

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida-Glomus spp* y ácidos húmicos sobre la disponibilidad de fósforo en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en un suelo calcáreo.

Por:

JUAN GELACIO ROBLES LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre de 1999**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SUELOS**

Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida-Glomus spp* y ácidos húmicos sobre la disponibilidad de fósforo en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en suelo calcáreo.

Por:

JUAN GELACIO ROBLES LÓPEZ

**Que se somete a consideración del H. Jurado
Examinador como requisito parcial para obtener el
título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS

Aprobado
Presidente del jurado

M.C. Blanca Valdivia U.

Sinodal

Sinodal

M.C. Rubén López C.

ING. Javier S. Torres A.

M.C. Jesús Valenzuela García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

AGRADECIMIENTOS

Delítate asimismo en Jehová, y él te concederá las peticiones de tu corazón. Encomienda a Jehová tu camino, Y confía en él y él hará.(Salmos 3:4-5). Con este texto agradezco a Dios el haberme concedido una de las tantas peticiones puestas en él.

Agradezco sinceramente a las dos personas que fueron para mi fuente de aspiraciones para llegar a esta etapa de mi vida a mis padres:

Rosalio Robles Luna y Aurora López Barrón.

Agradezco el apoyo brindado por mis hermanos en la fe: Fam. Escobedo Ponce y Fam. Escobedo Rodríguez. A la congregación de la iglesia de Cristo en la Isabel Amalia (Homero, Paco, Lili, Ruth, Adriana, Alejandra y Willy). A la congregación de la iglesia nacional presbiteriana EBEN-EZER (Sara, Gaby, Judith, Marcela, Elí, Edgar y Víctor). A la Rondalla Adonai. Gracias le doy a Dios por haberlos puesto en mi camino pues han sido de gran bendición para mi vida.

Agradezco el apoyo de todos mis familiares: Fam. López Martínez, Fam. Martínez López, Fam. López Cortinas, Fam. Hernández López, Fam. Cortéz López y Fam. Robles Cruz. Sinceramente no encuentro palabras para agradecerles dicho apoyo.

Agradezco a la M.C. Blanca Valdivia U. por su participación como asesora principal del presente trabajo, por su valiosa e importante ayuda, mostrando siempre y en cualquier lugar su gran calidad humana.

Agradezco al M.C. Rubén López C. por su amistad y participación como asesor en el presente trabajo.

Agradezco al Ing. Javier S. Torres A. por su amistad, confianza y participación en el presente trabajo.

Agradezco a todo el personal del Departamento de Suelos por el apoyo brindado a este trabajo.

Agradezco en particular a mis compañeros de la generación LXXXVI de la especialidad de Suelos, muy en especial a: Luz María Mendoza., Yisa María Ochoa F., Javier Pérez C., Abel Méndez A., Sergio Gómez V., Rubén Vite H., Eric San Román C. y Camilo Callejas C.

Agradezco a compañeros y amigos de la Universidad: Maribel Méndez, Miriam Blanco, Eva, Josefina Luna, Saúl Puentes, Oscar Munguía, Rosalba Portilla, Miguel Martínez, Matilde, Fabiola; a todos ellos, gracias por su sincera amistad.

Agradezco a todas aquellas personas que intervinieron directa o indirectamente en el presente trabajo.

Agradezco a mi "ALMA MATER" a quien debo parte de lo que hoy soy.

DEDICATORIA

A mis padres: Rosalio Robles Luna.

Aurora López Barrón.

Con profundo agradecimiento y admiración a las personas que han luchado por mi e impulsado siempre mi carrera, por enseñarme que el estudio es la base del éxito en la vida, y por muchas cosas más, les dedico este trabajo.

A mis familiares y hermanos en la fe

Por todo el cariño y apoyo que me han brindado siempre en cualquier tiempo y en cualquier lugar, a ustedes les dedico este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página.
Índice de cuadros.....	vii
Índice de figuras.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	4
1.2. Objetivo específico.....	4
1.3. Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Trigo.....	5
2.1.1. Clasificación taxonómica.....	5
2.1.2. Morfología.....	6
2.1.3. Fisiología.....	7
2.1.4. Requerimiento agronómico del cultivo.....	7
2.2. Rizobacterias.....	8
2.2.1. Rizósfera.....	8
2.2.2. Rizobacteria.....	9
2.2.3. <i>Pseudomonas</i>	10
2.2.4. Inoculación bacteriana.....	11
2.3. Micorrizas.....	12
2.3.1. Clasificación.....	13
2.3.2. Endomicorriza vesículo – arbuscular.....	14
2.3.3. Taxonomía.....	16
2.3.4. Morfología.....	16
2.3.5. Factores que afectan la simbiosis micorrízica.....	18
2.4. Dinámica del fósforo y el nitrógeno en el suelo.....	19
2.5. Malezas.....	21
2.6. Suelos calcáreos.....	23
2.7. Ácidos húmicos.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27

3.1. Localización del terreno.....	27
3.1.1. Caracterización del terreno.....	28
3.1.2. Preparación del terreno.....	29
3.2. Material vegetal.....	29
3.3. Material microbiológico.....	29
3.4. Inoculación de trigo.....	31
3.5. Siembra.....	31
3.6. Fertilización.....	32
3.7. Cosecha.....	33
3.8. Análisis químicos.....	34
3.9. Análisis estadístico.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	35
V. CONCLUSIONES.....	47
Resumen.....	49
Literatura citada.....	51
Apéndice.....	56

ÍNDICE DE CUADROS.

	Página.
Cuadro 2.1. Diferentes compuestos exudados por la raíz.....	10
Cuadro 3.1. Características físicas y químicas del suelo utilizado en el presente trabajo de investigación.....	28
Cuadro 3.2. Distribución de tratamientos.....	33
Anexo 1A. Cuadro de análisis de varianza de la variable contenido de fósforo en vástago.....	56
Anexo 2A. Cuadro de análisis de varianza de la variable contenido de fósforo en grano.....	57
Anexo 3A. Cuadro de análisis de varianza de la variable peso seco de vástago.....	57
Anexo 4A. Cuadro de análisis de varianza de la variable rendimiento.....	58
Anexo 5A. Cuadro de distribución de medias de la variable contenido de fósforo en vástago expresado en por ciento.....	58
Anexo 6A. Cuadro de distribución de medias de la variable contenido de fósforo en grano expresado en por ciento.....	59
Anexo 7A. Cuadro de distribución de medias de la variable peso seco de vástago expresado en toneladas por hectáreas.....	60
Anexo 8A. Cuadro de distribución de medias de la variable rendimiento expresado en toneladas por hectáreas.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página.
Figura 4.1. Efecto de la coinoculación <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus spp</i> + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el por ciento de fósforo en vástago.....	36
Figura 4.2. Efecto de la coinoculación <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus spp</i> + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F- 76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el por ciento de fósforo en grano.....	39
Figura 4.3. Efecto de la coinoculación <i>Pseudomonas putida</i> + <i>glomus spp</i> + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F- 76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el peso seco de vástago.....	43
Figura 4.4. Efecto de la coinoculación <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus spp</i> + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el rendimiento.....	45

I. INTRODUCCIÓN.

El cultivo del trigo se extiende a diversas regiones del mundo por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su diversidad de formas de consumo en los diferentes países, de tal manera que en la actualidad ocupa el primer lugar entre los cuatros cereales de mayor producción mundial.

En México se siembra trigo en casi todos los estados de la República y se adapta tanto a tierras pobres en nutrimentos, como a tierras ricas, zonas húmedas, semihúmedas y secas.

La superficie sembrada de trigo a nivel nacional para el ciclo primavera verano 1998 fue de 52.6 miles de hectáreas y la producción nacional fue de 115.7 miles de toneladas (4.5 t/ha), lo cual sitúa a dicho grano en quinto lugar nacional en producción, después del maíz, frijol y arroz (INEGI, 1998a). En contraste, en Coahuila, la superficie sembrada para el año de 1996 fue de 11.190 ha (2.5 t/ha), lo que lo sitúa en segundo lugar a nivel estatal de superficie sembrada, sólo por debajo del maíz (INEGI, 1998b).

Una de las prácticas tradicionales para aumentar la producción de trigo es la aplicación de fertilizantes, sin embargo, su utilización no siempre es

proporcional al rendimiento del cultivo, aunque sí eleva los costos de producción y deteriora el suelo. Los factores relacionados con la reducida absorción de fertilizantes, en especial de los fosforados, son las características físicas y químicas del suelo que determinan su disponibilidad y absorción. Uno de estos factores es la concentración de carbonatos, característica común en los suelos de Coahuila, que dificultan la absorción de fósforo, exigiendo la adición del elemento. Por ello, se buscan alternativas que mejoren la absorción y optimización de los fertilizantes fosforados y, en consecuencia, reduzcan la dosis y costo de producción.

Una de las alternativas viables para mejorar la absorción y optimización de los fertilizantes fosforados es la utilización de microorganismos de la rizósfera, cuyas principales actividades son la solubilización de minerales y nutrientes, fijación de nitrógeno, producción de hormonas reguladoras del crecimiento y la inhibición de fitopatógenos; todas estas actividades incrementan la productividad vegetal. Entre los microorganismos que realizan estas funciones, se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) y las micorrizas vesículo arbusculares (MVA).

Por otra parte, los ácidos húmicos desempeñan un papel muy importante debido a que coadyuvan a solubilizar los nutrientes minerales, lo cual incrementa el rendimiento y la calidad de los cultivos además de mejorar positivamente las características físicas, químicas y biológicas de interés agrícola de los suelos.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivos generales.

Evaluar el efecto de la coinoculación rizobacteria - endomicorrizas y ácidos húmicos en el crecimiento de trigo en suelos calcáreos.

Objetivos específicos.

Determinar la influencia de la coinoculación rizobacteria-endomicorriza en el rendimiento de trigo.

Determinar la influencia de la coinoculación de rizobacteria – endomicorrizas en el contenido de fósforo tanto en grano como en vástago.

Hipótesis.

El trigo coinoculado con rizobacteria-endomicorrizas incrementa el rendimiento de trigo con niveles reducidos de fertilización fosforada.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Trigo

El trigo es miembro de la familia de las gramíneas que comprende unos 600 géneros y más de 5000 especies. Esta familia está dividida en dos grupos, el primero comprende los granos chicos, al cual pertenecen los pastos, y el segundo es el grupo de los granos grandes y en el cual se encuentra los cereales como el trigo, el arroz, el maíz, la avena, la cebada, el sorgo y el mijo (Arkroyd y Doughty, 1970).

El trigo es una hierba farinácea anual probablemente originaria del Asia menor y su importancia es conocida desde los tiempos más antiguos; se ha encontrado con frecuencia referencias del trigo en la Biblia.

2.1.1. Clasificación Taxonómica

El trigo presenta la siguiente clasificación taxonómica de acuerdo a Robles (1990).

Clase..... Monocotiledóneae.

Orden..... Graminales.

FamiliaPoaceae.

TribuTriticinae.

Género.....*Triticum*.

Especie.....*aestivum*.

2.1.2. Morfología

La altura del trigo varía entre 30 y 180 centímetros. El tallo es recto y cilíndrico con nudos sólidos. La mayoría de los trigos presentan seis nudos, aproximadamente. La hoja es lanceolada, con un ancho de 0.5 a un centímetro y una longitud de 15 a 25 centímetros. Cada planta tiene de cuatro a seis hojas y su ligadura es de longitud media. La aurícula es despuntada y tiene pelos. La lígula y la aurícula sirven en la identificación de la plántula. En la plántula las hojas se despliegan al nacer, girando en sentido de las manecillas del reloj. El amacollamiento es otra de las características del trigo. Las plántulas producen macollos de número variable, generalmente de dos a siete. Las raíces permanentes o secundarias nacen en el primer nudo; las raíces que nacen a partir de la semilla son aproximadamente diez, de las cuales cinco son raíces seminales, una radical o primaria y cuatro laterales que funcionan durante toda la vida de la planta. La espiga del trigo es densa y corta y consiste en una infinidad de espiguillas que terminan en una arista o barba. Los granos son generalmente alargados, puntiagudos, duros o blandos, de color ámbar (Manual para educación agropecuaria, 1981).

2.1.3. Fisiología

Large en 1954, describió ampliamente las diferentes etapas del crecimiento de trigo establecidas por Feeke, éstas se agrupan en:

Amacollamiento. Desde que la plántula está visible hasta que las primeras hojas se han desarrollado.

Extensión del tallo. Se hace visible desde el primer nudo, hasta la banderilla.

Floración. Se hace visible desde que la flor es espiga o panícula hasta que ésta se abre.

Maduración. Es cuando los granos alcanzan la madurez fisiológica.

2.1.4. Requerimientos Agronómicos del Cultivo

El trigo se produce en regiones templadas y frías situadas desde 15 a 60° de latitud norte y de 27 a 40° de latitud sur, prospera en altitudes de 0 a 3000 msnm, con una precipitación anual de 800 a 1250 milímetros por año. Los suelos para el cultivo del trigo pueden variar de franco limosos a areno arcillosos con buen contenido de materia orgánica y fértiles. Tolera suelos de pH de 6.5 a 8.5, sin embargo, para obtener una buena cosecha, es necesario que las condiciones físicas del suelo tengan las siguientes características:

- 1) Una estructura granular, que permita la aireación y el movimiento del agua en el suelo.

- 2) Un perfil de tierra cultivable por lo menos 30 centímetros para un enraizamiento adecuado.
- 3) Que no sea susceptible a la formación de costras que dificulten la germinación y la aireación.
- 4) Que tenga suficiente materia orgánica.

Las condiciones de temperatura requeridas por el trigo son muy variables dependiendo del cultivar y la región, sin embargo, las que se consideran óptimas fluctúan entre 10 y 25 °C (Robles,1990; Terra Nova, 1995). El trigo florece más libremente en un clima subtropical, de frío o calor templados, necesitando lluvias moderadas en la estación de crecimiento, seguido de un verano caluroso con lluvias ligeramente intermitentes. Las tierras arcillosas dan los mejores resultados.

2.2. Rizobacterias

2.2.1. Rizósfera

Existe una zona denominada rizósfera donde las raíces y el suelo están en contacto íntimo. Esta definición se ha ido ampliando a través del tiempo y en la actualidad se reconocen las siguientes zonas: ectorizósfera (zona alrededor de la raíz), rizoplano (zona de la superficie de la raíz) y la endorizósfera (área que involucra la epidermis y las células corticales de la raíz) (Ferrato-Cerrato, 1989; Campell y Greaves, 1990; Hunt, 1990). En la rizósfera existe una

diversidad de organismos asociados a la planta como bacterias, hongos, protozoarios, etc.

2.2.2. Rizobacterias

Las rizobacterias representan a las bacterias de la rizósfera que tienen la capacidad de colonizar las raíces en respuesta a diversos exudados como los que se muestran en el Cuadro 2.1 (Kloepper *et al.*, 1980; Beauchamp *et al.*, 1991). El conocimiento de cómo las plantas influyen sobre las bacterias y cómo las bacterias responden a la planta, son determinantes para el desarrollo de las asociaciones microorganismos-planta eficientes en la asimilación vegetal de nutrimentos inorgánicos.

Las principales actividades benéficas llevadas a cabo por bacterias de la rizósfera incluyen la solubilización de minerales y nutrimentos, fijación de nitrógeno, producción de hormonas reguladoras del crecimiento, interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos de la rizósfera y la inhibición de fitopatógenos; todas estas actividades incrementan la producción vegetal (Gaskins *et al.*, 1985; Parker, 1991).

Los microorganismos que se pueden desarrollar en la rizósfera dependen de los compuestos químicos que allí se contienen por incorporación de los constituyentes orgánicos de las plantas, como la celulosa (15 – 16%), hemicelulosa (10 – 30%), lignina (5 – 30%), azúcares-aminoácidos y ácidos

alifáticos (5 – 30%), grasas, aceites, resinas, pigmentos, proteínas, minerales (1 – 13%)(Lynch, 1990).

Cuadro2.1. Diferentes compuestos exudados por la raíz (Lynch, 1990)

COMPUESTO	TIPOS
Carbohidratos	Glucosa, fructuosa, arabinosa, desoxirribosa, galactosa, maltosa, manosa, sacarosa, xilosa, ramnosa.
Aminoácidos	Derivados de ácidos nucleicos (adenina, citocina, guanina, uridina).
Ácidos orgánicos	Acético, butírico, cítrico, fumárico, glicólico, láctico, málico, oxálico, propiónico, succínico, tartárico, valérico.
Ácidos grasos libres	Palmítico, esteárico, oleico, linoleico.
Esteroles	Colesterol, campesterol, stigmasteroles, sitosteroles.
Enzimas	Celulosa, proteasa, invertasa, fosfatasa, ureasa, catalasa, fenolasa, tirosinasa, asparginasa, lipasa, amilasa, deshidrogenasa.

2.2.3. *Pseudomonas*

La rizósfera tiene un alto porcentaje de bacterias proteolíticas, nitrificantes, fermentadoras, descomponedoras de celulosa , etc. *Pseudomonas* está entre las bacterias más abundantes y se desarrolla durante los periodos de mayor liberación de exudados radicales (Lynch, 1990). Las células de *Pseudomonas* son pequeños bastones rectos o curvos que no sobrepasan 0.8

μm de ancho y que se mueven mediante uno o varios flagelos polares. Los pseudomónidos aeróbicos incluyen bacterias con la mayor versatilidad metabólica entre los organismos conocidos, capaces de utilizar hasta 100 compuestos orgánicos diferentes como única fuente de carbón y energía (Stanier *et al.*, 1981).

2.2.4. Inoculación bacteriana

La inoculación es un proceso de infección de microorganismos, el cual puede realizarse en semillas, plántulas, líquidos o en materiales como turba que está compuesta por un alto porcentaje de materia orgánica. La inoculación de semillas comenzó poco después de que Hellriegel descubrió la habilidad de las leguminosas noduladas de fijar nitrógeno atmosférico y después de que Beijerinck aisló estas bacterias de nódulos de raíces (Rennie, 1993). Después, se utilizaron cultivos puros en agar aunque fueron reemplazados por suelos estériles impregnados con *Rhizobium*, luego por turba cubierta con agar y finalmente, a principios de 1920, por turba sola impregnada con microorganismos (Thompson y Troeh, 1980).

Los estudios de bioinoculación en trigo se han encaminado hacia bacterias diazotróficas (fijadoras de nitrógeno) como los géneros *Azospirillum* y *Azobacter*, principalmente. Sin embargo, ha habido evidencia de impacto

positivo en rendimiento y peso seco de trigo con la interacción de bacterias pertenecientes al género *Bacillus* y *Pseudomonas* (Rennie y Larson, 1979).

2.3. Micorrizas

El término micorriza se emplea comúnmente para indicar la asociación simbiótica mutualista entre un hongo y las raíces de las plantas superiores, en las cuales hay un intercambio de sustancias nutritivas entre ambos participantes. Cada uno de los tipos de micorrizas poseen características que las distinguen entre sí, lo que permite diferenciarlos en base a los hongos y plantas superiores que constituye la simbiosis (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1994). Se ha comprobado que la mayoría de las especies vegetales se encuentran micorrizadas y se ha reportado su presencia en cerca de 300,000 especies de plantas (Allen, 1983).

El estudio de la interacción micorriza - planta ha sido de gran interés debido a que promueve la producción de los cultivos, particularmente por su función de incrementar la absorción de nutrientes que son relativamente inmóviles en el suelo, tales como fósforo, cobre y zinc (Newman y Eason, 1989).

Las micorrizas son un ejemplo notable de simbiosis; el hongo obtiene los nutrientes orgánicos esenciales, así como otros beneficios que le permiten multiplicarse en conjunto con las raíces, mientras que la planta tiene un aumento en la tasa de asimilación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes orgánicos (Alexander, 1980).

2.3.1. Clasificación

Existen los siguientes tipos de micorrizas según sus características morfológicas.

- Ectomicorrizas. Constan de una cubierta fungosa que rodea a las raíces del hospedero, así como un desarrollo intercelular fúngico en las cepas de la corteza radicular. Este desarrollo intracelular se denomina Red de Harting (Carlson, 1990).
- Endomicorrizas. No forman un manto fúngico y las hifas invaden las células corticales sin matarlas, estos hongos endomicorrízicos son los más extensos y simbióticamente importantes del sistema radical (Barea y Ascón - Aguilar, 1983).
- Ectoendomicorriza. Esta micorriza ocasionalmente forma un manto fúngico y las hifas invaden a la raíz intercelularmente.
- Micorriza arbustoide. Son las micorrizas que sirven de conexión entre las endomicorrizas y las ectomicorrizas, y se encuentran en géneros de plantas

como *Arbutus*, presentan hifas que rodean a la raíz, lo que las hace parecerse a las ectomicorrizas en cuanto apariencia externa, el micelio penetra a las células exteriores de la raíz, llenando su lumen con hifas ramificadas.

- Micorriza ericoide. Son micorrizas que se encuentran en los géneros de plantas como *Erica*, *Vaccinum*, *Rhododendrom*, su infección consiste típicamente en complejos de hifas intracelulares en las células corticales de los pelos radiculares laterales de la raíz.
- Micorriza vesículo arbuscular. Recibe este nombre por presentar en su morfología arbusculos y vesículas. Comúnmente se refiere a estos hongos endomicorrízicos como el grupo vesicular-arbuscular, los cuales son los más extensos e importantes simbiontes radicales.

2.3.2. Endomicoriza vesículo-arbuscular.

La endomicorriza vesículo-arbuscular (VA) es una asociación entre algunos hongos del orden Glomales y las raíces de las plantas superiores (Morton y Benny, 1990). Esta endomicorriza forma parte importante de la flora microbiana por los beneficios que le ofrece a la planta, siendo un factor de alta productividad, cuando los niveles de fósforo asimilable en el suelo no son suficientes para el crecimiento. Estos hongos forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas superiores a las que beneficia al incrementar su zona de exploración, absorción y translocación de nutrimentos de baja solubilidad como el fósforo, cobre y zinc por lo que las plantas micorrizadas

crecen más rápidamente y muestran un mayor vigor que aquellas que no son micorrizadas (Guzmán-Plazola y Ferrera- Cerrato, 1990).

Actualmente se acepta que la endomicorriza (VA) juega una reconocida función en la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema (Harley y Smith, 1983) ya que el micelio externo se extiende varios centímetros desde la superficie de la raíz, lo que ayuda a explorar el micro hábitat del suelo más allá del área agotada por nutrientes donde las arcillas o los pelos radicales no pueden desarrollarse (Rhodes y Gederman, 1980). Además, del beneficio que la endomicorriza ejerce sobre el desarrollo y nutrición de las plantas, algunos confieren resistencia a enfermedades, sequías, salinidad, incrementan la fijación de nitrógeno en leguminosas y protegen a plántulas y estacas durante su transplante, estimulando su enraizamiento y crecimiento (Matías, 1990).

Los hongos micorrízicos pueden acumular y translocar grandes cantidades de fosfato debido a su habilidad para almacenar en sus vacuolas las formas condensadas de polifosfato. La liberación de los fosfatos a la planta ocurre preferencialmente a través de la interfase entre el arbusculo y el plasmalema de la planta hospedera (Gianinazzi-Pearson, 1987).

2.3.3. Taxonomía

Los hongos micorrízicos arbusculares se clasifican de acuerdo a sus características morfológicas y a la germinación de sus esporas. La clasificación de las endomicorrizas según Morton y Benny (1990) es la siguiente:

División..... Eumycota
Clase..... Zygomycetes
Orden..... Endogonales
Familia..... Endogonaceae
Género..... *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*,
Glomus *Sclerocystis*, *Scutellospora*

2.3.4. Morfología

Las endomicorrizas (VA) presentan una morfología típica caracterizada por estructuras diferenciadas denominadas micelio, esporas, hifas, arbusculos y vesículas.

Micelio. Tiene estructura dimórfica, con las hifas de pared gruesa (20-30 micras de diámetro) y protuberancias, de las que ramifican hifas finas (2-7 micras de diámetro) de pared delgada y efímeras, las cuales se tornan septadas antes de morir (Hayman, 1983).

Esporas. Las esporas de las endomicorrizas son de tamaño grande, variando de 20 a 500 micras; las hay de forma globosa, elíptica, ovoide, reniforme, claviforme o irregular, algunas forman esporocarpos y otras únicamente esporas (García, 1995) en el interior o exterior de la raíz. Según Villalobos (1993), las esporas son los propágulos más resistentes a condiciones adversas al estar activas; por ello, su función principal es la propagación y preservación del endófito.

Hifas. Son producto de la germinación de las esporas, se extienden como una malla en el suelo y unidas constituyen el micelio. Las hifas son intra o intercelulares, y confieren resistencia a la planta a condiciones adversas, mejoramiento de la estructura del suelo y protección contra enfermedades (Torres, 1993).

Arbúsculos. Smith y Smith (1990), indican que estas estructuras inician su desarrollo al penetrar la hifa inter o intracelularmente a través de las paredes celulares del hospedero. Los arbúsculos se dividen dicotómicamente, formando una estructura que se asemeja a un árbol. Siempre se producen dentro de las células del hospedero y su función principal es el intercambio de nutrientes tales como el fósforo en forma de ortofosfato con el hospedante.

Vesículas. Aparecen como resultado del ensanchamiento terminal de las hifas al establecerse el proceso de colonización, las vesículas presentan

formas ovaladas o esféricas siendo su función principal el almacenamiento de lípidos (Carling y Brown, 1982).

2.3.5. Factores que afectan la simbiosis micorrízica

Los principales factores que afectan la simbiosis entre la micorriza y la planta hospedera son los siguientes: el sustrato, los niveles de fertilización, el pH, la temperatura, la humedad y la luz.

Sustrato. El medio donde crece la planta hospedera es el factor más importante para la propagación exitosa de hongos micorrízicos y es principalmente la causa de dificultades en la propagación de inoculantes. Los suelos de textura gruesa, con bajos contenidos de nutrimento y con una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) son generalmente recomendados como sustratos de propagación (Menge, 1983). Bierman y Linderman (1981) probaron series de diluciones suelo –turba determinando que una mezcla con 25 por ciento de materia orgánica fue adecuada para obtener una colonización y respuesta de crecimiento óptimos.

Niveles de fertilización. La actividad micorrízica es más efectiva en suelos de baja fertilidad; la adición de los fertilizantes inorgánicos afectan la actividad de la población en cuanto a cantidad de colonización y número de esporas (Ryan *et al.*, 1994). Se ha visto que la adición de materia orgánica aumenta el desarrollo de la micorriza (Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno, 1994)

mientras que la adición de fertilizantes químicas generalmente retarda o inhibe la colonización (Land *et al.*, 1993).

pH. El efecto del pH es difícil de evaluar, ya que hay hongos micorrízicos adaptados a suelos ácidos, otros a suelos alcalinos y algunos otros se comportan igual al variar éste (Contreras y Ferrera-Cerrato, 1990).

Temperatura. Ésta afecta la actividad fisiológica del endófito y la germinación de las esporas. Cada especie debe tener un intervalo de temperatura óptima fuera de la cual su metabolismo se reduce, esto repercute en la producción de biomasa por parte de la planta hospedera (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990).

Humedad. El contenido de humedad en el sustrato se relaciona estrechamente con las características de su fase gaseosa, lo que a la vez influye en el comportamiento de la simbiosis micorrízica. Por ejemplo, las variaciones de 2-16 por ciento de oxígeno en el suelo incrementan la longitud de la raíz micorrizada y el número de puntos de entrada pero disminuyen la frecuencia de árbusculos y vesículas en el sistema radical. Cuando el contenido de humedad es bajo se reduce la esporulación por afectar directamente el desarrollo de las hifas externas y la capacidad de germinación de las esporas. En condiciones temporales de humedad excesiva o de pobre drenaje, típicas de climas cálido- húmedo, es frecuente obtener baja población de micorrizas (Zlag *et al.*, 1987 citado por García, 1995).

2.4. Dinámica del nitrógeno y fósforo en el suelo

Existen básicamente tres macronutrientes para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de una planta como son. N, P, K. Estos nutrientes son adicionados como fertilizantes sintéticos al suelo aunque normalmente el K no representa un problema nutricional (Donahue, 1990). De esta forma, para la fertilización química en general se emplean compuestos nitrogenados y fosfatados.

El nitrógeno en el suelo es un nutriente móvil debido a su solubilidad y se ha calculado que hasta el 60 por ciento del N aplicado está sujeto a pérdidas que causan contaminación ambiental. En sistemas agrícolas, las pérdidas de N en forma nítrica se efectúa por lixiviación como consecuencia de la disminución de los agregados del suelo y reducción en la concentración de materia orgánica. Así, los nitratos se desvían a horizontes más profundos y contaminan mantos acuíferos (Grageda y Peña, 1997). Otra forma en que el N contamina el aire es por la volatilización de NH_3 del que la actividad agrícola puede liberar a la atmósfera hasta 4.4×10^6 toneladas de amoníaco al año (Grageda y Peña, 1997) y del cual hasta el 10 por ciento se oxida en la atmósfera formando NO_2 (bióxido de nitrógeno), gas involucrado en el efecto de invernadero. Según Reynolds y Wolf (1988), de la aplicación de urea en

campo, hasta el 48.7 por ciento puede perderse por esta vía bajo condiciones de alta temperatura.

El fósforo es un elemento inmóvil en el suelo, y de acuerdo a O'Halloran (1985), en los horizontes superficiales donde se deposita, sólo el nueve por ciento está disponible para las plantas, en contraste con el 70 por ciento que se quela por compuestos de Ca como hidroxapatita a pH alcalinos y minerales de Fe como la pirita a pH ácidos, además de la inmovilización por la microflora del suelo para la síntesis de moléculas orgánicas como ATP, ácidos nucleicos, etc. El resto del fósforo se une a las arcillas y una pequeña porción a la materia orgánica (Nair, 1995).

El P inorgánico en el suelo puede ser solubilizado por bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* y otras. Esta solubilización se efectúa cuando estas bacterias producen ácidos orgánicos o inorgánicos como el H_2SO_4 al mineralizar la materia orgánica (Alexander, 1980).

2.5. Malezas

En el presente trabajo se utilizaron malezas de la región asociadas al trigo para obtener inóculo de hongos endomicorrízicos (VA). Las malezas utilizadas fueron *Eruca sativa* y *Reseda luteola* que se describen a continuación.

Eruca sativa Mill (nabo silvestre). Es una plántula anual, sin periodo de floración fijo, abunda durante el invierno y la primavera. Se comporta como mala hierba en campos de cultivo, en donde llega a ser dominante y dar la apariencia de ser la especie sembrada. El nabo silvestre es una hierba de tallos erectos, ramificados en la base y hasta de 50 centímetros de altura, presenta hojas alternas hasta de 20 centímetros de largo, flores vistosas agrupadas en racimos terminales, con cuatro sépalos erectos y pétalos de más de un centímetros de largo, de color blancuzco con venación café o violeta. Su fruto de 1.5-2.5 centímetros de largo, contiene semillas en dos hileras, ovoides y de color café claro (Villareal, 1983).

Reseda luteola L. (gualda). Es considerada como una hierba anual o bianual, con una floración durante los meses de septiembre a mayo. La gualda es una planta con tallos erectos hasta de un metro de altura; hojas alternas dispuestas en una roseta basal y sobre el tallo laceoladas. Sus flores dispuestas en racimos densos, son de color blanco amarillento, de 2-5 milímetros de largo, muy desiguales en tamaño y con el borde lancinado (Villarreal, 1983).

2.6. Suelos calcáreos

Según la carta de uso potencial del suelo, CETENAL(1970) caracteriza a los suelos calcáreos por ser de poca profundidad, susceptibles a la erosión, moderadamente limitados por la pendiente del terreno, y con deficiencia de agua debido a la precipitación limitada. El tipo de suelo con base en la carta edafológica lo ubica como un xerosol háplico y la carta geológica indica que son suelos aluviales, derivados de rocas calizas localizadas en las partes más altas, las cuales fueron transportadas y depositadas.

León (1984), reporta que un suelo calcáreo se caracteriza por tener carbonatos de calcio (CaCO_3) y un pH generalmente entre 7 a un máximo de 8.3, controlado principalmente por la hidrólisis del carbonato de calcio observándose una disociación del hidróxido de calcio, que produce mayor cantidad de OH^- en comparación con la producción de H^+ del ácido carbónico, creando un efecto alcalino.

Buckman y Brady (1966), indican que el carbonato de calcio presente en los suelos calcáreos se disocia en ión calcio y carbonato, los cuales reaccionan con los fosfatos aprovechables formando fosfato tricálcico, clasificado como un compuesto totalmente insoluble. La elevada alcalinidad de estos suelos da lugar a una baja solubilidad de algunos nutrientes esenciales

para la planta como fósforo, hierro, manganeso, boro y zinc causando a veces deficiencias (Thomson y Troeh, 1980; Tisdale y Nelson, 1982).

Morales *et al.* (1973), mencionan que aún cuando los suelos calcáreos contienen altas cantidades de fósforo nativo, la disponibilidad de éste es baja debido, según Ortega (1978), a que el pH alcalino favorece la formación de compuestos como los fosfatos de calcio. La insolubilidad relativa del fosfato se debe a la formación de fosfatos dicálcicos y fosfatos cálcicos básicos, tales como hidroxiapatita y carbonatoapatita

2.7. Ácidos húmicos

El uso agrícola de los ácidos húmicos es de gran importancia, ya que permite a los productores estimular a sus plantas, mejorar su suelo y potencializar el uso de fertilizantes foliares, reguladores de crecimiento y otras sustancias que se aplican a las plantas, vía foliar o al suelo (Narro, 1993).

Las sustancias húmicas influyen directamente en el crecimiento de las plantas causados por los efectos fisiológicos positivos que provocan y por los efectos que causan sobre las propiedades físico-químicos y biológicos en el suelo (Stevenson, 1982). Igualmente por sus efectos nutrimentales al contener nitrógeno, fósforo y azufre, influye en las funciones biológicas de las plantas y

microorganismos, manifestándose en el incremento significativo en la producción de los cultivos.

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos complejos, de color obscuro a pardo marrón o negro, con un diámetro de 80-100 micras. Tienen una importante función en la formación de suelo (Kononova, 1991). Existen también productos naturales individuales provenientes de la descomposición de la materia orgánica son una fuente de nutrientes para las plantas, mejorando algunas propiedades del suelo.

La aplicación de ácidos húmicos al suelo favorece, entre otros aspectos, la formación de agregados y de la estructura, la densidad aparente disminuye, la capacidad de almacenamiento de humedad aprovechable y la facilidad de conducción de agua aumenta, y se incrementa la capacidad de intercambio catiónico, disminuye el pH en los suelos alcalinos, y se eleva la fertilidad natural al potencializar los nutrientes presentes, y disminuir pérdidas por lixiviación o liberarlos en forma no aprovechables (Saña *et al.*, 1996).

La humificación es la transformación de la materia orgánica del suelo en humus por la actividad de los microorganismos. Durante la primera etapa de humificación se forma el ácido húmico, mientras que en la segunda etapa de humificación vuelve la oxidación química y/o enzimática para degradar el ácido húmico en ácido fúlvico, el cual queda en solución cuando el extracto alcalino es acidificado. Las huminas son la fracción húmica que no puede ser extraída

del suelo por alcalis diluidos o ácidos. Los ácidos húmicos afectan positivamente las características físicas, químicas y biológicas de interés agrícola de los suelos (Narro, 1993).

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Localización del terreno

El presente trabajo se realizó en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México localizada entre los paralelos 25° 22' y 25° 21' de latitud norte y los meridianos 101° 01' y 101° 03' de longitud Oeste y a una altitud de 1754 msnm.

La temperatura media anual de la región es de 17.8 °C con una oscilación media anual de 10.4 °C. Sin embargo, los meses más cálidos son junio, julio y agosto con temperaturas que alcanzan hasta los 37 °C, mientras que en los meses de enero y diciembre se registran las temperaturas más bajas de hasta -10.4 °C, presentándose heladas regulares en el periodo que comprende los meses de octubre a abril. La precipitación pluvial media anual es de 490 mm, siendo los meses más lluviosos julio, agosto y septiembre; en la época de invierno las lluvias que se presentan son moderadas (García, 1973).

3.1.1. Características del suelo

La zona presenta diversos tipos de suelos formados por arrastre de material, de colores claros rojizos de textura fina a mediana, de espesor mayor de un metro, con una pendiente de 0-3 por ciento, presentando una capa Ap (suelo de cultivo), tiene estructura granular, consistencia poco friable ó suelta, presenta agregados de 0.2-2 cm, lo cual provoca problemas de manejo por poca aireación, es de textura migajón arcillosa y una clasificación de xerosol hápica (Casillas, 1990).

Previo a la siembra, se tomaron una serie de muestras de suelo al azar para realizar análisis físicos y químicos cuyos resultados se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Características físicas y químicas del suelo utilizado en el presente trabajo de investigación.

Características	Unidades	Método	Contenido
Textura		Bouyoucos	Migajon Arcilloso
pH		Potenciómetro	8.50
M.O	%	Walkley-Black	2.20
N. Total	%	Kjeldahl	0.11
C.I.C	meq/100g	Acetato de amonio	30.60
CO ₃ Totales	%	Titulación ácida	31.30
P- aprovechable	ppm	Olsen	45.00
Da	g/cc	Probeta	1.25

Laboratorio de Mineralogía del Departamento de Suelos de la UAAAN, 1997

3.1.2. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó en forma mecánica, utilizando un tractor, de acuerdo a la forma convencional de la región, la cual consta de subsoleo, rastreo doble y surcado.

Preparación de las parcelas

La superficie experimental comprendió 536.5 m², teniendo 8.50 m de frente y 29 m de fondo. Posteriormente, la superficie total se subdividió en dos áreas de 18.5 m x 11.5 m y se trazaron un total de 40 parcelas de 4 m² (cada una con siete surcos de un metro de largo) con 0.3 m entre parcelas. La parcela útil estuvo formada por los tres surcos centrales.

3.2. Material vegetal

El material vegetativo utilizado en el presente trabajo fue trigo (*Triticum aestivum* L) de la variedad Pavón F-76, proporcionado por el área de cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN.

3.3. Material microbiológico

Preparación del bioinoculante (*Pseudomonas putida*)

El bioinoculante se preparó con la bacteria *Pseudomonas putida*, previamente aislada de la rizosfera de la maleza *Aristida spp* asociada al trigo y que forma parte de la colección del laboratorio de Microbiología de Suelos de la UAAAN.

Se utilizó turba (peat moss) canadiense comercial como soporte del bioinoculante. Para su preparación, la turba se trituró en molino tipo Thomas Weily modelo 4 utilizando una malla de 2 mm. Enseguida se procedió a pesar y depositar 60 g de la turba en recipientes de vidrio con tapa de rosca y se esterilizó en una olla de presión a una temperatura de 120 °C y 15 lb de presión durante dos horas. La turba estéril se pasó a bolsas de polietileno para su posterior inoculación.

La bacteria se cultivó en caldo nutritivo para lo cual se prepararon 5.76 l del medio y se esterilizó en olla de presión a una temperatura de 125 °C durante 15 minutos. El medio de cultivo estéril se inoculó con *Pseudomonas putida* y se incubó en agitación por 48 h a temperatura ambiente.

Posteriormente, se agregó el cultivo a las bolsas de turba a razón de 30 ml del bioinoculante por cada 60 g de turba. La turba se incubó durante dos semanas a una temperatura de 25 °C hasta lograr una población bacteriana de 10^6 UFC/ gramo de turba.

Preparación del inóculo micorrízico (*Glomus*).

Se realizó un recorrido por el área de influencia de la UAAAN con el propósito de localizar las malezas Gualda (G_1) y Nabo silvestre (G_2) asociadas al trigo. En trabajos anteriores realizados en el laboratorio de

Microbiología del Departamento de Suelos, encontró que las raíces de estas malezas presentan hongos VAM del género *Glomus*.

Una vez localizadas las malezas se procedió a su extracción, procurando que las raíces no sufrieran daños mecánicos mayores, para lo cual se cavó alrededor de las plantas utilizando pala y pico. Las malezas se transportaron al laboratorio donde se separaron las raíces, se lavaron al chorro de agua y se dejaron secar a temperatura ambiente por una semana. Las raíces secas se maceraron en un mortero obteniendo un polvo fino que se utilizó como el inóculo micorrízico.

3.4. Inoculación de trigo

La inoculación de trigo se llevó a cabo bajo condiciones asépticas 12 h antes de la siembra. Para ello se desinfectó la mesa de trabajo del laboratorio con fenol al 5% y se cubrieron 60g de semilla con adherente (sacarosa al 10%). Se eliminó el exceso de adherente y se mezclaron las semillas con 0.2g del inóculo micorrízico G_1 o G_2 según fuera el tratamiento y 60 g del bioinoculante (*P. putida*). La preparación se guardó en bolsas de polietileno hasta el día siguiente.

3.5. Siembra

La siembra de trigo se realizó durante las primeras horas de la mañana (7:00 a 10:00) siguiente a la inoculación de la semilla para evitar

daños a los inoculantes por la exposición al Sol. Se utilizó el método de siembra a chorrillo, procurando que el contenido de cada bolsa se distribuyera uniformemente en los cinco surcos de cada parcela. Se utilizó una densidad de siembra de 60g de semilla por unidad experimental, equivalente a 150 kg/ha.

3.6. Fertilización

La fertilización se llevó a cabo tomando como base la dosis tradicional para la región que es de 120- 80- 60, de la cual se derivó una serie de tratamientos en los cuales se variaron las cantidades de fósforo (0, 50 y 100%). Previo a la aplicación del fertilizante, se procedió a abrir un pequeño surco de 10 cm de profundidad a un costado de las plantas con el fin de depositar ahí el fertilizante y optimizar su absorción. El fertilizante se aplicó en banda y en forma fraccionada en las tres etapas críticas de crecimiento del cultivo: inicio de amacollamiento, antes de floración e inicio de llenado de grano.

Se utilizó como fuente de nitrógeno, urea (46.0 % N), como fuente de fósforo, super fosfato triple (46.0 % P_2O_5) y como fuente de potasio, cloruro de potasio (50.0 % K_2O)

Tratamientos

De los niveles de estudio anteriores, se derivaron 18 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, como se muestra en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Distribución de los tratamientos en la presente investigación.

Tratamiento	Fósforo(%P ₂ O ₅)	Inoculación	Acidos húmicos
1	0	1	0
2	0	1	1
3	0	2	0
4	0	2	1
5	0	3	0
6	0	3	1
7	50	1	0
8	50	1	1
9	50	2	0
10	50	2	1
11	50	3	0
12	50	3	1
13	100	1	0
14	100	1	1
15	100	2	0
16	100	2	1
17	100	3	0
18	100	3	1

P₂O₅: (0%= 0 kg/ha, 50%= 40 kg/ha, 100%= 80 kg/ha).

Inoculación. (1= Sin inocular, 2 =Inoculado G₁, 3 =inoculado G₂).

Ácidos húmicos (0= Sin ácidos húmicos, 1= Con ácidos húmicos).

3.7. Cosecha

El corte se realizó en forma manual cuando el trigo alcanzó la madurez fisiológica, cortado únicamente las plantas de la parcela útil. El trigo se secó a temperatura ambiente durante cinco días para después pesarlo, trillarlo y evaluar las siguientes variables de estudio:

- Peso seco de vástago
- Por ciento de fósforo en vástago.
- Por ciento de fósforo en grano
- Rendimiento.

3.8. Análisis químicos.

Los análisis químicos, para evaluar el contenido de fósforo total tanto de vástago, como de grano, se realizaron en los laboratorios de Química de Suelos y Microbiología de Suelos del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El método utilizado para la determinación del fósforo total fue el de calcinación y cuantificación de fósforo por la coloración azul del complejo fosfomolibdico, usando como reductor el ácido ascórbico.

3.9. Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis experimental factorial de 3 (niveles de fósforo) X 3 (niveles de inoculación) X 2 (niveles de ácidos húmicos) (Cuadro 3.2), utilizando el programa estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) para realizar los análisis de varianza y las pruebas de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

donde: Y_{ij} = Observación del i-ésimo tratamiento.

μ = Efecto general de la media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto verdadero de la j-ésima repetición.

ϵ_{ij} = Efecto verdadero del error experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Después de haber realizado los análisis estadísticos correspondientes, se presentan a continuación los resultados obtenidos y su discusión.

Contenido de fósforo en vástago (%).

Una vez realizado el análisis estadístico de varianza (Anexo 1A), se observó que el factor de variación nivel de fertilización resultó ser significativo con respecto al contenido de fósforo en vástago. La interacción entre los factores nivel de fertilización – nivel de inoculación resultó altamente significativa, lo cual ilustra que el contenido de fósforo en vástago está ampliamente influido por la interacción de estos dos factores. La interacción de los factores de variación nivel de inoculación – ácidos húmicos también fue altamente significativa, al igual que la interacción de los tres factores de varianza. Por otra parte, los factores nivel de inoculación - ácidos húmicos por sí solos no influyeron en el contenido de fósforo en el vástago de trigo.

En la Figura 4.1, se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas y sin fertilización fosforada, presentó mayor contenido de fósforo en vástago que el trigo utilizado como control

absoluto (sin inocular y sin fertilización fosforada), probablemente debido a la acción de los bioinoculantes que mejoran las condiciones nutricionales, sobre todo en suelos de baja fertilidad (Bolan, 1991). El trigo inoculado con cualquier combinación microbiana y adicionado con ácidos húmicos (AH) presentó un contenido mayor de fósforo en vástago que el trigo inoculado pero sin AH, probablemente debido a que los AH favorecen el transporte y translocación de nutrimentos, como el fósforo, a diferentes partes de la planta (Narro, 1993).

El trigo inoculado con cualquier combinación microbiana y fertilizado al 50 por ciento de P_2O_5 , presentó un mayor contenido de fósforo en vástago que el trigo utilizado como control absoluto, posiblemente debido a la acción del bioinoculante y el inóculo micorrízico. Se sabe que los hongos forman asociaciones simbióticas con las raíces de plantas superiores, a las que benefician al incrementar su zona de exploración, absorción y translocación de nutrimentos de baja solubilidad como el fósforo (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990). Una de las principales actividades benéficas de las rizobacterias es la solubilización de minerales y nutrimentos (Gaskins *et al.*, 1985; Parker, 1994). El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas y adicionado con AH, presentó un notable aumento en el por ciento de fósforo en vástago, incluso mayor que el trigo utilizado como control relativo (sin inocular y fertilizado al 100%), posiblemente debido a que los AH aumentan el desarrollo de la micorrización (Ferrera-Cerrato y Pérez, 1994)

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 (gualda) y una fertilización fosforada al 100 por ciento, presentó un contenido de fósforo en vástago superior al trigo utilizado como control relativo. De igual manera, el trigo sin inocular + AH, presentó un por ciento de fósforo en vástago mayor al trigo utilizado como control relativo, mientras que las combinaciones microbianas produjeron un bajo por ciento de fósforo en vástago debido, probablemente, al alto nivel de fertilización fosforada, ya que una alta adición de fertilizantes inhibe la actividad micorrízica (Ryan *et al.*, 1990).

Contenido de fósforo en grano (%).

El análisis estadístico de varianza (Anexo 2A), muestra que el contenido de fósforo en grano fue afectado significativamente por el nivel de fertilización, mientras que los factores inoculación – AH por sí solos no resultaron significativos para esta variable. En lo que se refiere a la interacción de los factores, sólo la interacción nivel de fertilización – nivel de inoculación presentó una alta significancia, lo cual pone en evidencia la influencia de estos dos factores sobre el contenido de fósforo en grano.

En la Figura 4.2 ,se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas y sin fertilización fosforada presenta un por ciento de fósforo en grano estadísticamente igual al control absoluto (Anexo 7A). Este

mismo comportamiento se observa en el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas a las cuales se le adicionó AH. Esto concuerda con lo mencionado por Kononova (1982), en el sentido de que el mecanismo de acción de determinadas sustancias húmicas se basa en la estimulación de procesos energéticos. Ello produce una elevación de la vitalidad del organismo vegetal bajo la acción de sustancias biológicamente activas, aumentando la asimilación de los elementos nutritivos del suelo.

El trigo tratado con cualquiera de las combinaciones microbianas y fertilizadas con 50 por ciento de P_2O_5 presentó el mismo comportamiento que el trigo sin fertilizar y con las combinaciones microbianas, presentando un por ciento de fósforo en grano estadísticamente igual, en el caso del trigo inoculado con las combinaciones *P. putida* + G1 (Gualda) + AH y sin inocular + AH presentaron un por ciento de fósforo en grano inferior numérica y estadísticamente a los anteriores.

En los trigos con diferentes combinaciones microbianas y una fertilización fosforada al 100 por ciento, se observó un comportamiento similar al mencionado en los niveles inferiores de fertilización en los cuales el trigo con los diversos tratamientos presentó un por ciento de fósforo en grano estadísticamente igual a excepción del trigo tratado con *P. putida* + G1 (Gualda) + AH el cual presenta el mayor contenido de fósforo en grano.

Peso seco de vástago.

Una vez realizado el análisis estadístico de varianza (Anexo 3A) se observó que el factor de variación ácidos húmicos resultó significativo, en tanto que el factor inoculación resultó altamente significativo. Esto pone en evidencia la influencia de la inoculación sobre el peso seco de vástago. En cuanto a la interacción de los factores fertilización –inoculación, ésta resultó altamente significativa, al igual que la interacción de los tres factores.

En la Figura 4.3, se muestra que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas, adicionado con AH y sin fertilización fosforada, obtuvo un peso seco de vástago superior al trigo utilizado como control absoluto. Además, en el caso del trigo inoculado con *P. putida* + G1 (Gualda) y sin fertilizar, se obtuvo un peso seco de vástago superior al trigo utilizado como control relativo. Esto probablemente debido a que *P. putida* estimula la fisiología de la planta por diversos mecanismos, entre los que se encuentran la producción de ácido indol-ácetico, la mineralización de minerales y nutrientes, interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos de la rizosfera y la inhibición de fitopatógenos; todas estas actividades incrementan la producción vegetal (Gaskins et al., 1985; Parker, 1991).

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 (Gualda) y las combinaciones microbianas adicionados con AH y con una fertilización al 50 por ciento

presenta un peso seco de vástago superior al trigo utilizado como control absoluto y estadísticamente igual al trigo utilizado como control relativo. En general, el efecto de las rizobacterias sobre el trigo se refleja en el incremento de su materia seca (Alexander, 1980).

El trigo inoculado con cualquier de las combinaciones microbianas, adicionados o no con AH a excepción del trigo inoculado con *P. putida* + *G₂* (nado silvestre)+ AH todos ellos con una fertilización al 100 por ciento de P_2O_5 presentan un descenso en cuanto a peso seco de vástago que lo sitúa estadísticamente igual al trigo utilizado como control absoluto reflejando así la acción negativa de los fertilizantes al inhibir los efectos de la actividad micorrízica del inoculante.

Rendimiento.

Una vez realizado el análisis estadístico de varianza (Anexo 4A), se observó que los factores de variación fertilización, inoculación y ácidos húmicos presentaron un alto nivel de significancia, lo que denota que el rendimiento está ampliamente influido por la acción de cada uno de los factores, así como por la interacción de los factores.

En la Figura 4.4, se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas y sin fertilización fosforada, obtuvo un

rendimiento superior al trigo utilizado como control absoluto y al trigo utilizado como control relativo. Esto posiblemente es el resultado de la acción de la coinoculación. Al respecto, Sánchez- Yañez (1994), sugiere un efecto estimulante del inóculo sobre el trigo que se traduce en una mayor producción de materia seca y rendimiento en plantas inoculadas.

El trigo inoculado con las combinaciones microbianas y al 50 por ciento de fertilización fosforada presentó un rendimiento superior al trigo utilizado como control absoluto. Con respecto al trigo inoculado con las combinaciones microbianas y adicionado con AH, se observó un rendimiento por debajo del trigo utilizado como control relativo.

El trigo inoculado con las combinaciones microbianas y fertilizado al 100 por ciento, adicionado o no con AH, presentó un bajo rendimiento ligeramente superior al trigo utilizado como control absoluto. Esto pone en evidencia la acción negativa de las dosis altas de fertilización sobre la actividad de los microorganismos utilizados en el presente trabajo de investigación.

V. CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados de la inoculación *P. putida* + *Glomus spp* sobre el crecimiento y contenido de fósforo en trigo a tres niveles de fertilización fosforada se concluye lo siguiente:

1. Se observó una interacción positiva entre la coinoculación y los AH, a un nivel de fertilización intermedia, sobre el por ciento de P en vástago de trigo.

2. La respuesta de los inoculantes al 100 por ciento de fertilización fosforada hace suponer que se trata de dos especies de hongos endomicorrízicos diferentes.

3. La inoculación del trigo y la adición de AH, no influyó en el contenido de P en grano a los diferentes niveles de fertilización fosforada.

4. La inoculación afectó positivamente el peso seco de vástago de trigo en ausencia de fertilización fosforada o a un nivel intermedio del mismo.

5. El trigo inoculado y en ausencia de fertilización fosforada y AH, mostró un rendimiento superior al trigo control relativo.

RESUMEN.

Se realizó una investigación en el cual el trigo fue inoculado con una RVPC (*P. putida*) y una de dos MVA (*Glomus spp*) denominadas G₁ (gualda), G₂ (nado silvestre), con el objeto de evaluar su efecto a tres niveles de fertilización fosforada y adicionados con ácidos húmicos.

Los microorganismos se aislaron de malezas asociadas al cultivo de trigo localizados dentro del área de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, los hongos micorrízicos del género *Glomus* se obtuvieron de *Reseda luteola* y *Eruca sativa*. Entanto que *P. putida* se encontraba previamente en la colección bacteriana del laboratorio de Microbiología de suelos del departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, dichos microorganismos colonizaron la rizósfera de la raíz del trigo.

Se derivaron una serie de 18 tratamientos que consistieron en la coinoculación de semillas de trigo con tres niveles de fertilización fosforada (0,50 100 % de la dosis recomendada) adicionados con ácidos húmicos. Las variables a evaluar fueron contenido de fósforo en vástago y grano, además de peso seco de vástago y rendimiento.

El trigo inoculado con *P. putida* + G₁ o G₂ adicionados con ácidos húmicos y fertilizados al 50 por ciento de P₂O₅ presentó un por ciento de fósforo en vástago estadísticamente similar al trigo utilizado como control relativo (sin inocular + 100 % de fertilización fosforada). En el por ciento de fósforo en grano no se presentó respuesta a la coinoculación ya que no presenta diferencia significativa entre los tratamientos.

El trigo inoculado con *P. putida* + G₁ o G₂ presentó un peso seco de vástago superior estadísticamente al trigo utilizado como control relativo. Por otra parte el trigo inoculado con *P. putida* + G₁ o G₂ adicionados con AH y fertilizado al 50 % de P₂O₅ igualo el rendimiento del trigo utilizado como control relativo.

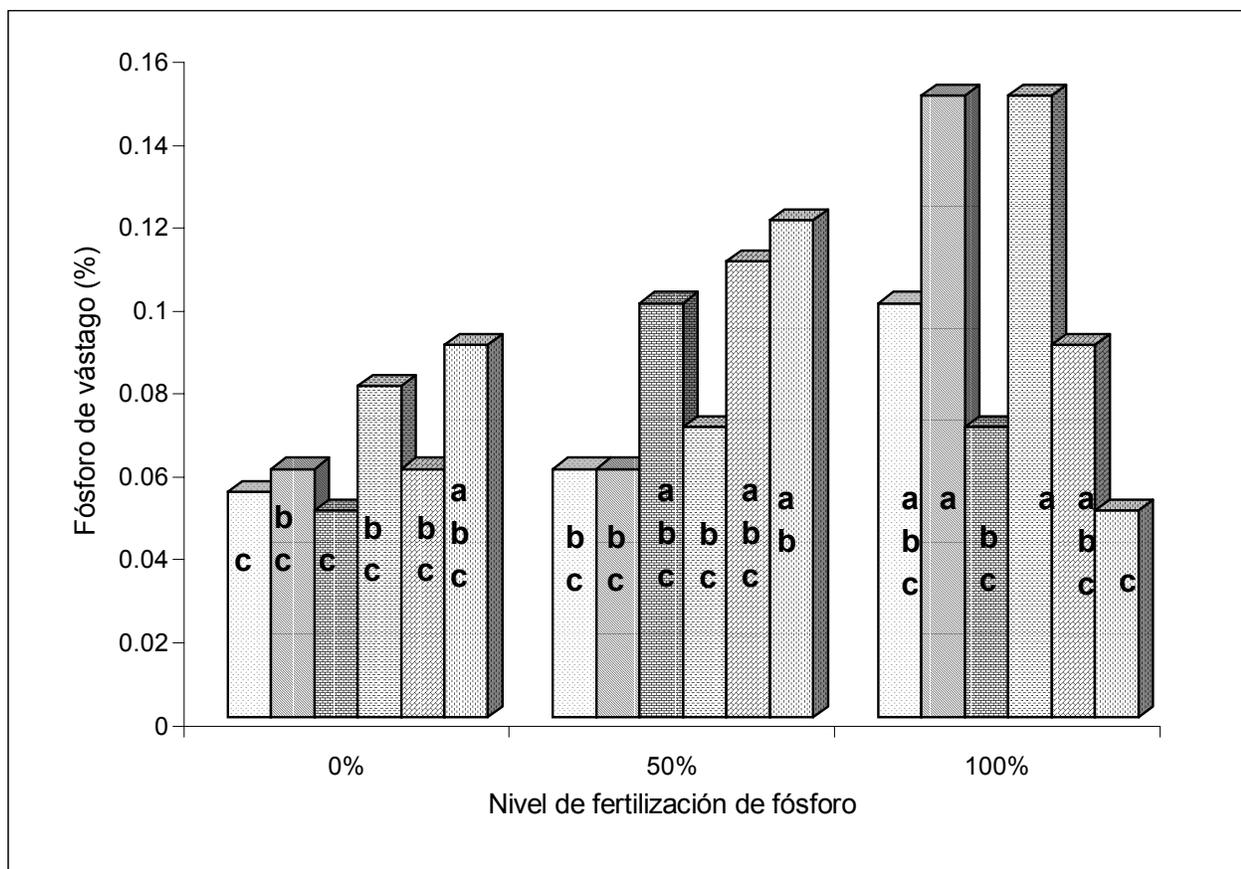
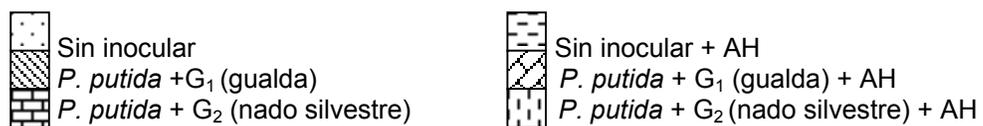
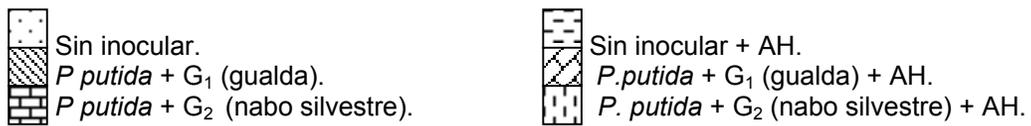
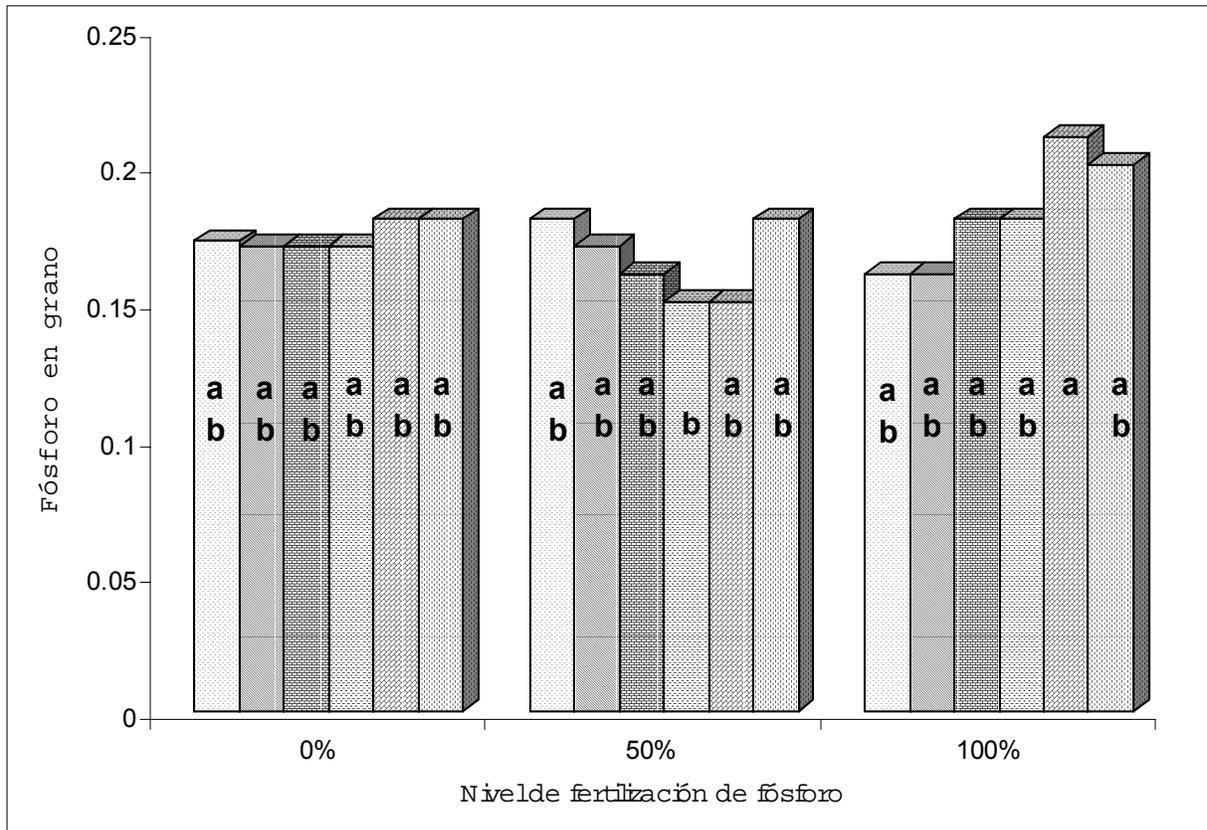


Figura 4.1. Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp* + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el porcentaje de fósforo en vástago.



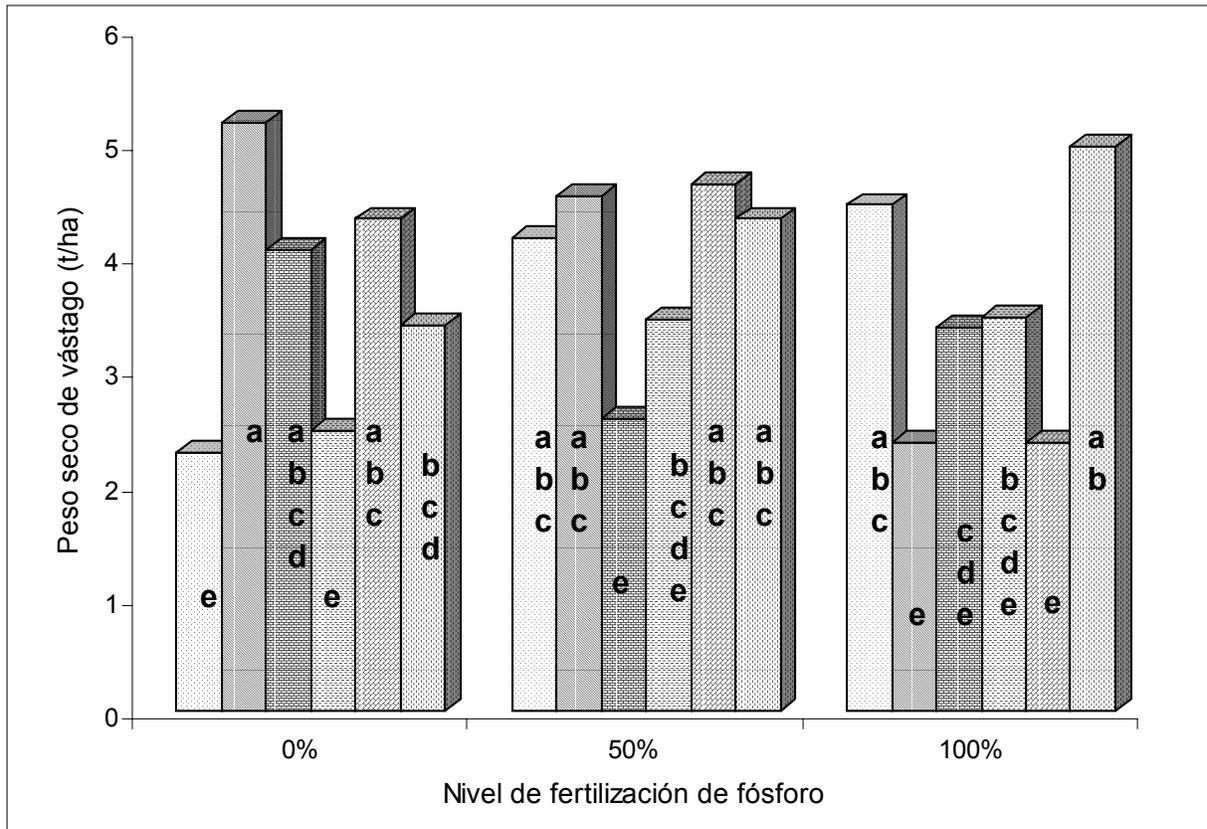
c.a = Control absoluto; c.r = Control relativo. Barras con letras homólogas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Figura 4.2. Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp* + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el por ciento de fósforo en grano.



C.a = Control absoluto; C.r = Control relativo. Barra con letras homólogas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

Figura 4.3. Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp* + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre peso seco de vástago.

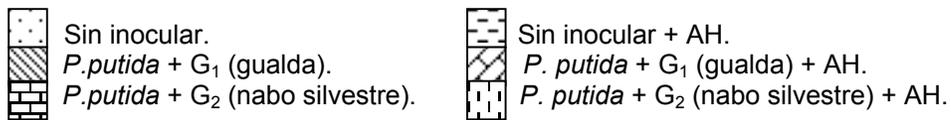
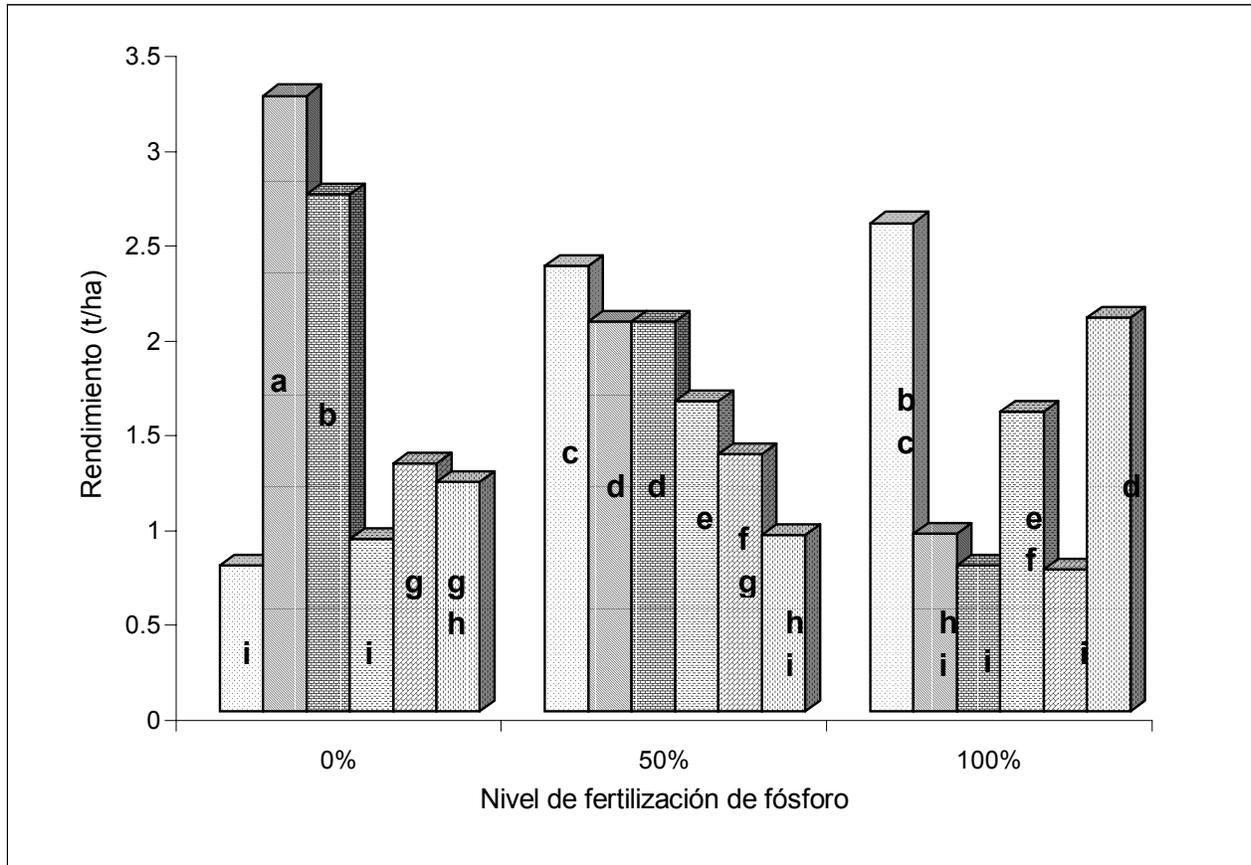



 Sin inocular.
P. putida + *G*₁ (gualda).
P. putida + *G*₂ (nabo silvestre).


 Sin inocular + AH.
P. putida + *G*₁ (gualda) + AH.
P. putida + *G*₂ (nabo silvestre) + AH.

c.a =Control absoluto; c.r =Control relativo. Barra con letras homólogas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha= 0.05$)

Figura 4.4. Efecto de la coinoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp* + ácidos húmicos en trigo variedad Pavón F-76 a tres niveles de fertilización fosforada sobre el rendimiento.



C.a = Control absoluto; C.r = Control relativo. Barras con letras homólogas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

LITERATURA CITADA

- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Traducción al español por Peña Cabriaes, A G.T. Editor México.
- Allen, F.M. 1983. Formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Atriplex gardneri* (Chenopodiaceae):seasonal response in a cold desert. *Mycologia* 75:773-776.
- Aykroyd, W.R y Doughty, J, 1970. El trigo en la alimentación humana. FAO
- Barea, J.M. y Stewart, B.A. 1991. V-A Mycorrhizae and soil fertility. *Advances in Soil Science* 15:3-40 p.
- Beauchamp, C. J., Dion, P., Kloepper, J. W y Antoun, A. 1991. Physiological characterization of opine – utilizing rhizobacteria for traits relating to plant growth – promoting activity. *Plant soil.* 132. 273-279.The Netherland.
- Bolan, N.S. 1991. A critical review in the role of mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134:189-207.
- Bierman, B.J. y Linderman R.G. 1981. Effect of growth medium on establishment and performance of vesiculo-arbuscular mycorrhizae on geranium and subclover. *Proceedings of the Fifth North American Conference on Micorrhizae.* Quebec. Canadá.
- Buckman, H.O. y Brady, C. N. 1966. *Naturaleza y propiedades de los suelos.* 1ª. Ed. Montener y Simon. España.
- Cambell, R y Greaves, M. P. 1990. Anatomy and structure of the rizosphere. Pp.11-34. En J.M. Lynch (Ed.) *The rizosphere,* John Wiley and Sons. New york, USA.
- Carlson. 1990. Spore of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Micol. Soc.* vol 46.235-244.p
- Carling, D.E. y Brown, M.F. 1982. Anatomy and physiology of (V-A) and nonmycorrhizal roots. *Phytol.* 72(8):110-114 p.
- Casillas Dominguez, R. 1990. Caracterización y utilización como fertilizante de roca fosfórica en suelos calcáreos del área de influencia de la UAAAN. Tesis de licenciatura. Buenavista; Saltillo, Coahuila, México.

- Contreras, D. J y Ferrera-Cerrato, R. 1990. Ecología y distribución de las micorrizas V-A en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Zacatecas, México. Rev. Méx. Fitopatología 7:66-73.
- Davies, K.G, y R. Whitbread. 1989. Factors affecting the colonisation of root system by fluorescent Pseudomonads: The effect of water, temperature and soil microflora. Plant and soil. 116: 247-256.
- Donahue, R.T. 1990. Soil: An introduction to soils and plant growth. 5th. Ed. Prentice-Hall. Inc. N. Jersey.
- Ferrera-Cerrato, R. 1989. Rizosfera. En Ferrera-Cerrato, R (Ed). Ecología de la raíz. Sociedad Mexicana de fitopatología, Montecillos, Méx. Pp 1-21.
- Ferrera-Cerrato, R. y Pérez-Moreno, J. 1994. Mycorrhizal interactions with plants and soil organisms in sustainable agroecosystems. En: Transactions of 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Méx. 4^a: pp53-54
- García, E. 1973. modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen. Adaptado a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía – UNAM. México, pág. 264.
- García G,E, 1995. Respuesta a la aplicación de Micorriza (V-A) en leguminosas (*Cassia tormentosa* L.) en tepetate rojo. Tesis Profesional. U.A.Ch. Depto. De Suelos. Chapingo, Méx.
- Gaskins, M. H., Albrecht, S. L. y Hubbell, D. H. 1985. Rhizosphere bacteria and their use to increase plant productivity: A review. Agriculture, Ecosystems and Environment 12:99-116.
- González-Chávez, M. C. y Ferrera-Cerrato, R. 1994. Mycorrhizal colonization in cantaloupe culture. En: Transactions of 15th. World Congress of soil science. Acapulco, Méx. 4b pp 40-41.
- Gianinazzi-Pearson, V. 1987. (V-A) endomicorrizae as determinants for plant growth and survival. En: Interrelationships and plants in soil. Vancura V y Kunc, F. (Eds.) Proceedings of an International Symposium E.69-76p.
- Guzmán-Plazola, R.A y Ferrera- Cerrato, R. 1990. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. Sección de Microbiología, Centro de Edafología. C.P Montecillos. 120 p.
- Grajeda-Cabrera, O.A. y Peña-Cabriales, J. J. 1997. Dinámica del nitrógeno en el ecosistema agrícola. En Perspectiva de la microbiología en México.

Editorial IPN. México D. F. 347 pp.

Hayley, J.L. y Smith, S.I. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York.

Hayman, D.S. 1983. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. Canadian Journal of Botany 61:944-963.

Hunt, P. G. 1990. Microbial response in the rhizosphere of agricultural plants in rhizosphere dynamics. Box, J. E. y Hammond, L.L (Eds.). AAAS. Selected Symposium 113. West view Press. Boulder, Colorado, USA. pp. 116-135.

INEGI, 1998a. Biosa, número 152 agosto 98 p. 15

INEGI, 1998b. El sector alimentario en México. ed. 1998 p.p 36

Jawson, D.M., Franzluebbers, A.J., Galusha, D.K y Aiken, R.M. 1993. Soil Fumigation within monoculture and rotations: Response of corn and mycorrhizae. Agrn.J. 85: 1174-1180.

Klopper, J. W., Schroth, M. N. y Miller, T. D. 1980. Effects of rhizosphere colonization by plant growth – promoting rizobacteria on potato plant development and yield. Phytopathol. 70.1078-1082.USA.

Konova, M. 1991. Materia orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Oicos tab. Barcelona, España. Pp 365.

Land, S. H., Alte, Schonbech, Y. y Von Alten, H. 1993. The influence of host plant, nitrogen fertilization and fungicide application on the abundance and seasonal dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils of northern Germany. Rev Plant patol. CAB. Abstracts on C.D.

Large, E.C. 1954. Growth stages in Cereals. Plant Pathol. Pp.3:128-129.

Lynch, J.M. 1990. Introduction: some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. En: Lynch, J.M. (ed.) the rhizosphere. John Wiley and Sons. Pp 1-10.

Leon, A.R. 1984. Nueva edafología. Regiones Tropicales y áreas templadas de México. Ed Gacela, México p 122-141.

Manuales para la educación agropecuaria. 1981 Editorial Trillas-Sep. México, D.F.

Matías, C.J.S. 1990. *Azolla carolina* como biofertilizante en *Eysenhardfia palystachya* inoculada con micorriza (VA) creciendo en tepetate. Tesis

Profesional. Depto. Suelos. Chapingo, Méx.

- Marschner. H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic. Press Limited. pp. 542- 545.
- Menge, J.A. 1983 Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal Fungi in agriculture. Can J. Bpt. 61:1015-1024.
- Morton, J.B. y Benny, G.L. 1990. Revised Clasification of arbuscular mycorrhizal Fungi (*Zygomycetes*): A new order, Glomales, two new suborders, *Glominae* and *Gigasponnae* and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae* with emendation of *Glomaceae*. Mycotaxon 37: 471-491.
- Morales, R., Leal, J. y Garza, G. 1973. Influencia de estiércoles de bovino y de la fertilización nitrogenada en el rendimiento del trigo cultivado en un suelo calcáreo. Memorias del 3er. Congreso Nacional de la C. del S.
- Nair. V. D. 1995. Forms of P in soil profiles from dairies of South Florida. Soil. Sci,Soc Am J. 59 1244-1249.
- Narro, E.F. 1993. Información sobre los ácidos húmicos (información técnica). Productos agroquímicos GBM, Saltillo, Coahuila, México.
- Newman, E.I y Eason, W.R. 1989. Cycling nutrients from dying roots to living plant and soil. 115:211-215 p.
- O'Halloran, I. P. 1985. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management. Can J. Soil Sci 65: 475-487.
- Ortega, T. E. 1978. Química de suelos. Ed Patena UCh. Chapingo Méx.
- Parker, J. L. 1991. Root colonization by indigenous and introduced microorganisms. En: The rhizosphere and plant growth. D.D Keister. Kluwer Academic. Pub. The Netherlands, pp 33-42.
- Reynolds, C. M. y Wolf D.C. 1988. Effects of field methods and soil cover on estimating ammonia loss from nitrogen urea¹⁵. Siol. Sci. Soc. Am. J. 52: 706-712.
- Rennie, R. J. 1993. The effect of growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on yield of hard red spring wheat. Comico fertilizer LTD. Saskatoon, Canada.
- Rhodes, L.H y Gederman, J.W. 1980 Nutrient translocation in (VA) micorrhizal Plant an Soil 223:173-195.
- Robles, S.R, 1990. Producción de granos y forrajes. 5^a edición editorial limusa

S.A de C.V México.

- Ryan, M. H., Chilcers G. A., y Dumaresq D. C. 1994. Colonization of wheat by (VA) micorrryzal fungi was found to be higher on farm managed in organic mannur than on a conventional neighbour. *Plant and soil* 160:33-40.
- Smith, S.E y Smith, F. A. 1990. Structure and funtion of the interfases in biotrophia symbiosis as they relate to nutriment transport. *New phytol.* 114:1-38.
- Stevenson, F. J. 1982. Rodale and function on humus in soil with emphasis on apsortion of herbicides and chelation of micronutrient. *Biology Sc.* 22 (11) 643-650.
- Terra Nova Enciclopedia Agropecuaria. 1995. Producción Agrícola tomo 1. Impreso por Panamericana S.A. Santafé de Bogotá Colombia.
- Torres, B. A. 1993. Interacción hongo micorrízico-cebolla y su relación con la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum* B). Tesis de maestría, Centro de fitopatología. Montecillos, Méx.
- Thompson, L. M. y Troeh, F. R. 1980. Los suelos y su fertilidad 4ªEd. editorial reverté, S.A. Esp.
- Trapper, J.M 1984. Mycorrhizal reactions to pesticides. *Ann. Rev. Phytopathol* 22:331-359.
- Villalobos, S.R.I. 1993. Potencial de la micorriza (VA) en la producción de chile (*Capsicum annum* L.)y cebolla (*Allium cepa* L.). Tesis de maestría, Centro de fitopatología, C.P. Montecillos Méx.
- Villarreal, J.A. 1983. Malezas de Buenavista, Coahuila. UAAAN. p.271.

APÉNDICE

1.A Cuadro de análisis de varianza de la variable contenido de fósforo en vástago.

FV	GL	SC	CM	FC	F α (0.05 - 0.01)
Factor A	2	0.004335	0.002167	4.2975 *	3.17 - 5.04
Factor B	2	0.000015	0.000007	0.0145 NS	3.17 - 5.04
Factor C	1	0.000165	0.000165	0.3271 NS	4.02 - 7.14
A X B	4	0.025251	0.006313	12.516**	2.55 - 3.70
A X C	2	0.002003	0.001001	1.9854 NS	3.17 - 5.04
B X C	2	0.006434	0.006056	6.3783**	3.17 5.04
A X B X C	4	0.024224	0.000504	12.007**	2.55 - 3.70
Error	54	0.027235	0.000504		
Total	71	0.089661			

C.V. = 24.66 % NS No significativo * Significativo ** Altamente significativo

Donde:

Factor A =Niveles de fertilización fosforada

Factor B =Niveles de inoculación

Factor C =Niveles de ácidos húmicos.

2A. Cuadro de análisis de varianza de la variable contenido de fósforo en grano

FV	GL	SC	CM	FC	F α (0.05 - 0.01)
Factor A	2	0.004384	0.002192	4.281	* 3.17 - 5.04
Factor B	2	0.000855	0.000427	0.835	NS 3.17 - 5.04
Factor C	1	0.001577	0.001577	3.081	NS 4.02 - 7.14
A X B	4	0.014306	0.003577	6.985	** 2.55 - 3.70
A X C	2	0.002961	0.001481	2.892	NS 3.17 - 5.04
B X C	2	0.000964	0.000482	0.941	NS 3.17 - 5.04
A X B X C	4	0.004518	0.001129	2.206	NS 2.55 - 3.70
Error	54	0.027646	0.000512		
Total	71	0.057212			

C.V = 13.00 % NS No significativo * Significativo ** Altamente significativo

Donde:

Factor A = Niveles de fertilización fosforada.

Factor B = Niveles de inoculación.

Factor C = Niveles de ácidos húmicos.

3A. Cuadro de análisis de varianza de la variable peso seco de vástago.

FV	GL	SC	CM	FC	F α (0.05 - 0.01)
Factor A	2	1.220398	0.610199	1.6731	NS 3.17 - 5.04
Factor B	2	11.64459	5.822296	15.964	** 3.17 - 5.04
Factor C	1	1.963501	1.963501	5.3837	* 4.02 - 7.14
A X B	4	4.118774	1.029694	2.8233	* 2.55 - 3.70
A X C	2	0.669739	0.334869	0.9182	NS 3.17 - 5.04
B X C	2	3.509094	1.754547	4.8108	NS 3.17 - 5.04
A X B X C	4	56.59521	14.14880	38.794	** 2.55 - 3.70
Error	54	19.69433	0.364710		
Total	71	99.41564			

C.V. = 16.14 % NS No significativo * Significativo ** Altamente significativo

Donde:

Factor A = Niveles de fertilización fosforada.

Factor B = Niveles de inoculación.

Factor C = Niveles de ácidos húmicos.

4A. Cuadro de análisis de varianza de la variable rendimiento.

<u>EV</u>	<u>GL</u>	<u>SC</u>	<u>CM</u>	<u>FC</u>	<u>F_α</u>
					(0.05 - 0.01)
Factor A	2	3.229919	1.614960	146.20 **	3.17 - 5.04
Factor B	2	12.20295	6.101479	552.35 **	3.17 - 5.04
Factor C	1	0.647308	0.647308	58.599 **	4.02 - 7.14
A X B	4	3.989358	0.997089	90.265 **	2.55 - 3.70
A X C	2	1.160172	0.580086	52.514 **	3.17 - 5.04
B X C	2	1.930786	0.965393	87.395 **	3.17 - 5.04
A X B X C	4	15.45298	3.863247	349.73 **	2.55 - 3.70
Error	54	0.596497	0.011046		
Total	71	39.20898			

C.V. = 6.103281 %

* Significativo

** Altamente significativo

Donde:

Factor A = Niveles de fertilización fosforada.

Factor B = Niveles de inoculación.

Factor C = Niveles de ácidos húmicos.

5A. Cuadro de distribución de medias de la variable contenido de fósforo en el vástago expresado en por ciento.

<u>Tratamiento</u>	<u>Media</u>	
14	0.1577	A
16	0.1577	A
12	0.1257	AB
11	0.1102	ABC
13★	0.1075	ABCD
9	0.1066	ABCD
6	0.0917	BCD
17	0.0905	BCD
4	0.0843	BCD
15	0.0774	BCD
10	0.0707	BCD
8	0.0658	CD
2	0.0636	CD
5	0.0631	CD
7	0.0628	CD
18	0.0564	CD
1	0.0545	CD

3 0.0518

Nivel de significancia = 0.05 Tukey.

★ Tratamiento control relativo

6A. Cuadro de distribución de medias de la variable contenido de fósforo en grano expresado en por ciento.

<u>Tratamiento</u>	<u>Media</u>	
17	0.2090	A
18	0.2040	AB
5	0.1870	AB
16	0.1860	AB
6	0.1820	AB
7	0.1770	AB
12	0.1760	AB
15	0.1750	AB
4	0.1750	AB
2	0.1740	AB
1	0.1720	AB
3	0.1700	AB
8	0.1670	AB
9	0.1620	AB
13★	0.1620	AB
14	0.1570	AB
11	0.1520	AB
<u>10</u>	<u>0.1460</u>	<u>B</u>

Nivel de significancia = 0.05 tukey.

★ Tratamiento control relativo.

7A. Cuadro de distribución de medias de la variable peso seco de vástago expresado en toneladas por hectárea.

<u>Tratamiento</u>	<u>Media</u>	
2	5.1660	A
18	4.9470	AB
11	4.6370	ABC
8	4.5250	ABC
13★	4.4450	ABC
12	4.3260	ABC
5	4.3200	ABC
7	4.1500	ABC
3	4.0500	ABCD
16	3.4500	BCDE
10	3.4370	BCDE
6	3.3870	BCDE
15	3.3750	CDE
9	2.5750	DE
4	2.4620	E
17	2.3620	E
14	2.3500	E
1	2.2750	E

Nivel de significancia = 0.05 Tukey.

★ Tratamiento control relativo.

8A. Cuadro de distribución de medias de la variable rendimiento expresado en toneladas por hectárea.

<u>Tratamiento</u>	<u>Media</u>	
2	3.2510	A
3	2.7360	B
13★	2.5830	BC
7	2.3550	C
8	2.0680	D
9	2.0620	D
18	2.0550	D
10	1.6470	E
16	1.5870	EF
11	1.3610	FG
5	1.3120	G
6	1.2100	GH
14	0.9450	HI
12	0.9380	HI
4	0.9110	I
15	0.7730	I
17	0.7530	I
1	0.7110	I

Nivel de significancia = 0.05 tukey.

★ Tratamiento control relativo.

