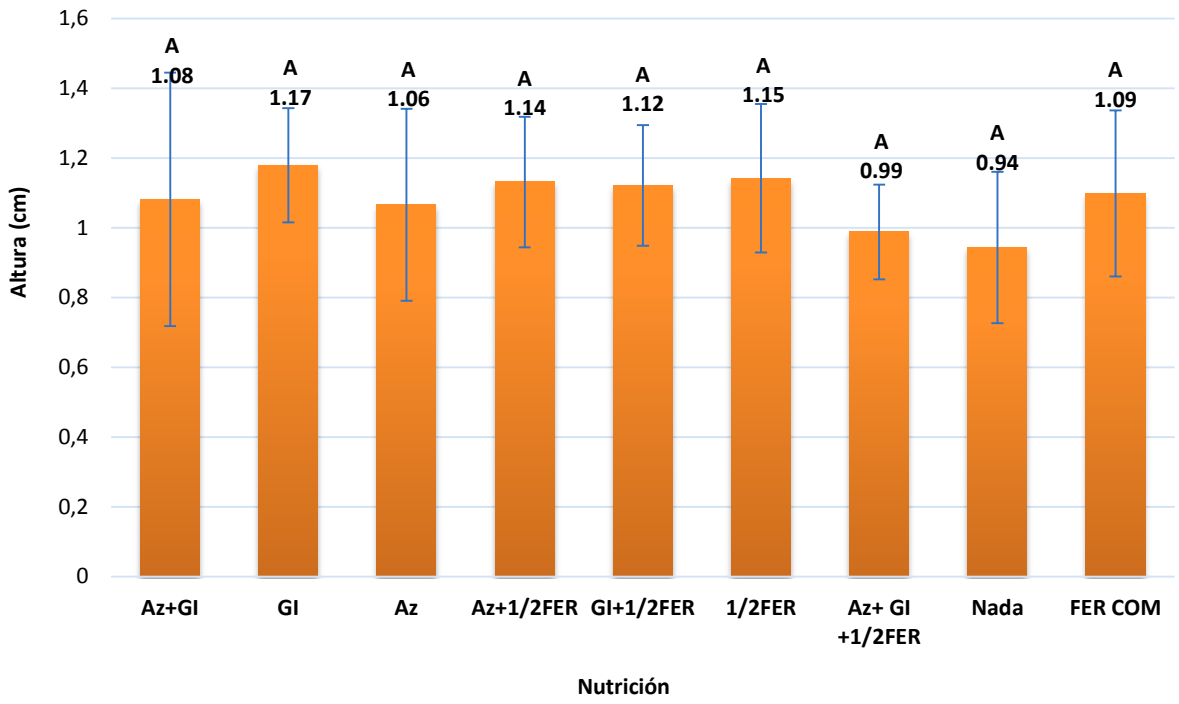


Figura 5. Comparación de las variedades AS-7573 y blanco Tehuacanero para la variable altura de planta

Hay investigadores que han reportado resultados positivos en altura de planta; tal es el caso de Díaz *et al*. (2007) quienes señalaron que la aplicación de *Glomus* aumentó la altura de planta en sorgo. Martínez y Peña (2006), reportaron que con el uso de estos microorganismos al menos 25 % incrementaron la altura de la planta cuando se aplicaron por separado.

De acuerdo a los resultados en los presentes experimentos no se detectaron diferencias, lo que puede implicar que esta característica es menos influenciable.
A continuación se presenta la distribución de la altura de plantas de los experimentos (figura 3 y 4).



1 **Figura 6.** Promedio de Altura de plantas de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

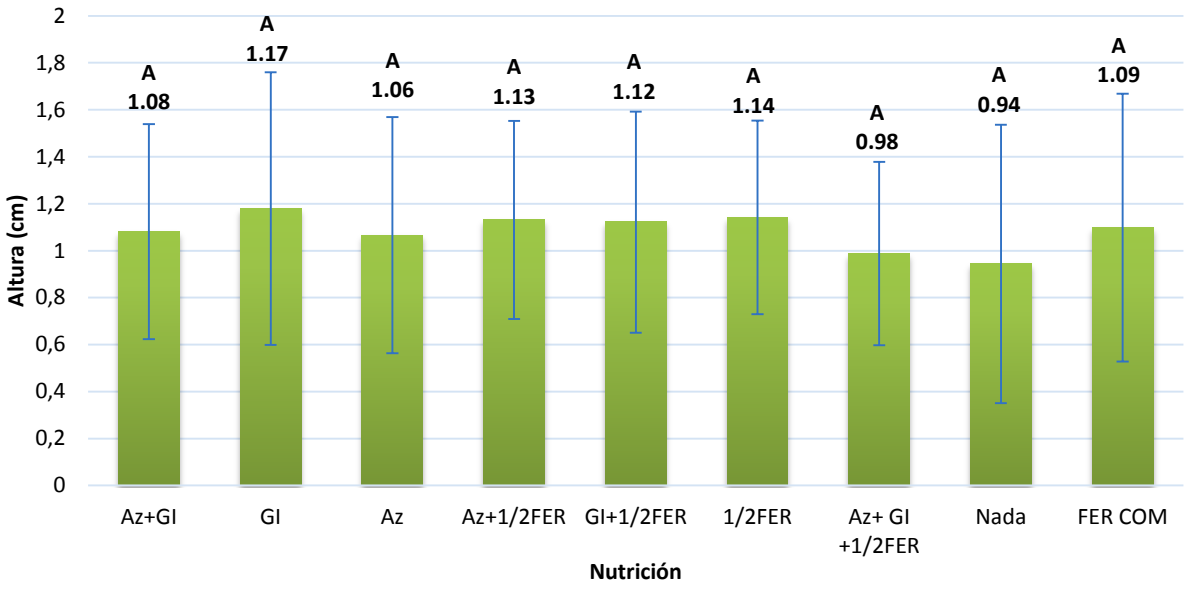


Figura 7. Promedio de Altura de plantas de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

Variable Diámetro de tallo

El diámetro de tallo fue igual (P>0.94) para las dos variedades de maíz, y no fue afectado por la condición de nutrición (P>0.71). En promedio se tuvo un diámetro de 31.6 mm (Figura 6). Para el segundo experimento sucedió algo similar; las variedades no mostraron diferencias significativas (p>0.54) en diámetro de tallo y la condición de nutrición no afectó dicha característica (P>0.55). En promedio se tuvo un diámetro de 24.87 mm (Figura 7).

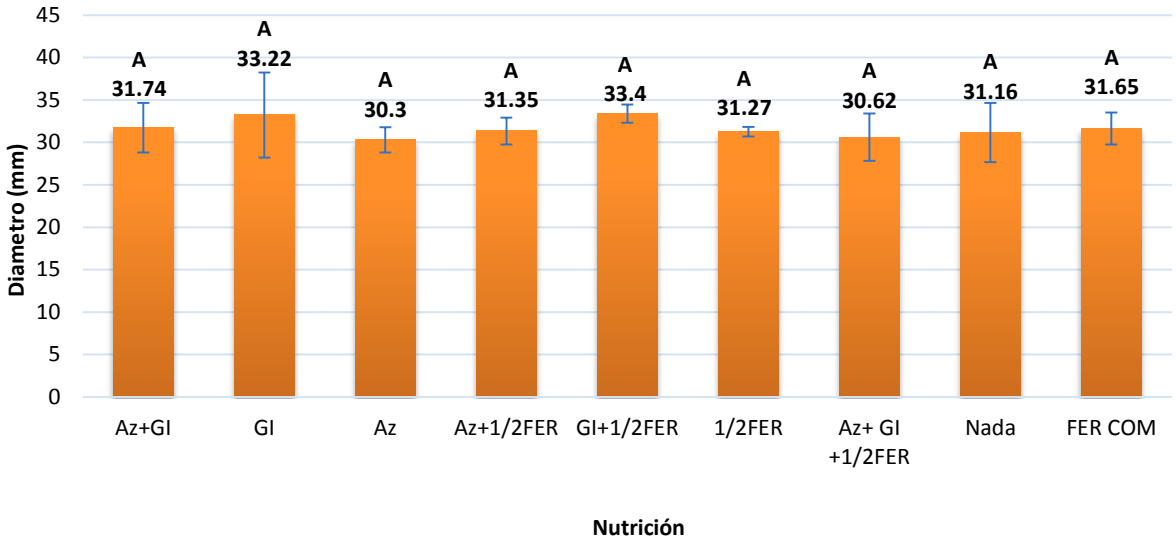


Figura 8. Promedio de Diámetro de 1er experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla

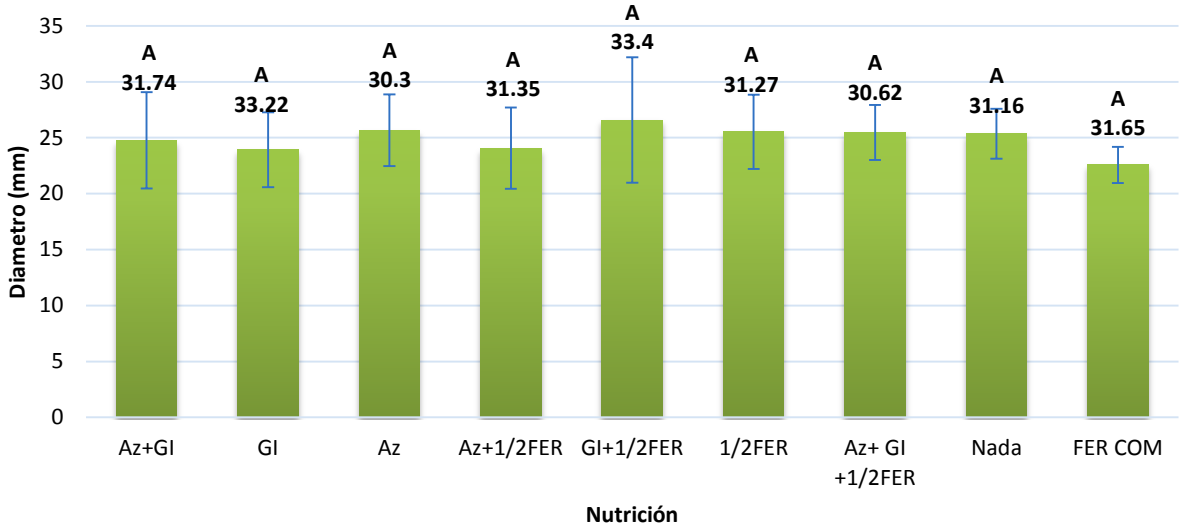


Figura 9. Promedio de Diámetro del 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

Variable Número de hojas

En el primer experimento el número de hojas no fue diferente (P>0.080) entre variedades; de igual modo, la condición de nutrición no afectó (P>0.07) dicha característica (Figura 9).

Para la segunda siembra se observa que para el factor variedad las dos variedades de maíz fueron iguales (p>0.79) en el número de hojas, y la condición de nutrición tampoco afectó (P>0.55) dicha característica (Figura 10).

En promedio se tuvo un número de hojas de 12, esta medición coincide con los de Robles (2004), el cual en esta variable menciona que no fue una indicadora del efecto de los tratamientos.

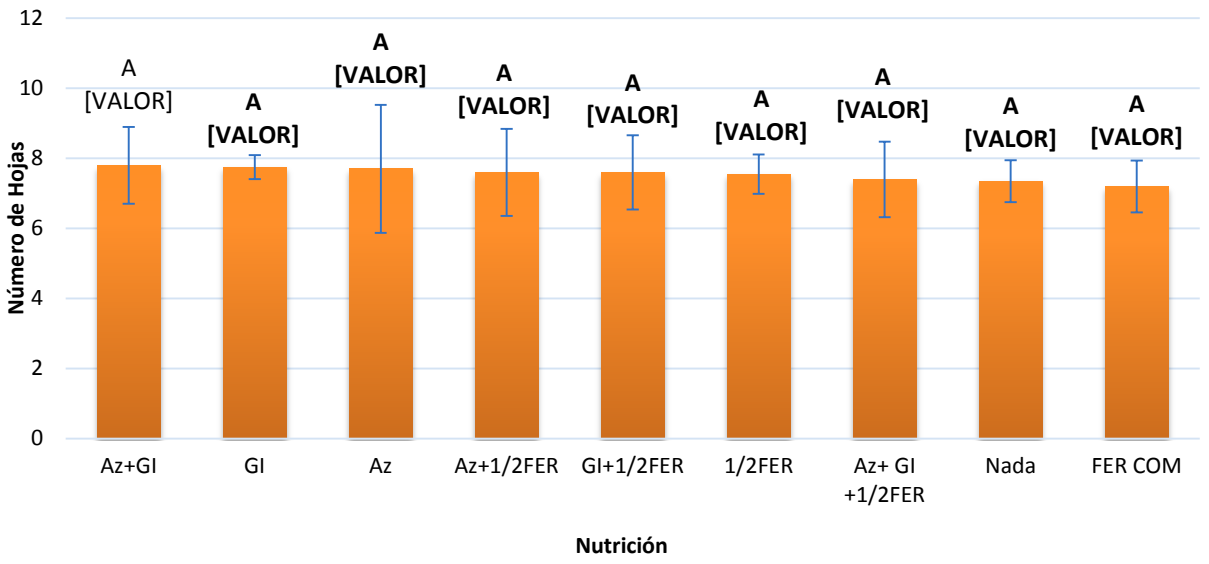


Figura 10. Promedio de número de hojas de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

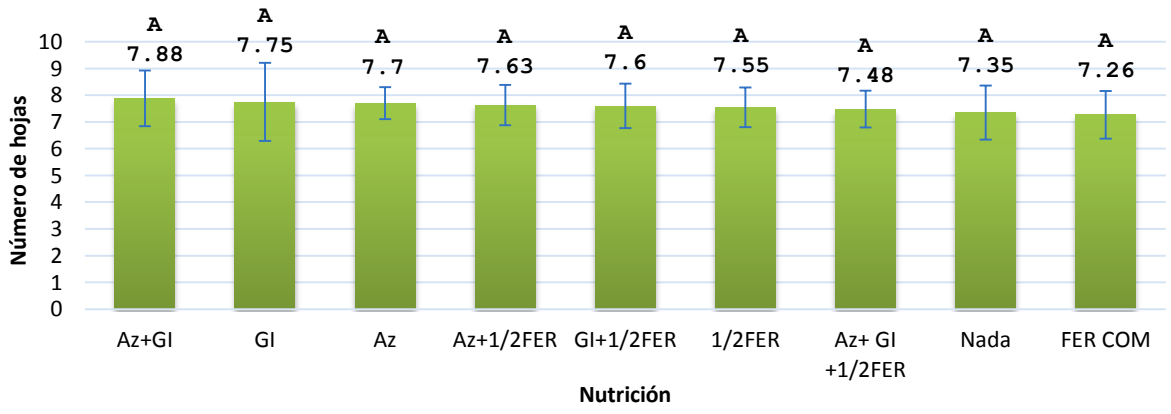


Figura 11. Promedio de Número de hojas de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

Variable Rendimiento de grano

En el caso del primer experimento el rendimiento de grano no mostro diferencias significativas (P>0.0553) entre variedades, que en promedio rindieron 6967 t ha^{-1}. Por el contrario, la condición de nutrición si afectó (P< 0.0027) el rendimiento. Las plantas que estuvieron en la condición sin fertilización, rindieron 5025 t ha^{-1} (Figura 14).

Para el segundo experimento el rendimiento de grano no exhibió diferencias significativas (P>0.0841) entre variedades, que en promedio rindieron 6531.65 t ha^{-1}. Por el contrario, la condición de nutrición si afectó (P≤ 0.0016) el rendimiento. Las plantas que estuvieron en la condición sin fertilización, rindieron 3341 t ha^{-1} (Figura 15). En los dos experimentos la diferencia con el testigo (al que no se le aplicó nada) fue de al menos de 1900 t ha^{-1}.

Estos resultados coinciden con los de Gui-Yun Zhang *et al.* (2011) quienes mencionan que al utilizar *Glomus* se absorben de mejor manera los nutrientes como el P y el N, y por consecuencia se mejoran los cultivos.

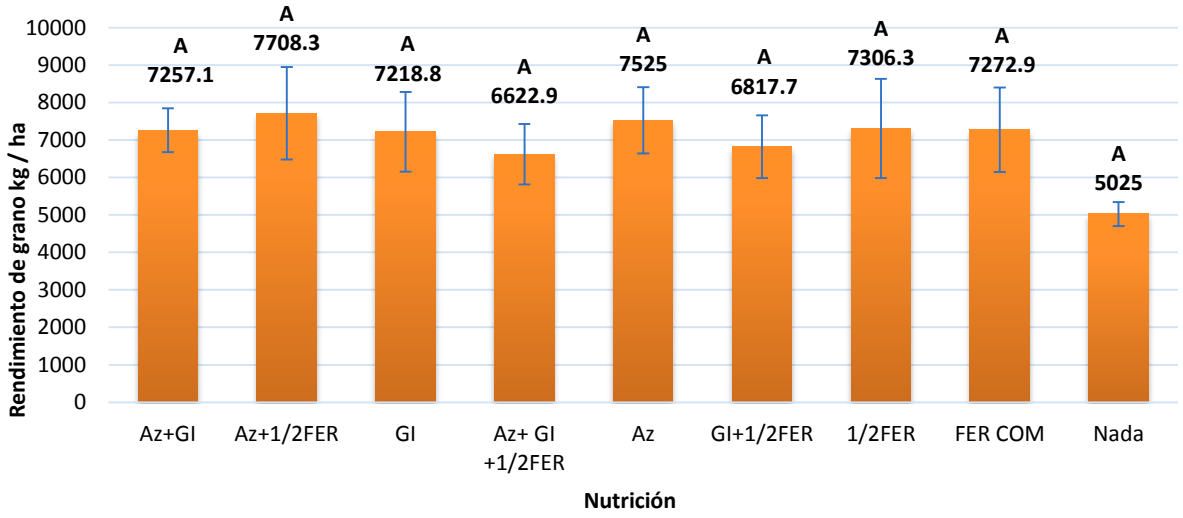


Figura 12. Promedio de Rendimiento de 1er. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

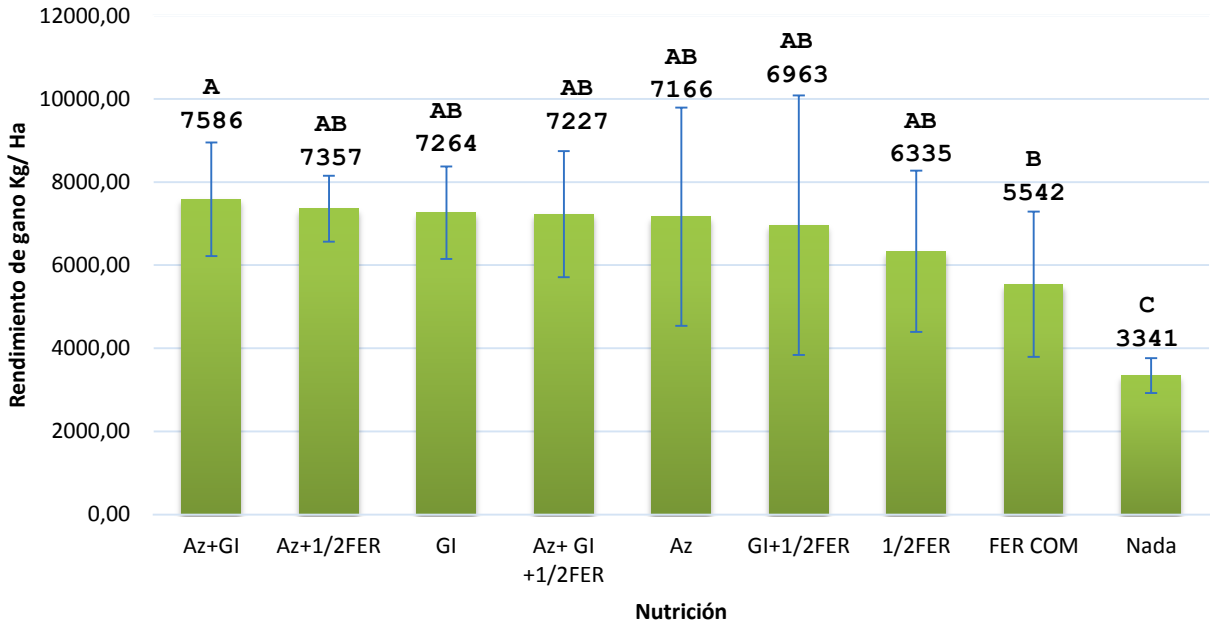


Figura 13. Promedio de Rendimiento de 2do. Experimento a los 150 días, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla.

En donde se utilizó el *Glomus* y *Azospirillum* más fertilizante hubo una respuesta favorable (Barea, *et al*.,2002; Morgan *et al*., 2005) menciona que puede ser debido a la simbiosis generada que predispuso más liberación de nutrientes del suelo, comparado con el testigo donde no hubo ni fertilización y tampoco no hubo aplicación de microorganismos. Estos resultados coinciden con Tian *et al*. (2010), quienes afirman que la fertilización química nitrogenada en tasas agronómicas tiene un impacto mínimo en comparación con la inoculación de microorganismos.

En el primer experimento que se realizó, el terreno utilizado había tenido previamente alfalfa. Esta leguminosa es fijadora de N (Barea *et al*., 2002), lo que influenció en tener una respuesta favorable en los tratamientos de media fertilización.

La producción de grano en el segundo experimento se vio disminuida, ya que en este no había antecedentes de siembra de alfalfa. Otro aspecto a valorar es la fecha de siembra el primer experimento se realizó en primavera-otoño y el segundo fue en otoño-invierno. Analizando la temperatura y precipitación se observa que en el primer experimento se encontraron las mayores temperaturas y la precipitación fue mayor, aun cuando se realizaron el mismo número de riegos. Esto en parte puede explicar los rendimientos mayores obtenidos en el primer experimento.

El uso de microorganismos desde la semilla, por una parte, indujo una simbiosis y se encontraron beneficios nutrimentales para las plantas desde las primeras etapas de crecimiento del cultivo. Algunos autores como Aguirre-Medina *et al. (2011)* mencionan que la utilización de microrganismos benéficos a base de hongos micorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno favorece el desarrollo vegetal y productivo del maíz, mejorando la productividad en cuanto a rendimiento de grano, mediante la fijación del N atmosférico. Otros autores como Davaran-Hagh *et al.* (2015) mencionan que con la bacteria *Azospirillum* se producen reguladores de crecimiento como giberelinas, citocinas y auxinas, estos reguladores aumentan el acceso a los nutrientes y se producen enzimas que solubilizan los fosfatos quedando más accesibles a la planta. Hernández-Salinas (2012) también al aplicar *Azospirillum* menciona que se puede facilitar la absorción de microelementos, por tanto se puede reducir la necesidad de aplicar fertilizantes químicos (Auge *et al.*, 2003).

De acuerdo a Morgan *et al.* (2005) el uso del *Glomus* incrementa la adquisición de nutrimentos, debido a que las hifas del hongo aumentan el acceso a mayor volumen de suelo y penetran los

poros reducidos inaccesibles para el sistema radical, además de la exudación de fúngica de los mucilagos, que lubrican las raíces para facilitar sus movimientos en el sustrato y absorban minerales y agua. Por otra parte Tian *et al*. (2010) menciono que la frecuencia de la aplicación de microorganismos con un nivel de fertilización nitrogenada puede tener implicaciones importantes para lograr agroecosistemas sostenibles ya que reduce los costos de producción al disminuir el uso de fertilizantes químicos.

Todo esto sugiere que utilizar microorganismos benéficos como *Glomus* y *Azospirillum* puede ser parte fundamental para sistemas agrícolas sustentables ya que por una parte se cuida del medio ambiente, y por otra parte se reducen los costos de producción.

VII. CONCLUSIÓN:

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que: El uso de *Glomus* y *Azospirillum* aumentó el rendimiento en grano.

El rendimiento que presentaron las dos variedades de maíz fue similar al utilizar *Glomus* y *Azospirillum* comparado con el uso de productos químicos, con la ventaja de que los primeros pueden reducir el daño ambiental.

El uso de biofertilizantes como *Azospirillum* y *Glomus* es una excelente oportunidad para recuperar y mejorar las condiciones del suelo, y para disminuir las cantidades de Nitrógeno utilizadas habitualmente y esto dará al productor una mayor sostenibilidad en la producción de maíz.

VIII. LITERATURA CITADA

Aguirre, M.J., Moyoqui O., Mendoza, L.A., Cadena, I.J. Avendaño, A.C., Aguirre, C.J.F. 2011. Aplicación de A. *brasilense* y G.*Intraradices* a Coffe arabica en vivero. Agron. Mesoam. 22 (1): 1-10

Aguirre, M. J., Culebro, C.F., Cadena, I.J., Aguirre, C.J.F. 2014. Crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii Rose* inoculada con hongos micorrízicos y *Azospirillum brasilense. Agrociencia 48:* 331 a 345.

Allen, M.F. 1991. The Ecology of Mycorrhizae. Ed. Cambridge University Press.

Arruda, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., López, C., Bertolo, F., Luciane, M., Vargas, L. 2012. Proyección de rizobacterias aisladas de maíz (*Zea mays* L.) en Rio Grande do Sul estado (Sur de Brasil) y el análisis de su potencial para mejorar el crecimiento de plantas. *Journal Applied Soil* Ecology.15-22 pp.

Augé, R.M., Stodola, J.W., Tims, J.E. and Saxton, M. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal Soil Plant. Soil 230: 87-97.

Augé, R.M., Moore, J.L, Cho, K., Sylvia, D.M., Al-Agely, A.K. and Saxtón, A. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris t*o soil and root colonization by hyphae. J. Plant Physiol. 160:1147-1156.

Azcón,B.J., Talón, M.2003. M. Fundamentos de Fisiología Vegetal. mcgraw-hill-interamericana.

Barea, J.M., Azcón, R. and Azcón, A. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. Antonie Van Leeuwenhoek Int. J. General Molecular Microbiol. 81 (1-4): 343-351.

Barea, J., Bonis, A., y Olivares, J. 1985. Interacciones entre *Azospirillum* y micorrizas VA y sus efectos en el crecimiento y la nutrición de maíz y raigrás. *Soil Biol. Biochem*. Vol. 15, No.6, pp. 705-709 pp.

Brady,N.C. and Weil, R.R. 1999.The nature and properties of soils. Prenticie Hall, Upper Saddle River, NJ. Vol.1 pp. 70-70 pp.

Caballero, J. 2001. Estudio de la distribución y la diversidad genética de algunas especies de diazótrofos, México DF. 2 pp.

Caballero, M. J. 2003. "El género *Azospirillum*", FIAGRO, Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria, El salvador. 5-13 pp.

Cid, A. 2014.Calidad de rendimiento de maíz en función del tipo de fertilización en ambientes contrastes. Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, Montecillo Texcoco, Edo. De México. 88-96 pp.

Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo ITP and International Thomson Publishing Company. Madrid-España. 416 p.

Davaran, H. E., Mishekari, B., Reza, A. M., Farahvash, F. and Rejali, F. 2015. Azospirillum lipoferum and nitrogen fertilization efect on chlorophyll content, nutrients uptake

and Biometric properties of *Zea mays* L. Agrociencia 49:889-897.2015.

De La Vega, J. 2006. Suelos y Ecosistemas, Las micorrizas de mayor importancia Producción masiva. Disponible en www. jdelavegalgooglepages.com

Díaz, F. A., Garza, C. I. 2007. Crecimiento de genotipos de sorgo y cártamo asociados a la colonización micorrízica arbuscular en suelo con baja fertilidad. Rev. Universidad y Ciencia. Trópico húmedo. 23(1): 15-20.

Dileep, K.B.S. y Dubet, H.C. 1992. Seed bacterization with a fluorescent Pseudomonas forenchanced plant grow yield and diesease control. Soil Bil. Biochem. 24: 539-542

Dilfuza, E. 2007. El efecto de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el crecimiento y la absorción de nutrientes del maíz en dos suelos diferentes. Centro de Agroecología de la Universidad Estatal de Tashkent.Uzbekistan 184-189 p.

Duchicela, J. y González, M. 2003. La micorriza arbuscular en el contexto de la agricultura Sustentable, monografía CEINCI. 19p.

Ferrera, C.R. Y Alarcón, J. 2002. Aplicación de hongos micorrízicos en viveros. In: Producción y control de calidad de inoculantes agrícolas y forestales. COMIAF-CP-INIFAP-SMCS. Texcoco, México. P 1-14.

Frank, B. Salesbury, Cleon, W.R. 2000. Fisiología de las plantas. paraninfo: Thomson larning

García, N., Romo, J. F, Bolarín, M. 2010. The Effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. Science Horticulture. 125: 211-217

García, O.J., Mendoza, H. A., Mayek, P.N. 2012. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de maíz en el norte de Tamaulipas, México. Universidad y Ciencia. 28(1):79-84.

Gollner, M., Puschel, D., Rydlova, J., Vosatka, M. 2006. Efecto de la inoculación con levaduras del suelo en simbiosis micorrízica del maíz, Department of Sustainable Agricultural Systems, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria, Available online at www.Scienciedirect.com

González, C., Monroy, A., García, E. y Orozco, M. 2005. Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (hma) en el desarrollo de plántulas de Opuntia streptacantha Lem. Sometidas a sequía en condiciones de invernadero, Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 8(1):5-10.

Hernández, S.M. 2012. Variedad de *Azospirillum* en respuesta a la concentración de Nitrógeno inorgánico en lechuga romana. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División Agronomía.

Irizar, G.M., Vargas, V.P., Garza, G.D., Tuth, C.C., Rojas, M. I., Trujillo, C.A., García, S.R., Aguirre, M.D., Martínez, G. J.C., Álvaro, M.S., Grageda, C.O., Valero, G.J., Aguirre, M.J.F. 2003. Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. Agricultura Técnica en México. 29(002): 213-225.

Itzigsohn, R., Burdman, S. y Okon, Y. 2000. Plant growth promoting in natural pastures by inoculation with *Azospirillum brasilense* under suboptimal conditions. Arid Soil Research and Rehabilitation. 13: 151-158

León, D. 2006. Evaluación y Caracterización de Micorrizas Arbusculares asociadas a Yuca (Manihot esculenta sp) en dos regiones de la amazonia colombiana. Trabajo de tesis para el titulo de microbiólogo, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Levanony,H. Y Bashan Y. 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense* to root surface of non-cereal plants and to sand particles. Plant Soil. 137: 91-97

Lira,S.R., Hernández,P.A, Valdez,A.L., Ibarra,J.L. y Cárdenas,F.A. 2011. Uso de los biofertilizantes para la producción orgánica de tomate cherrry en condiciones de casa sombra. Agrícultura Sostenible. 7: 106-117

Martínez,M.J. y Peña,R.M. 2006. Efecto de la biofertilización en el rendimiento de grano de trigo bajo temporal en la región central de Nuevo León. INIFAP. Congreso Nacional de Ciencias de los Suelos.

Martinez, R., Dubut, B., Casanova, I. y Ortega, M. 1997. Acción estimuladora de *Azobacter chroococum* sobre el cultivo del tomate en suelo ferralítico rojo. Efecto sobre los semilleros. Agrotecnia de Cuba. 24(11): 59-65

Martinez, R., Dubut, B. 1996. Los biofertilizantes como pilares básicos de la agrícultura sostenible. En: INIFAT. Curso taller "Gestión medio ambiental de desarrollo rural. Cuba INIFAT. 63-81

Manoharan, J., Bala, K., Puneet, S., Charlotte, S., Rashedul, I., Muthukumaran, D. 2012. Supervivencia de *Azospirillum brasilense* flocula las células en alginato y su inoculación efecto sobre el crecimiento y rendimiento de maíz bajo déficit-hídrico, European.European.Journal.of.Soil.Biology.journal. homepage:http://www.elsevier.com/locate/ejsobi

Morgan, J.A, Bending, G.D., White, P.J. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. J. Exp. Bot. 56: 1729-1739.

Murthy, M.G. y Ladha, J.K. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. Plant Soil 108: 281-285

Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R. 1995. Arbuscular Mycorrhiza Protect an Annual Grass from Root Pathogenic Fungi in the Field. *The Journal of Ecology*, Vol. 83, No. 6 pp. 991-1000.

Okon, Y. and Labandera, G.C. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biology and Biochemistry. 26: 1591-1601

Okon, Y. Y Zaady, E.1990. Condiciones culturales que influyen *Azospirillum brasilenze* agregación y adsorción a las raíces del maíz. Soil Biol. B&km. Vol. 22. No. 8. pp. 1103-I 107.

Parra, J. Y Cuevas, F. 2002. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. Cultivos Tropicales, vol. 23 num.3. Pp.31-41.

Rivera, M.D. 2008.Tesis de grado, optimización de un medio de cultivo para la producción de un inoculante con base en

Azospirillum brasilense C16, Universidad Francisco de Paula Santander Facultad de Ciencias Agrarias y del ambiente, Ingeniería de Producción Biotecnológica, San José de Cúcuta.

Roveda,G. y Polo,C. 2007. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus spp.* en suelos de bajo fósforo disponible. Agronomía Colombiana 25(2), 349-356.

Ruiz,L.J.M., Azcón,R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum* 95 (3), 472–478.

SAGARPA.2013. Rendimiento de maíz en el estado de Puebla Consultado en www.sagarpa.gob.mx

SIAP-SIACON. 2013. Producción de Maiz de riego y temporal en México. Consultado en www.siap.gob.mx

Schachtman,D.P.; Reid,R.J. y Ayling,S.M. 1988.Phosphorus uptake by plants: from soil to ell.Plant Physiol. 116:447-453.

Simon, L. 1996, Phylogeny of the Glomales: Deciphering the Past to Understand the Present. *New Phytologist*, Vol. 133, No. 1, pp. 95-101.

Tarrand, J.J., Krieg, N.R. and Döbereiner, J. 1978. A taxonomic study of the Spirillum lipoferum group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. And two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Canadian Journal of Microbiology. 24: 967-980

Tian, H., Drijber, R., Niu, X., Zhang, J., Li, X. 2011. Dinámica espacio-temporal de una comunidad de hongos micorrizas arbusculares nativos en un agro ecosistema de

maíz manejado intensivamente en el norte de China. Applied Soil Ecology.141-152 PP.

Vital, L. L. y Mendoza, H. A.2014. Azospirillum: Habitante de gramíneas. La Ciencia y el Hombre. Volumen XXVII, núm. 2.