

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



**Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* - *Glomus spp.*
sobre el crecimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en campo.**

Por:

LUZ MARÍA LÓPEZ MENDOZA

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 inoculación combinada *Pseudomonas putida* - *Glomus spp.* sobre el crecimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en campo.

Por:

LUZ MARÍA LÓPEZ MENDOZA

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS

APROBADA
Presidente del jurado

M.C. Blanca A. Valdivia Urdiales

Sinodal

Sinodal

M.C. Luis M. Lasso Mendoza

M.C. Víctor S. Peña Olvera

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

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 1999

DEDICATORIAS

A mis padres, Sra. **Ma. Elena Mendoza** y Sr. **José Donaciano López** por querer dejarme ser parte de su existencia, y haber depositado en mí su confianza, con profunda ternura y amor para ellos.

A mi esposo **José Ricardo Méndez Pastrana** por el amor, respeto y apoyo que me brinda en todo momento, para él con todo mi amor.

A mi hija **María José** porque con su llegada abrió una luz de esperanza que me impulsa a seguir adelante.

A mis hermanos (as) por su cariño e incondicional apoyo.

Norma
Antonio
Alejandro
Daniel y
Cristina

AGRADECIMIENTOS

A la **M.C. Blanca Valdivia Urdiales** por su empeño, dedicación, disponibilidad y conocimientos transmitidos para llevar a cabo esta investigación, pero sobre todo por su amistad y confianza que depositó en mi.

Al **M.C. Luis Miguel Lasso Mendoza** por su colaboración y apoyo para la realización y revisión de este trabajo.

Al **M.C. Victor Samuel Peña Olvera** por su disponibilidad para la revisión de este trabajo.

A mi esposo **José Ricardo Méndez Pastrana** por su colaboración en el trabajo de campo realizado para esta investigación.

A mi **Alma Mater** que me abrigó en sus instalaciones y me dio, por medio de mis maestros, una formación profesional.

A los Ingenieros **Jorge Uribe y Miguel Uribe** por el apoyo que me brindaron al inicio de mi carrera profesional.

A todos mis compañeros de la especialidad de suelos de la generación LXXXVI especialmente a **Yissa, Juan, Javier Pérez, Camilo, Eric, Vite, Sergio, Luciano, Abel y Servando**.

A mis grandes amigas **Carlota Barradas y Claudia Huerta** por su apoyo, y amistad que me brindaron.

Pero sobre todo a Dios por que me permitió concluir una etapa más de mi camino "Gracias".

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	4
Objetivos.....	4
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Características generales del trigo.....	5
Origen.....	5
Importancia.....	5
Clasificación taxonómica.....	6
Botánica.....	7
Nitrógeno.....	9
Importancia del nitrógeno.....	9
Nitrógeno en la planta.....	10
Nitrógeno en el suelo.....	10
Fósforo.....	11
Importancia del fósforo.....	11
Fósforo en la planta.....	12
Fósforo en el suelo.....	13
Rizósfera.....	14
Microflora de la rizósfera.....	15
Rizobacterias.....	16
Pseudomonas.....	18
Micorrizas.....	19
Clasificación de las micorrizas.....	19
Distribución e importancia de las micorrizas.....	21
Bioinoculación.....	23
Suelos calcáreos.....	24
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	26

Localización del campo experimental.....	26
Características del área experimental.....	26
Clima.....	26
Suelo.....	26
Análisis físico y químico del suelo.....	27
Material vegetal.....	27
Origen de los microorganismos.....	28
Preparación del bioinoculante.....	29
Propagación de <i>Pseudomonas putida</i>	29
Esterilización e inoculación de la turba.....	29
Inoculación de la semilla.....	30
Preparación del terreno.....	30
Tamaño de la parcela.....	31
Fertilización.....	31
Riegos y cosecha.....	32
Variables evaluadas.....	32
Peso seco de vástago.....	32
Por ciento de nitrógeno en el vástago.....	32
Por ciento de fósforo en el vástago.....	33
Rendimiento de grano de trigo.....	33
Descripción de los tratamientos.....	33
Diseño experimental.....	34
Modelo estadístico.....	34
 IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 36
 V.- CONCLUSIONES.....	 65
 RESUMEN.....	 67
 BIBLIOGRAFÍA.....	 69
 APÉNDICE.....	 75

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el peso seco de vástago de trigo var. Pavón F-76.....	38
Figura 4.2. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el peso seco del vástago de trigo var. Pavón F-76.....	42
Figura 4.3. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	46
Figura 4.4. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	49
Figura 4.5. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	53
Figura 4.6. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada total en el vástago trigo var. Pavón F-76.....	56
Figura 4.7. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.....	60
Figura 4.8. Efecto de la inoculación combinada <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Glomus</i> spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Principales características físicas y químicas del suelo del área experimental.....	27
Cuadro 3.2. Tratamientos en campo, inoculación y fertilización de trigo var. Pavón F-76.....	35
Tabla 4.1. Efecto de la inoculación combinada Pseudomonas putida + Glomus spp. sobre el peso seco del vástago de trigo var. Pavón F-76.....	43
Tabla 4.2. Efecto de la inoculación combinada Pseudomonas putida + Glomus spp. sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	50
Tabla 4.3. Efecto de la inoculación combinada Pseudomonas Putida + Glomus spp. sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	57
Tabla 4.4. Efecto de la inoculación combinada Pseudomonas Putida + Glomus spp. sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.....	64
Cuadro 4.1. ANVA. Peso seco de vástago de trigo var. Pavón F-76.....	76
Cuadro 4.2. ANVA. Por ciento de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	76
Cuadro 4.3. ANVA. Por ciento de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.....	77
Cuadro 4.4. ANVA. Rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.....	77

INTRODUCCIÒN

El trigo es el grano más cultivado del mundo, derivándose su importancia de las propiedades físicas y químicas que posee. En nuestro país, es el cereal considerado como el segundo cultivo básico de importancia y, dentro de los granos básicos, es el cultivo más tecnificado e intensivo. Sin embargo, en los últimos años ha sido necesario triplicar las dosis de fertilizante nitrogenado y fosforado para mantener constantes los rendimientos (Vera, 1994). Esto es especialmente notable en suelos con características desfavorables como aquellos con altos contenidos de carbonatos (suelos calcáreos) que limitan la absorción de nutrimentos esenciales a la planta y que constituyen más del 30 por ciento del territorio nacional.

El nitrógeno en el suelo es un elemento móvil debido a su solubilidad, no obstante, se ha calculado que hasta el 60 por ciento del nitrógeno aplicado al suelo está sujeto a pérdidas y sólo el resto es aprovechado por el trigo. El fósforo, que también forma parte de los nutrimentos esenciales para el crecimiento, se presenta como un elemento inmóvil en el suelo, donde sólo el 9 por ciento está disponible para las plantas, en contraste con el 70 por ciento que se quela por compuestos de Ca, principalmente, en suelos calcáreos.

Actualmente la biotecnología ha desarrollado estrategias como la bioinoculación de microorganismos para hacer más eficiente la asimilación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, contribuyendo a promover el crecimiento de las plantas. De los microorganismos más utilizados como inoculantes se encuentran las bacterias de la rizósfera ó rizobacterias que promueven el crecimiento vegetal. Entre éstas destaca el género *Pseudomonas* que favorece la asimilación de nitrógeno y fósforo por medio de mecanismos como la excreción de sustancias reguladoras de crecimiento, como las fitohormonas y ácido indol-acético, y protección a la planta contra agentes patógenos. También se emplean como inoculantes otro tipo de microorganismos benéficos como las micorrizas vesículo arbusculares (VAM), relacionadas, principalmente, con una mayor absorción de fósforo, debido a que aumentan el volumen radical y sus hifas interceptan nutrientes. En la naturaleza, ambos microorganismos forman una asociación sinérgica que puede favorecer el desarrollo de las plantas superiores.

Anteriormente, los reportes sobre asimilación conjunta de nitrógeno y fósforo como resultado de una bioinoculación eran escasos ya que normalmente se estudiaban de forma individual. En la actualidad, se han realizado investigaciones donde se combinan dos microorganismos en la inoculación de gramíneas, obteniendo resultados positivos sobre el crecimiento de la parte aérea y el peso seco de raíces, así como incrementos considerables en la asimilación de nutrientes.

Por tal motivo, la presente investigación consistió en comprobar una estrategia en campo que permita modificar las dosis crecientes de fertilización del cultivo de trigo en suelos calcáreos. Se utilizó la combinación de dos microorganismos, la rizobacteria *Pseudomonas putida* y endomicorriza vesículo arbuscular del género *Glomus spp.*, aplicando diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (urea) y fosforado (superfosfato triple). El estudio se realizó en el campo experimental (bajío) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y se evaluó el efecto de los inoculantes y los niveles de fertilización sobre peso seco de vástago, por ciento de nitrógeno y fósforo en el vástago y rendimiento de grano.

Hipótesis

La bioinoculación de trigo con microorganismos benéficos mejorar la absorción de I nitrógeno y el fósforo.

Objetivos

1.- Evaluar el efecto de la inoculación *Pseudomonas putida* - *Glomus* spp. sobre el crecimiento, en trigo.

2.- Seleccionar la combinación microbiana que tenga mejor efecto sobre el crecimiento de trigo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características Generales del Trigo

Origen

El trigo es originario de Asia occidental, de las regiones próximas del Eufrates donde crecía espontáneamente en épocas remotas (Vavilov,1950) y fue introducido a América casualmente en un costal de arroz. Según Rodríguez (1982), Juan Garrido, esclavo de Hernán Cortés, encontró tres granos de trigo que sembró y cosechó para posteriormente popularizar su cultivo en el altiplano.

Importancia

Durante la primera parte de este siglo la producción de alimentos en México estaba estancada; después el trigo empezó a ganar terreno en el gusto del mexicano, llevándolo a ser parte de su alimentación diaria. En la actualidad, el trigo es el segundo cereal en importancia con base en su valor nutricional ya que su contenido de proteína es más alto que del arroz.

El valor nutritivo del grano de trigo no solamente está determinado por la cantidad de proteínas sino por el balance de aminoácidos, dentro de estos una parte de la proteína del trigo es el gluten. Su riqueza proteica varía de seis a veintiuno por ciento, dependiendo de factores genéticos, edáficos, tratamientos con fertilizantes, etc. El gluten del grano de trigo es el principal ingrediente que tiene propiedades elásticas y de esponjamiento de gran valor para la fabricación de pastas, pan, galletas, pasteles y otros.

Por su hábito de desarrollo, el cereal se puede diferenciar en trigo de invierno y trigo de primavera, prospera en una amplio rango de latitudes que van desde los 30 a los 3400 metros sobre el nivel del mar. Posee cualidades genéticas para desarrollarse en casi todo tipo de suelos y diferentes climas.

Clasificación Taxonómica

Clasificación taxonómica del trigo según Flores (1994).

Categoría	Clasificación
Reino.....	vegetal
División.....	<i>tracheophyta</i>
Clase.....	monocotyledoneae
Ordeng.....	lumifloae
Familia.....	gramineae
Subtribu.....	triticeae
Tribu.....	triticineae
Género.....	<i>Triticum</i>
Especie.....	<i>aestivum</i>

Botánica

El trigo como, las demás gramíneas, es una monocotiledonea herbácea, compuesta esencialmente de raíz, tallo, hojas y espiga (Kent, 1987).

Raíz. Su raíz es numerosa y fibrosa, se extiende sobre la superficie y su profundidad va de acuerdo a las condiciones del suelo. En general se trata de un sistema radicular superficial.

Tallo. Posee un tallo principal y varios secundarios llamados macollos el tallo principal nace del embrión mientras que los macollos nacen del tallo principal. En la familia de las gramíneas el tallo es una caña formada de nudos, que es una porción maciza y pequeña. La altura del tallo oscila, según la variedad, de 0.60 m hasta 1.70 m.

Hojas. Éstas nacen en el entre nudo y están formadas de dos partes principales que son la vaina y la lámina. La vaina se desarrolla como un tubo hacia arriba que va envolviendo el entre nudo. Las láminas de las distintas hojas son alternas y tienen forma lanceolada con una nervadura central. La longitud de las hojas depende de la posición sobre el tallo (Soldano, 1978).

Inflorescencia. Es una inflorescencia compuesta, que consta de un eje central llamado ráquiz, lleva las inflorescencias simples llamadas espiguillas y

cada una de éstas está envuelta de dos hojas en forma de cuchara llamadas glumas. La espiguilla se compone de un eje que lleva cuatro o cinco flores de las que tres o algunas veces cuatro, son fértiles.

Flor. La flor es hermafrodita, tiene dos estambres y dos estilos que llevan unidos estigmas plumosos. Todo el conjunto floral (ovario, estilo, estigma, estambres y lodículos) está encerrado en una casilla floral llamada anterio formada por dos bracteadas llamadas glumelas. La glumela inferior recibe el nombre de lámina y la superior de palea.

Espiga. Consta de un eje central llamado ráquiz el cual es formado de pequeños segmentos llamados artejos. La longitud del ráquiz puede oscilar entre siete y diez centímetros, tiene de 10 a 20 artejos y puede llegar a 24 en algunos casos, y este es el mismo número de espiguillas en cada espiga.

Grano. Botánicamente hablando, el grano es un cariósido o fruto seco de forma ovoide, con una ranura en la parte ventral, estando la semilla bien adherida al fruto, se compone de epicarpio, mesocarpio y endocarpio. Presenta una parte plana (vientre) y una parte dorsal bombeada. Prácticamente el grano de trigo se forma de tres partes; germen o embrión, endospermo y los distintos tegumentos.

Nitrógeno

Para el metabolismo de sus órganos, la planta requiere la disponibilidad de ciertos elementos químicos esenciales, como el nitrógeno que favorece su desarrollo de una forma normal.

Importancia del nitrógeno

El nitrógeno es importante en la nutrición de las plantas porque es constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos, como las hormonas y la clorofila. La mayoría de los sistemas agrícolas tienen una alta demanda de nitrógeno. Los cereales, como el arroz ó trigo, requieren de 20 a 40 kg/ha de nitrógeno por tonelada de grano producido (Peoples et al., 1994).

Cuando el nitrógeno del suelo se encuentra en cantidades suficientes, el trigo presenta las siguientes características (Rodríguez, 1989);

- 1.- Mayor vigor vegetativo, manifestado en crecimiento, volumen y peso.
- 2.- Color verde intenso en la masa foliar.
- 3.- Mayor producción de hojas de buena sanidad y calidad.
- 4.- Mayor producción de frutos y semillas.

Nitrógeno en la planta

La mayor parte de las plantas absorben el nitrógeno existente en el suelo en forma de: a) nitrato, que es la fuente más abundante, importante y utilizable por la planta, b) nitrógeno amoniacal, que es menos abundante y resulta tóxico si es absorbido en gran cantidad, c) nitrógeno orgánico que puede ser útil debido a la muerte y putrefacción de la materia vegetal o animal, y d) como nitrógeno molecular (Bidwel, 1983). El nitrógeno que es tomado por las raíces de las plantas es el de nitratos, sales de amonio y, posiblemente, compuestos orgánicos.

En general las raíces absorben los nutrimentos de la misma manera como absorben el agua, un ion es absorbido por las raíces si tiene una mayor actividad en la solución del suelo que en la savia de las células radicales vivas (Baldovinos, 1974), por lo que una cantidad excesiva de fertilización nitrogenada en el trigo forrajero, puede dar lugar a concentraciones elevadas de nitrógeno nítrico en los tejidos vegetales, los cuales pueden ser tóxicos al consumirse (Hagemann et al., 1989).

Nitrógeno en el suelo

La presencia del nitrógeno en el suelo es casi totalmente el resultado de la acción biológica, abono artificial ó fertilización natural. La mayor parte de los

materiales nitrogenados que se encuentran en el suelo se agregan en forma de residuos vegetales, que no son aprovechables por encontrarse en forma orgánica (Alexander, 1980). Algunas formas del nitrógeno fijo ó combinado pueden llegar al suelo sin la participación de organismos vivos, como ocurre al formarse los óxidos de nitrógeno por descargas eléctricas durante las tormentas.

El nitrógeno es constituyente del 80 por ciento de la atmósfera terrestre, pero en la forma en que se encuentra, es inaprovechable para la mayoría de las plantas. Para que esté disponible, debe existir una transformación del nitrógeno atmosférico a nitrógeno aprovechable.

Fósforo

El fósforo es uno de los 16 elementos esenciales que las plantas necesitan para crecer y reproducirse. Se le considera uno de los elementos más importantes, junto con el nitrógeno y el potasio.

Importancia del fósforo

El fósforo es un componente muy importante del proceso mediante el cual las plantas transforman la energía solar en alimento, fibras y aceites. Juega un papel clave en la fotosíntesis, en el metabolismo de los azúcares y en el almacenamiento y la transferencia de energía. El fósforo además, promueve la

formación y el desarrollo de las raíces y tallos y afecta la calidad de las frutas, hortalizas, granos y semillas (Ortiz-Malcher, 1998).

Fósforo en la planta

Gran parte del fósforo en la planta existe en forma orgánica, de donde provienen los compuestos de reserva que incluyen la fitina, los fosfolípidos y los ácidos nucleicos. Especialmente común es la fitina, que es una sal magnésica del ácido inositol hexafósforico, éste es hidrolizado por medio de enzimas durante la germinación, para que posteriormente la plántula en crecimiento, utilice la fitina para otros propósitos.

En el metabolismo, vegetal el fósforo desempeña un papel directo como transportador de energía cuando el fosfato es fraccionado por hidrólisis. Las plantas absorben el fósforo en forma de fosfato y, durante la maduración, toman grandes cantidades de este elemento (Miller, 1981). El contenido de fósforo en la planta varía de 0.2 a 0.8 por ciento sobre el peso seco; entre el 60 y 75 por ciento de este contenido es soluble en agua y el fruto y la semilla contienen la mayor proporción. El trigo contiene 0.42 por ciento de fósforo en el grano, la fitina (compuesto fosforado) se encuentra presente en un 80 por ciento en las semillas.

Tisdale y Nelson (1970), mencionan que un adecuado suministro de fósforo en las primeras etapas de la vida de las plantas es importante porque da

mayor solidez a la paja de los cereales, la calidad de grano se incrementa y aumenta la resistencia a las enfermedades. Los factores que afectan la disponibilidad del fósforo para las plantas incluyen los niveles de éste en el suelo, el tipo y la cantidad de minerales arcillosos, aireación, la compactación, el contenido de agua, la temperatura y el pH del suelo, la disponibilidad de otros nutrimentos esenciales y el tipo de cultivo.

Fósforo en el suelo

El fósforo se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica; la primera representa entre el 20 y el 80 por ciento del total del fósforo presente en el suelo, las formas identificadas son el fosfato de inositol, ácidos nucleicos y fosfolípidos. La forma de fosfato orgánico varía según el contenido de materia orgánica. El fósforo inorgánico del suelo se encuentra en tres formas: como constituyente de minerales fosfatados, adsorbido a la fracción mineral u orgánica del suelo y en solución (Black, 1975).

Bukman y Brady (1966), indican que los fosfatos aprovechables del suelo calcáreo reaccionan con los carbonatos de calcio, produciendo fosfato tricálcico, que está clasificado como un compuesto completamente insoluble.

Rizósfera

La rizósfera es la zona del suelo que se modifica por la actividad de las raíces, ya que ésta crea nuevas condiciones de hábitat de las asociaciones entre las raíces de la planta y los microorganismos. Berthelin et al. (1994), consideran a la rizósfera como la interfase entre la raíz y el suelo donde se llevan a cabo las interacciones entre los microorganismos del suelo, las raíces y los constituyentes del suelo. En la rizósfera predominan las bacterias, cuyo desarrollo se incrementa por las sustancias nutritivas liberadas por los tejidos de las plantas, como aminoácidos, vitaminas y otros factores nutritivos (Pelczar, 1982).

La rizósfera se divide en dos áreas generales, la rizósfera más interior, localizada en la superficie de las raíces (rizoplano) y la rizósfera exterior, que comprende al suelo adyacente (ectorrizósfera). Las mayores cifras microbianas se han determinado en la zona interior porque es donde las interacciones bioquímicas de los microorganismos y las raíces son más pronunciadas (Alexander, 1980). Por lo tanto, todas las especies vegetales interactúan con una gran variedad de microorganismos, así la nutrición ocurre dentro de un sistema complejo de plantas, suelo y microorganismo (Tinker, 1990).

Alisedo (1997), menciona que la rizósfera es la porción del suelo que rodea a las raíces de las plantas y que se ha convertido en un importante medio

para tratar de controlar las enfermedades del suelo en las principales zonas agrícolas.

Lazarovit y Nowak, citados por Minero (1999), mencionan que la actividad biológica y metabólica de la rizósfera es mucho más compleja y sus efectos se relacionan con el medio ambiente, el genotipo ó la especie microbiana.

Microflora de la rizósfera

La región de la rizósfera es un hábitat muy favorable para la proliferación y metabolismo de numerosos tipos microbianos, que reaccionan a la presencia de las raíces y que pertenecen a varios grupos taxonómicos, fisiológicos y morfológicos (Alexander, 1980), a los que pertenecen las bacterias, hongos y protozoarios.

Las bacterias que habitan en la rizósfera se alimentan de aminoácidos, vitaminas y otras sustancias nutritivas que son liberadas en los exudados por los tejidos de las plantas. Estas bacterias pueden cubrir del cinco al diez por ciento de la superficie radical. Los hongos generalmente forman la mayor parte de la biomasa microbiana y pueden exceder a las bacterias por factores de tres a diez veces. En la rizósfera, se desarrollan, principalmente, bacterias Gram-

negativas en forma de bacilo, entre las que se encuentran *Pseudomonas* y *Achromobacter*, siendo las primeras de interés para el presente estudio.

Kloepper et al. (1981), indican que las reacciones de los microorganismos de la microflora de la rizósfera contribuyen al desarrollo de la planta de la siguiente manera:

- Producen sustancias para el crecimiento.
- Incrementan la disponibilidad de elementos como N y P por medio de la mineralización.
- Activan una estructura estable en el suelo.
- Eliminan microorganismos patógenos, así como microorganismos nativos que impiden el crecimiento de la planta, aunque no causen síntomas de enfermedad.

Rizobacterias

Las rizobacterias se definen como las bacterias que se encuentran en la porción del suelo que rodea a las raíces de las plantas (rizósfera), y que tienen íntimo contacto con otros microorganismos asociados a las plantas, como hongos y protozoarios. Los efectos benéficos de las rizobacterias se han estudiado desde algunas décadas atrás, principalmente con *Rhizobium* y

micorrizas, cuyas relaciones simbióticas modifican los tejidos radicales de las plantas (Jain y Patriquin, 1985).

Alisedo (1997), reporta que los efectos benéficos de las rizobacterias se han observado comúnmente en una germinación más rápida, una emergencia uniforme y un mayor crecimiento de las plantas. A estos microorganismos con actividad promotora de crecimiento, con alta capacidad de sobrevivencia en el suelo y de colonización radical, versatilidad metabólica, presentes de manera natural, se les ha denominado “Bacterias Promotoras de Crecimiento en Plantas” (BPCP) (Holguín et al., 1996).

Las BPCP comprenden a los siguientes géneros: *Pseudomonas* y *Bacillus* que inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos o deletéreos, y *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Enterobacter*, *Acetobacter* y *Pseudomonas* que promueven directamente el crecimiento de las plantas (Cavalcante y Dobereiner, 1988; Kole et al., 1989; Bashan y Levanony, 1990)

Se sabe que las rizobacterias también pueden aumentar la asimilación de nitrógeno en el cultivo de trigo por varios mecanismos como: síntesis de fitorreguladores del tipo de las auxinas que modifican la alteración fisiológica de las raíces (Zamudio y Bastarrachea, 1994).

Morgensten y Okon (1987), en un estudio de campo, demostraron que la alteración de la fisiología de las raíces de trigo causada por las rizobacterias les provoca una mayor capacidad de asimilación de nitrógeno.

Pseudomonas

El género *Pseudomonas* comprende 149 especies y es uno de los mayores grupos de la microflora de la rizósfera; es considerado como uno de los principales géneros promotores del crecimiento de las plantas (Stainer et al., 1981). Las células de *Pseudomonas* son pequeños bastones rectos ó curvos que no sobrepasan 0.8 μm de ancho y se mueven mediante uno ó varios flagelos polares; son bacilos cortos Gram-negativos aerobios, su reproducción es por fisión binaria y algunas de sus especies son importantes en las alteraciones alimenticias.

Junto con los géneros *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Enterobacter*, *Acetobacter*, y *Azotobacter*, *Pseudomonas* se clasifica dentro de las bacterias del suelo promotoras del crecimiento de las plantas, ya que es productor activo de ácido etanoíco, etileno, componentes reguladores de crecimiento, como giberelinas ó ácido indol acético, y quelantes de fierro. Este género es dominante en suelos de zonas templadas, su preponderancia se ha demostrado tanto en tierras vírgenes como en tierras cultivadas, por lo que sus requerimientos nutricionales y ambientales son muy diversos.

Lalande et al. (1989), llevaron a cabo una evaluación de rizobacterias obtenidas a partir de 20 plantas de maíz híbridas tomadas de diferentes localidades y encontraron que *Pseudomonas spp.*, era el grupo más prominente en el rizoplasma en la rizosfera. Por otra parte, Meyer y Linderman (1986), demostraron que la colonización de trébol con endomicorrizas vesículo arbusculares, mejoran si están presentes algunas razas rizosféricas de *Pseudomonas putida*.

Micorrizas

La palabra micorriza se deriva del griego *mike*, que significa hongo, y *rhiza*, que significa raíz. El botánico Albert Bernard Frank, propuso por primera vez el término micorriza, que representaba para él un fenómeno generalizado en la naturaleza entre las raíces con el micelio del hongo (Siqueira, 1988).

La asociación mutualista que se lleva a cabo entre las raíces de las plantas superiores y los hongos, que se conoce como micorriza, posibilita mediante mecanismos bioquímicos, una mayor absorción de nutrientes principalmente fósforo, y magnesio, calcio, potasio, azufre, hierro, etc.

Clasificación de las micorrizas

Los hongos micorrízicos pertenecen a la familia Endogonaceae, y aunque existen diversas clases de asociaciones mutualistas entre los hongos y las

raíces, sus estructuras, desarrollo y características fisiológicas son muy similares. Peyronel et al. (1969), reportan que estos microorganismos se clasifican de acuerdo a las alteraciones anatómicas que ocasionan sobre las estructuras de las raíces colonizadas, por lo que comprenden tres grupos: ectendomicorrizas, endomicorrizas y ectomicorrizas.

Ectoendomicorrizas. A este grupo corresponden micorrizas con varias de las características de las ectomicorrizas pero, a diferencia, de éstas presentan un alto grado de penetración intracelular (Harley y Smith, 1983). Se conocen varios grupos de ectendomicorrizas, tales como los hongos de tipo E, los cuales se encuentran frecuentemente asociados con plántulas de vivero. Este tipo de hongos micorrízicos presentan la “red de Harting” con hifas delgadas, las que rodean a las células corticales de raíces de pequeño y mediano diámetro, pero usualmente no aparece en raíces grandes en las cuales el hongo permanece disperso en los espacios intercelulares, o forman una red rudimentaria.

Endomicorrizas. Se caracteriza este grupo de hongos por la ausencia de manto fúngico y por la penetración inter e intracelular de las hifas en las raíces. Se divide en tres grupos: ericoides, orquidioides y vesículo arbuscular, siendo esta última de interés en el presente estudio. El grupo de las endomicorrizas vesículo-arbusculares (VAM) se encuentra dentro del orden de los *Glomales*, que incluye un número limitado de *géneros* (*Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* y *Sautellospora*). Su clasificación se ha basado principalmente en las características morfológicas de sus esporas (Bonfante-Fasolo y Perotto, 1994).

Las endomicorrizas, a diferencia de las ectomicorrizas, no producen cambios en la raíz que se puedan observar a simple vista, sin embargo, las observaciones microscópicas muestran que los hongos penetran las células corticales del hospedero sin causarle daño.

Ectomicorrizas. Estas son formadas, en su mayoría, por hongos superiores y muchas especies maderables, incluyendo plantas de las familias de *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Betulaceae*. Se conocen aproximadamente 5,000 especies de este tipo de hongos y su uso se encuentra restringido principalmente a viveros forestales. Una de sus características es que las hifas de este hongo envuelven a la raíz de su alrededor y secretan compuestos reguladores de crecimiento que causan cambios en el desarrollo de la raíz.

Distribución e importancia de las micorrizas

Las endomicorrizas vesículo arbusculares (VAM) están ampliamente distribuidas en todo el reino vegetal (98%), por lo que casi todas las plantas están colonizadas por hongos. Esta asociación se encuentra en diversas áreas ecológicas, tales como campos vírgenes, bosques, campos cultivados, pantanos, selvas, desiertos y en los suelos de baja fertilidad (González-Chávez, 1993).

De la asociación de las micorrizas, la que es considerada más importante es la endomicorriza vesículo arbuscular ya que está asociada con plantas de

hortalizas, gramíneas, pastos, maíz, trigo, caña de azúcar, cítricos y todo tipo de frutales. Su uso radica en micorrizar el suelo, las semillas y los transplantes, utilizando las soluciones que contienen las esporas del hongo benéfico.

Las micorrizas ofrecen un amplio potencial biológico en la agricultura, donde benefician a su hospedero mediante diversos mecanismos (Dhene, 1982):

- Mejoran el crecimiento de las plantas en suelos poco fértiles.
- Aumentan la capacidad de absorción de algunos minerales, principalmente fósforo.
- Protegen a la planta contra organismos patógenos porque evitan que éstos invadan la raíz.

De los atributos de las micorrizas, uno de los más importantes es la protección contra las enfermedades en las plantas. Rivas-Platero (1998), reporta que en un estudio en tomate sobre la interacción entre el hongo vesículo arbuscular del género *Glomus spp.* y el nemátodo allagador *Meloidogyne arabicida*, disminuyó la tasa de multiplicación de *M. arabicida* en un 13 por ciento, y el contenido de fósforo (%) fue más alto en el tratamiento *M. arabicida + Glomus spp.*

Bioinoculación

Valdés y Hubell (1974), mencionan que el término bioinoculación se refiere al hecho de introducir bacterias vivas al suelo o a la superficie de la semilla en el momento de la siembra. Investigaciones relacionadas con bioinoculación la definen como un método para mejorar la eficiencia de absorción de nutrimentos del suelo, esenciales para la planta, realizados por bacterias fijadoras de nitrógeno y endomicorrizas solubilizadoras de fósforo. La bioinoculación puede realizarse con uno o dos microorganismos del mismo o de diferentes tipos.

Con la bioinoculación de cultivos de importancia agronómica, como el trigo, se ha presentado un impacto positivo sobre el rendimiento de éste y otras gramíneas como el maíz y el sorgo (Okon, 1985; Summer, 1990). Se encontró que la bioinoculación de trigo con *Bacillus cereus* y *Glomus spp.* produjo efectos positivos sobre la longitud de tallo, peso seco y rendimiento con una dosis de fertilizante nitrogenado y fosforado al 50 por ciento de la recomendada para la región (Jiménez, 1998).

Plascencia et al. (1996), realizaron un estudio de inoculación en dos especies de plántulas de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*) con cuatro cepas endomicorrízicas (*Glomus sp.*, *Zac-2*, *Glomus sp.*, *Zac-19*, *Glomus intraradix* y *Glomus aggregatum*). Encontraron que *Glomus sp.*, *Zac-2*

y Zac -19 promovieron los mayores incrementos en altura y producción de biomasa (37 y 35 % respectivamente, con relación al testigo), y *G. aggregatum* originó los mayores porcentajes de colonización endomicorrízica (54%) pero no afectó el crecimiento de las plántulas.

Ortiz (1998), reporta que la inoculación de trigo con *Azospirillum* produjo un rendimiento de grano superior a la media en el estado de Coahuila (2.5 t/ha) y también se incrementaron los contenidos de proteínas, cenizas, extracto etérico y fibra cruda de trigo.

Suelos calcáreos

El suelo es un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa relativamente delgada, de material más o menos disperso, que se encuentra sobre la litosfera. De este material depende, en la mayoría de las ocasiones, el crecimiento de las plantas (Narro, 1994).

Existen diversos tipos de suelos, entre los que se encuentran los suelos calcáreos, que constituyen más del 30 por ciento de la superficie de la tierra. León (1984), describe un suelo calcáreo como aquél que contiene carbonato de calcio (CaCO_3) y cuyo pH generalmente se encuentra entre siete a un máximo de ocho. Los suelos calcáreos se originaron a partir de la intemperización del material secundario de rocas calizas, donde se derivan los materiales como la calcita. Existen varios tipos de suelos alcalinos entre los que están los calizos ó

calcáreos, que por sus características ocasionan efectos dañinos a las plantas al evitar la disponibilidad de algunos nutrimentos, como el fósforo, principalmente, además del zinc, hierro, magnesio y boro (Cepeda, 1983). Estos elementos son limitados para las plantas por encontrarse en formas insolubles que no pueden ser absorbidos por las raíces (Foth, 1978).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del campo experimental

El área donde se realizó el experimento está ubicada en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada en Buenavista Saltillo, Coahuila, México, a una latitud entre los paralelos 25° 23, norte una longitud oeste de 101° 00 y a una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar.

Características del área experimental

Clima

El área presenta un clima seco y templado con lluvias en verano principalmente, la temperatura media anual es de 17.8 °C con una oscilación media anual de 10.8 °C y la precipitación media anual es de 490 mm.

Suelo

El campo experimental presenta suelo de tipo xerosol háplico, de origen aluvial, variado de someros a profundos y con afloraciones de rocas calizas lutitas con una textura migajon - arcillosa.

Análisis Físico y Químico del Suelo

Previo a la siembra se realizó un análisis físico-químico del suelo del campo experimental, donde se llevó a cabo el presente trabajo. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Principales características físicas y químicas del suelo del área experimental.

CARACTERÍSTICA DEL SUELO	CONTENIDO	MÉTODO
Textura	Migajon-Arcilloso	Hidrómetro de Bouyoucos
pH	7.6	Potenciómetro
Materia Orgánica	1.8%	Walkley-Black
Nitrógeno Total	0.11%	Kjeldahl
Capacidad de intercambio cationico	30.6 meq/100g.	Acetato de Amonio
Carbonatos totales	31.3%	Titulación ácida
Fósforo aprovechable	45 ppm	Olsen
Da	1.25 g/cc.	Probeta

Laboratorio de Química, del Departamento de Suelos de la UAAAN.

Material Vegetal

La semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) var. Pavón F-76 fue proporcionada por el área de cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Esta variedad es de ciclo otoño invierno 97-98, es un trigo

harinero, de hábito de primavera, que alcanza su madurez a los 136 días bajo condiciones de campo, su floración se da a los 88 días.

Origen de los microorganismos

El aislamiento de los microorganismos se realizó de la rizósfera de las malezas comunmente asociadas al cultivo del trigo.

Rizobacteria. Se utilizó una bacteria del género *Pseudomonas putida* previamente aislada de la rizósfera de la maleza *Aristida* spp. (tres barbas) e identificada por el método de BIOLOG (sistema computarizado de identificación bacteriana). La bacteria es parte de la colección del laboratorio de Microbiología del departamento de Suelos de la UAAAN.

Micorrizas. El hongo endomicorrízico vesículo arbuscular del género *Glomus* spp., se aisló de dos plantas silvestres: *Reseda luteola* (gualda) y *Eruca sativa* (nabo silvestre). Debido a que las especies de *Glomus* no han sido totalmente identificadas, se denominó G1 a la VAM que se aisló de *Reseda luteola* y G2 a la VAM que se aisló de *Eruca sativa*.

La recolección de las malezas se llevó a cabo en los terrenos ubicados dentro de la UAAAN. Éstas se extrajeron con una pala, cuidando dejar intacta la rizósfera que se colocó en papel revolución y se trasladó al laboratorio de Microbiología del Departamento de Suelos. Se separaron las raíces de las

plantas, se lavaron cuidadosamente para quitar el exceso de suelo y se dejaron secar a temperatura ambiente, para después macerarlas por separado en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino.

Preparación del bioinoculante

Propagación de *Pseudomonas putida*.

Se preparó caldo nutritivo y se esterilizó a 120 °C por 15 minutos, posteriormente se inoculó, bajo condiciones de asepsia, con *Pseudomonas putida*. El medio inoculado se incubó bajo agitación contante por 48 horas.

Esterilización e inoculación de la turba.

Para la preparación del bioinoculante se usó la turba o peat moss canadiense comercial como soporte. La turba se secó y se molió en un molino eléctrico (Thomas Williams) con malla de dos milímetros. Se utilizaron 80 g de turba como soporte, que se esterilizaron en ollas de presión a 15 Lb/pulg durante dos horas. Después, se pasó la turba a la estufa durante cinco horas a una temperatura de 60-70 °C para eliminar la humedad.

En condiciones de asepsia, se vertieron 60 ml de medio de cultivo con *Pseudomonas putida* en dos partes (30ml + 30ml) con la finalidad de humedecer completamente la turba. Se mezcló la turba y el cultivo

homogéneamente y se dejó madurar en una incubadora a 20-25 °C por 15 días, realizando un conteo bacteriano periódicamente hasta alcanzar una población bacteriana de 10^3 ufc/g turba.

Inoculación de la semilla

En condiciones de asepsia, se realizó la inoculación de la semilla de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Pavón F-76 una noche anterior a la siembra. Para esto, se preparó un adherente (sacarosa al diez por ciento) y se mezcló con la semilla por 30 segundos, para posteriormente eliminar el exceso de humedad. Después, se incorporó el bioinoculante (*Pseudomonas putida*) y la endomicorriza vesículo-arbuscular *Glomus* spp. aislado de *Reseda luteola* o aislado de *Eruca sativa*. Las endomicorrizas vesículo-arbusculares se adicionaron en una proporción de 0.2 g por cada 60 g de semilla utilizadas para cada tratamiento (Cuadro 3.2.). Las semillas de trigo inoculadas se sembraron durante las primeras horas del día durante el mes de febrero de 1998.

Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se realizaron las prácticas culturales recomendadas para la región, en las que se incluyeron: un barbecho, una rastra cruzada, nivelación y siembra con una separación de 0.25 m entre surcos y bordeado para conducir el agua de riego.

Tamaño de la parcela

El experimento se realizó en parcelas de 4 m² con cinco surcos cada una y una separación de 0.30 m (pasillos) entre parcelas. La parcela útil quedó determinada por 1m² incluyendo los tres surcos centrales de la parcela del experimento.

Fertilización

Se probaron tres niveles de fertilización nitrogenada, 0, 50 y 100 por ciento de la dosis que se recomienda para la región que es de 120 kg/ha (SAGAR 1988), aplicándose como urea. Además, se probaron dos niveles de fertilización fosforada, 0 y 100 por ciento de la dosis recomendada para la región, correspondiente a 80 kg de P₂O₅/ha, aplicándose como superfosfato triple. Estos fertilizantes fueron fraccionados en tres partes y se aplicaron manualmente por el método en banda en las etapas críticas del cultivo de trigo que son al inicio del amacollamiento, antes de la floración y al iniciarse el llenado de grano.

Riegos y cosecha

Se aplicaron siete riegos por el método de aspersion y un riego rodado de presiembra. La cosecha se realizó manualmente, cuando el grano alcanzó su madurez fisiológica, cortando el trigo de la parcela útil con una hoz.

Posteriormente, se trasladó el trigo a la cámara de secado del área de cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. El material seco se pesó en una báscula tradicional y se trilló en una trilladora estacionaria marca Pullman, separando el grano de la materia seca.

Variables evaluadas

Peso seco del vástago

Una vez separado el grano, se pesó la porción aérea o vástago del trigo, expresando el resultado en t/ha.

Determinación de nitrógeno en el vástago

El nitrógeno total (%) fue cuantificado en el vástago del trigo mediante el método de Microkjeldhal que consiste en la digestión de una muestra con ácido sulfúrico concentrado y en la destilación con hidróxido de sodio recibido en una solución de ácido bórico (Morales, 1995). Este análisis fue realizado en el Laboratorio de Horticultura de la UAAAN.

Determinación de fósforo en el vástago.

El fósforo total (%) del vástago de trigo se determinó en el laboratorio de Química del Departamento de Suelos de la UAAAN, según el método de calcinación y cuantificación de fósforo por la coloración azul del complejo fosfomolibdico, usando como reductor el ácido ascórbico.

Rendimiento

El trigo cosechado, fue desgranado en una trilladora estacionaria y el grano se pesó en una báscula tradicional expresando el resultado en t/ha.

Descripción de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en la inoculación combinada *Pseudomonas putida* y endomicorrizas vesículo-arbusculares del género *Glomus* spp., aislado de *Reseda luteola* o *Eruca sativa* y tres niveles de fertilización nitrogenada (0, 50 y 100 por ciento) y dos niveles de fertilización fosforada (0 y 100 por ciento). Lo anterior da como resultado 18 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. La distribución de los tratamientos se presenta en el Cuadro 3.2.

Diseño Experimental

Se estableció un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3 (niveles de N)*2 (niveles de P₂O₅)*3 (sin inocular, inoculación P. p+G1 y P. p+G2) con cuatro repeticiones cada una, dando un total de 72 unidades experimentales.

Modelo Estadístico

Para este diseño experimental el modelo estadístico queda de la siguiente manera:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \lambda_k + \alpha\lambda_{ij} + b_{ljk} + \alpha\beta\lambda_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$$\begin{aligned} i &= 1,2,3 \dots a \\ j &= 1,2 \dots b \\ k &= 1,2,3 \dots c \\ l &= 1,2,3,4 \dots r \end{aligned}$$

a, b, c = niveles de los factores
r = número de repeticiones

Cuadro 3.2. Tratamientos en campo de inoculación y fertilización de trigo variedad Pavón F-76.

Tratamiento	Fertilización N (%) ^a	Fertilización P (%) ^b	Inoculación ^c
1	0	0	Sin inocular
2	0	0	P + G1
3	0	0	P + G2
4	0	100	Sin inocular
5	0	100	P + G1
6	0	100	P + G2
7	50	0	Sin inocular
8	50	0	P + G1
9	50	0	P + G2
10	50	100	Sin inocular
11	50	100	P + G1
12	50	100	P + G2
13	100	0	Sin inocular
14	100	0	P + G1
15	100	0	P + G2
16	100	100	Sin inocular
17	100	100	P + G1
18	100	100	P + G2

^a Dosis recomendada para la región =120 kgN/ha aplicada en forma de urea.

^b Dosis recomendada para la región = 80 kgP₂O₅/ha aplicada en forma de superfosfato triple.

^c P+G1 = P. putida + Glomus aislado de R. Luteola.

P+G2 = P. putida + Glomus aislada de E. Sativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación se dieron con base en una inoculación combinada de *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. en trigo con tres dosis de fertilización nitrogenada (urea) y dos de fertilización fosforada (superfosfato triple). Los microorganismos fueron aislados de las malezas asociados al trigo: como fuente de la rizobacteria *Pseudomonas putida* se utilizó tres barbas que pertenece al género *Aristida* spp., para la endomicorriza vesículo arbuscular *Glomus* spp., denominada G1, se empleó gualda (*Reseda luteola*) y para G2, nabo (*Eruca sativa*).

Peso seco de vástago de trigo sin fertilización fosforada

En la Figura 4.1 se muestra el efecto de la inoculación sobre el peso seco de vástago de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y sin fertilización fosforada.

No se observó diferencia en el peso seco de vástago entre el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y sin fertilizar. Sin embargo, el trigo así tratado superó, con una diferencia de 2.90 t/ha, al trigo sin inocular y sin fertilizar. Este resultado se dio como

consecuencia de una interacción positiva entre el trigo y los microorganismos que probablemente ocasionó una mayor absorción de nutrientes del suelo. Hayman (1993), observó este tipo de interacción al inocular trigo con rizobacterias y micorrizas VA y afirman que los cambios fisiológicos en la planta producen un efecto positivo sobre el crecimiento vegetal.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno, obtuvo 2.96 t/ha de peso seco de vástago, cantidad que superó significativamente al trigo sin inocular y a la misma fertilización. Esto se puede deber a que *P. putida* produjo e incorporó sustancias a la planta, como el ácido giberélico, que aumentan el crecimiento vegetal (Kucey, 1988). Rennie (1994), reportó estudios que indican efectos benéficos sobre el trigo rojo de invierno inoculado con *P. flourescens* con relación a la cantidad de materia seca. Por su parte, *Glomus* aumentó la masa rizosférica y facilitó la absorción de nutrientes, como el nitrógeno y fósforo en cantidades necesarias para la planta (Janos, 1980), resultando un mayor peso seco vegetal.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado con 100 por ciento de nitrógeno, obtuvo el mayor peso seco de vástago (5.16 t/ha) en relación a los demás tratamientos propuestos para esta variable (Tabla 4.1.). Este resultado sugiere que la adición de fertilizante nitrogenado es necesaria para obtener mayor biomasa. Boman (1995), menciona que la influencia de la fertilización

nitrogenada sobre un inoculante puede resultar benéfica, incrementando la cosecha de forraje. Se observa también (Fig. 4.1.) una diferencia entre el peso seco del trigo inoculado con *P. putida* + G1 y el inoculado con *P. putida* + G2, ambos fertilizados al 100 por ciento de nitrógeno debido a que, probablemente, se trata de dos especies de *Glomus*, ya que se aislaron de malezas diferentes. Sin embargo, ambas combinaciones superaron al trigo sin inocular y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno.

Peso seco de vástago de trigo con fertilización nitrogenada y fosforada

En la Figura 4.2 se muestra el efecto de la inoculación sobre el peso seco de vástago de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado con 100 por ciento de P_2O_5 , no mostró diferencia en el peso seco de vástago, con relación al trigo sin inocular y con la misma fertilización, suponiendo con este resultado que el fertilizante fosforado disminuyó la actividad del inoculante. Walley y Germida, (1997), encontraron que la aplicación de fósforo puede actuar adversamente con el inoculante en el cultivo de trigo, reduciendo significativamente el material vegetal. Por el contrario, esta misma dosis de fertilizante fosforado benefició al trigo con la combinación *P. putida* + G2, superando con una diferencia significativa de 0.73 t/ha al trigo inoculado con *P. putida* + G1 y al trigo sin inocular y con la misma fertilización. Esta diferencia de peso seco de vástago

en el trigo inoculado sugiere que existen niveles de fertilización que afectan principalmente la colonización micorrízica y posiblemente reducen la longitud de las hifas (Abbott et al., 1984).

El peso seco de vástago de trigo inoculado con *P. putida* + G2 y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , no mostró diferencia significativa en relación al trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización (Tabla 4.1.). De acuerdo a este resultado, la aplicación de nitrógeno y fósforo al suelo puede estar relacionada con la disminución de los exudados radicales y la colonización de los microorganismos, lo cual reduce el peso del área foliar de la planta (Chambers et al., 1980; Siqueira 1988). Por otra parte, la combinación *P. putida* + G1 resultó más afectada por esta dosis de fertilización, ya que el peso seco de vástago fue de 3.25 t/ha, cantidad significativamente menor al del trigo con *P. putida* + G2 y al trigo sin inocular (Tabla 4.1.). Lu y Miller (1984), en un estudio de maíz inoculado con micorrizas VA, establecieron que los incrementos de los fertilizantes químicos afectan el grado de colonización en la raíz. Por su parte, Vrany et al. (1981), al inocular trigo con *Pseudomonas* y aplicar urea, observaron que la interacción entre planta-microorganismo disminuyó y se reflejó en menor peso seco.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 ó *P. putida* + G2 y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , obtuvo un menor peso seco de vástago en relación al trigo sin inocular y a la misma fertilización. Este resultado muestra que el fertilizante aplicado posiblemente modificó la

producción de exudados radicales, limitando la acción de *P. putida* en la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento vegetal y el crecimiento de las hifas de *Glomus spp.*, como ha reportado Kucey, (1988).

En resumen, el trigo inoculado con ambas combinaciones y sin fertilización, obtuvo mayor peso seco de vástago (Fig. 4.1) en relación al trigo inoculado y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno, y al trigo inoculado y sólo con el 100 por ciento de P_2O_5 (Fig. 4.2.). Minero (1999), menciona que un punto importante en la relación planta-microorganismo es la dosificación de fertilización química para asegurar condiciones de funcionalidad favorables ya que, según Solorio (1990), a mayor cantidad de fertilizante aplicado, menor es la asimilación de nutrimentos por las plantas inoculadas un rendimiento estadísticamente igual al trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización fosforada. Este comportamiento se debe, probablemente, a que la dosis de fertilizante fosforado modificó la producción de exudados radicales y que afectó la colonización, provocando efectos negativos en cuanto al rendimiento de la planta.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , obtuvo un rendimiento de 2.3 t/ha, cantidad que superó con 0.43 t/ha al trigo sin inocular y con la misma dosis de fertilización. Este rendimiento del trigo inoculado no supera la media regional, sin embargo, se aproxima (Figura 4.8.). De acuerdo con Rennie (1994), siempre que existe nitrógeno y fósforo disponible en el suelo, los microorganismos

inoculados promueven un incremento en rendimiento como resultado de un posible estímulo del crecimiento en la raíz que permite un mayor volumen de exploración de suelo para la asimilación de nutrimentos. Por otra parte, el trigo con la combinación *P. putida* + G2 y fertilizado con el 100 por ciento de P_2O_5 y 50 por ciento de nitrógeno, mostró un rendimiento (1.78 t/ha) similar ($P>0.05$) al obtenido por el trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización (Tabla 4.4.). Esto indica, que la respuesta de G2 con esta dosis de fertilización impidió un efecto benéfico sobre el rendimiento de trigo, posiblemente debido a que se redujo su capacidad de exploración y de absorción de fósforo u otros nutrimentos.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y P_2O_5 , mostró un rendimiento significativamente menor en comparación al trigo sin inocular y a la misma fertilización. Se sabe que la sobrevivencia del inóculo en el suelo es un prerequisite para afectar positivamente el rendimiento del cultivo, pero que existen factores, como la adición excesiva de fertilizantes químicos, que pueden disminuir este proceso (Tinker, 1990).

En la Tabla 4.4 se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos, sin fertilización nitrogenada o con el 50 por ciento, muestra rendimientos menores, que los obtenidos al adicionar fertilizante fosforado al 100 por ciento (Fig. 4.8.). Este resultado indica que es necesaria la adición de nitrógeno y fósforo para que se manifieste el efecto

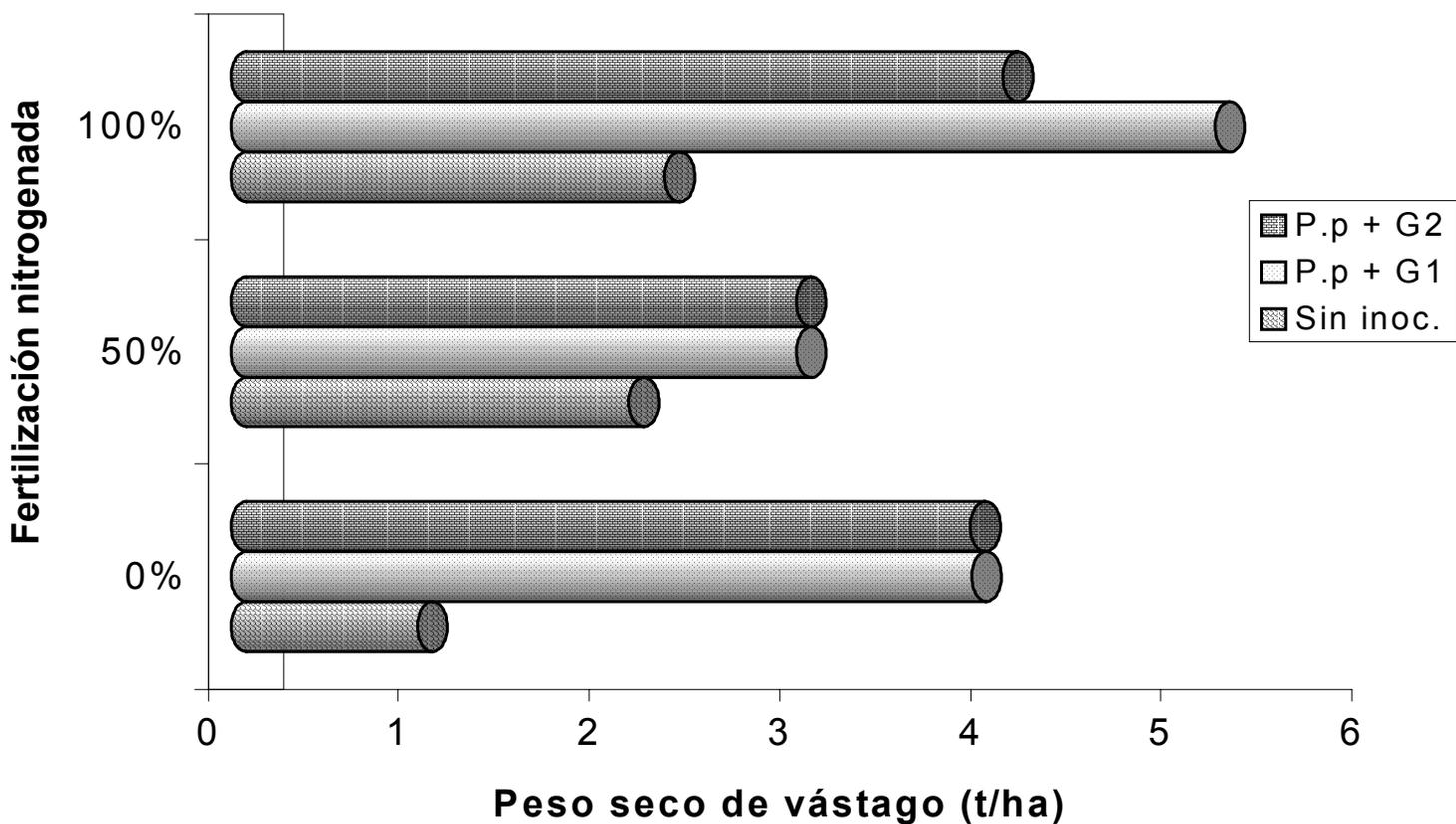
benéfico de los inoculantes sobre el rendimiento en trigo. Cuando se aplica solamente nitrógeno al 100 por ciento, los inoculantes aumentan significativamente el rendimiento de trigo, mientras que al fertilizar sólo con 100 por ciento de P_2O_5 disminuye el rendimiento, lo que indica, que se requieren combinaciones adecuadas de inoculante y fertilización para incrementar el rendimiento.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , obtuvo un rendimiento de 2.3 t/ha, cantidad que superó con 0.43 t/ha al trigo sin inocular y con la misma dosis de fertilización. Este rendimiento del trigo inoculado no supera la media regional, sin embargo, se aproxima (Figura 4.8.). De acuerdo con Rennie (1994), siempre que existe nitrógeno y fósforo disponible en el suelo, los microorganismos inoculados promueven un incremento en rendimiento como resultado de un posible estímulo del crecimiento en la raíz que permite un mayor volumen de exploración de suelo para la asimilación de nutrimentos. Por otra parte, el trigo con la combinación *P. putida* + G2 y fertilizado con el 100 por ciento de P_2O_5 y 50 por ciento de nitrógeno, mostró un rendimiento (1.78 t/ha) similar ($P > 0.05$) al obtenido por el trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización (Tabla 4.4.). Esto indica, que la respuesta de G2 con esta dosis de fertilización impidió un efecto benéfico sobre el rendimiento de trigo, posiblemente debido a que se redujo su capacidad de exploración y de absorción de fósforo u otros nutrimentos.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y P_2O_5 , mostró un rendimiento significativamente menor en comparación al trigo sin inocular y a la misma fertilización. Se sabe que la sobrevivencia del inóculo en el suelo es un requisito para afectar positivamente el rendimiento del cultivo, pero que existen factores, como la adición excesiva de fertilizantes químicos, que pueden disminuir este proceso (Tinker, 1990).

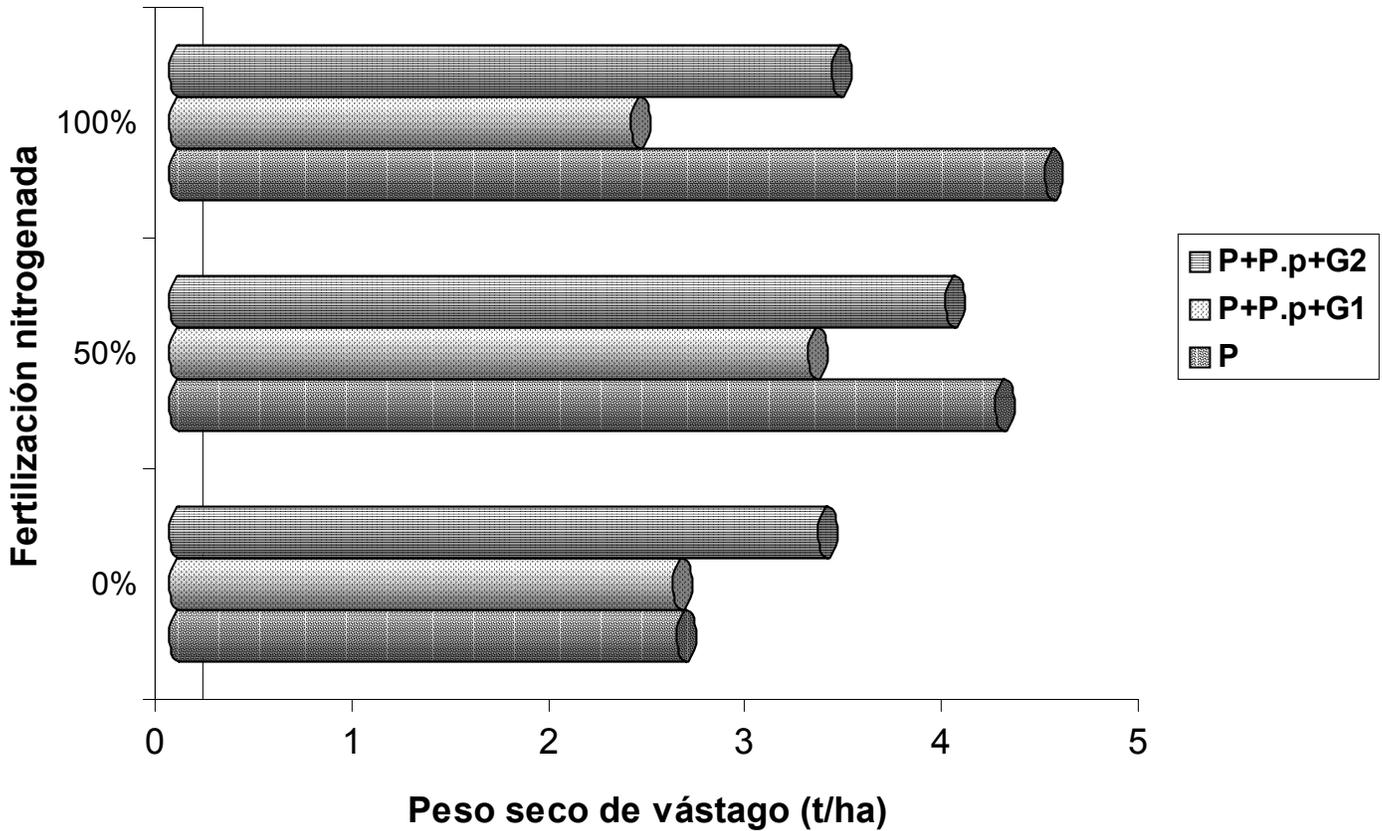
En la Tabla 4.4 se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos, sin fertilización nitrogenada o con el 50 por ciento, muestra rendimientos menores, que los obtenidos al adicionar fertilizante fosforado al 100 por ciento (Fig. 4.8.). Este resultado indica que es necesaria la adición de nitrógeno y fósforo para que se manifieste el efecto benéfico de los inoculantes sobre el rendimiento en trigo. Cuando se aplica solamente nitrógeno al 100 por ciento, los inoculantes aumentan significativamente el rendimiento de trigo, mientras que al fertilizar sólo con 100 por ciento de P_2O_5 disminuye el rendimiento, lo que indica, que se requieren combinaciones adecuadas de inoculante y fertilización para incrementar el rendimiento.

Figura 4.1. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el peso seco de vástago de trigo var. Pavón F-76.



P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; Sin inoc = sin inocular; dosis de fertilización nitrogenada (urea): 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha.

Figura 4.2. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el peso seco de vástago de trigo var. Pavón F-76.



P + P.p + G2 = 100 % de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P + P.p + G1 = 100% de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; P = 100% de P_2O_5 sin inocular; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 Kg/ha, 50% = 60 Kg/ha, 100% = 120 Kg/ha; fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 Kg/ha.

Tabla 4.1. Efecto de la inoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.* sobre el peso seco de vástago de trigo var. Pavón F-76.

Inoculación	Dosis de N (%)	Dosis de P (%)	Peso seco del vástago (t/ha)
Sin inoc.	0	0	0.98 f
P. p + G1	0	0	3.88 bc
P. p + G2	0	0	3.87 bc
sin inoc.	0	100	2.58 de
P. p + G1	0	100	2.56 de
P. p + G2	0	100	3.30 bcde
Sin inoc.	50	0	2.08 ef
P. p + G1	50	0	2.96 cde
P. p + G2	50	0	2.96 cde
Sin inoc.	50	100	4.20 abc
P. p + G1	50	100	3.25 bcde
P. p + G2	50	100	3.92 abc
Sin inoc.	100	0	2.27 de
P. p + G1	100	0	5.16 a
P. p + G2	100	0	4.05 abc
Sin inoc.	100	100	4.45 abc
P.p + G1	100	100	2.35 de
P.p + G2	100	100	3.37 bcd

Sin inoc = trigo sin inocular; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus spp.*, aislado de *R. luteola*; P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus spp.*, aislado de *E. sativa*. Fertilización nitrogenada (urea) 0%= 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha. Fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha. Los promedios con las mismas letras son estadísticamente iguales según Tukey $P > 0.05$.

Nitrógeno total (%) en el vástago de trigo sin fertilización fosforada

Los resultados del efecto de la inoculación sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada se muestran en la Figura 4.3.

El trigo inoculado con *P. putida* + G2 y sin fertilizar, alcanzó 0.77 por ciento de nitrógeno total en el vástago, significativamente mayor ($P > 0.05$) que el trigo usado como control absoluto, pero estadísticamente igual al trigo inoculado con la combinación *P. putida* + G1 (Tabla 4.3.). Este resultado indica que ambas combinaciones de microorganismos fueron capaces de proveer suficientes nutrimentos, especialmente nitrógeno, del suelo a la planta para que ésta desarrollara sus funciones normales. Se sabe que las rizobacterias pueden aumentar la asimilación de nitrógeno en el cultivo de trigo, por síntesis de fitorreguladores del tipo de auxinas (Zamudio y Bastarrachea, 1994). Yarger y Morton (1985), también encontraron que la inoculación de trébol rojo con *Glomus* spp., causó un gran impacto positivo en la asimilación de nitrógeno, presentando un por ciento de nitrógeno considerable en la parte aérea. Nava-Mendoza y Sánchez-Yáñez (1997), en experimentos de campo con trigo inoculado con endomicorrizas y rizobacterias, reportan esta capacidad de disponibilidad de nutrimentos del suelo.

El trigo inoculado con *P. putida* +G2 y fertilizado con 50 por ciento de nitrógeno, obtuvo 0.75 por ciento de nitrógeno total en el vástago, cantidad

similar al trigo sin inocular y con la misma fertilización. La explicación de este resultado es que los mecanismos de *Pseudomonas* para llevar a cabo la absorción de nutrientes disminuyeron por la aplicación del fertilizante nitrogenado. Así mismo, *Glomus* no estimuló el crecimiento radical, provocando efectos no significativos con respecto al nitrógeno en el vástago, como ha observado Hepper (1983). Por otra parte, el trigo inoculado con *P. putida* + G1 y con la misma dosis de fertilización nitrogenada, obtuvo un contenido de nitrógeno total en el vástago de 0.58 por ciento (Tabla 4.2.), cantidad que no superó al trigo con *P. putida* + G2 ni al trigo sin inocular. Igualmente, Poi et al. (1988), reportaron incrementos significativos de nitrógeno en la parte aérea de plantas inoculadas con rizobacterias en condiciones de niveles medios de urea.

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y adicionado sólo con el 100 por ciento de nitrógeno, produjo un contenido de nitrógeno total en el vástago de 0.77 por ciento, valor menor al trigo sin inocular y con la misma fertilización. Estos resultados concuerdan con Solorio (1990), que menciona que es común en los cultivos inoculados que a mayor cantidad de fertilizante aplicado menor es la asimilación de nutrientes por la planta. En la presente investigación, se destaca que los microorganismos inoculados son generalmente inhibidos por condiciones de elevada fertilidad y que la aplicación de moderadas cantidades de fertilizante (50%) puede favorecer la simbiosis entre ciertas rizobacterias y endomicorrizas vesículo-arbúscular.

Nitrógeno total (%) en el vástago de trigo con fertilización nitrogenada y fosforada

En la Figura 4.4 se muestran los resultados de la inoculación sobre el contenido de nitrógeno total en vástago de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado sólo con 100 por ciento de P_2O_5 , no mostró diferencia en el contenido de nitrógeno total en el vástago con relación al trigo sin inocular y fertilizado con la misma dosis. Este resultado muestra que el fertilizante fosforado por sí solo no tiene efecto sobre la actividad del inóculo ya que, según (Taiwana, 1992), es necesaria la adición tanto de nitrógeno como de fósforo para activar los mecanismos de los microorganismos.

El trigo inoculado con *P. putida* + G2 y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , alcanzó el por ciento más alto (2.81%) de nitrógeno total en relación a todos los tratamientos evaluados para esta variable. Esto sugiere que la cantidad de nitrógeno aplicado fue adecuada para que los microorganismos establecieran una interacción sinergista que indujo a una mejor absorción y asimilación de nitrógeno. Al respecto, Jiménez (1998), menciona que las rizobacterias, *Pseudomonas* entre otras, originan incrementos significativos en el rendimiento y contenido de nitrógeno cuando se encuentran

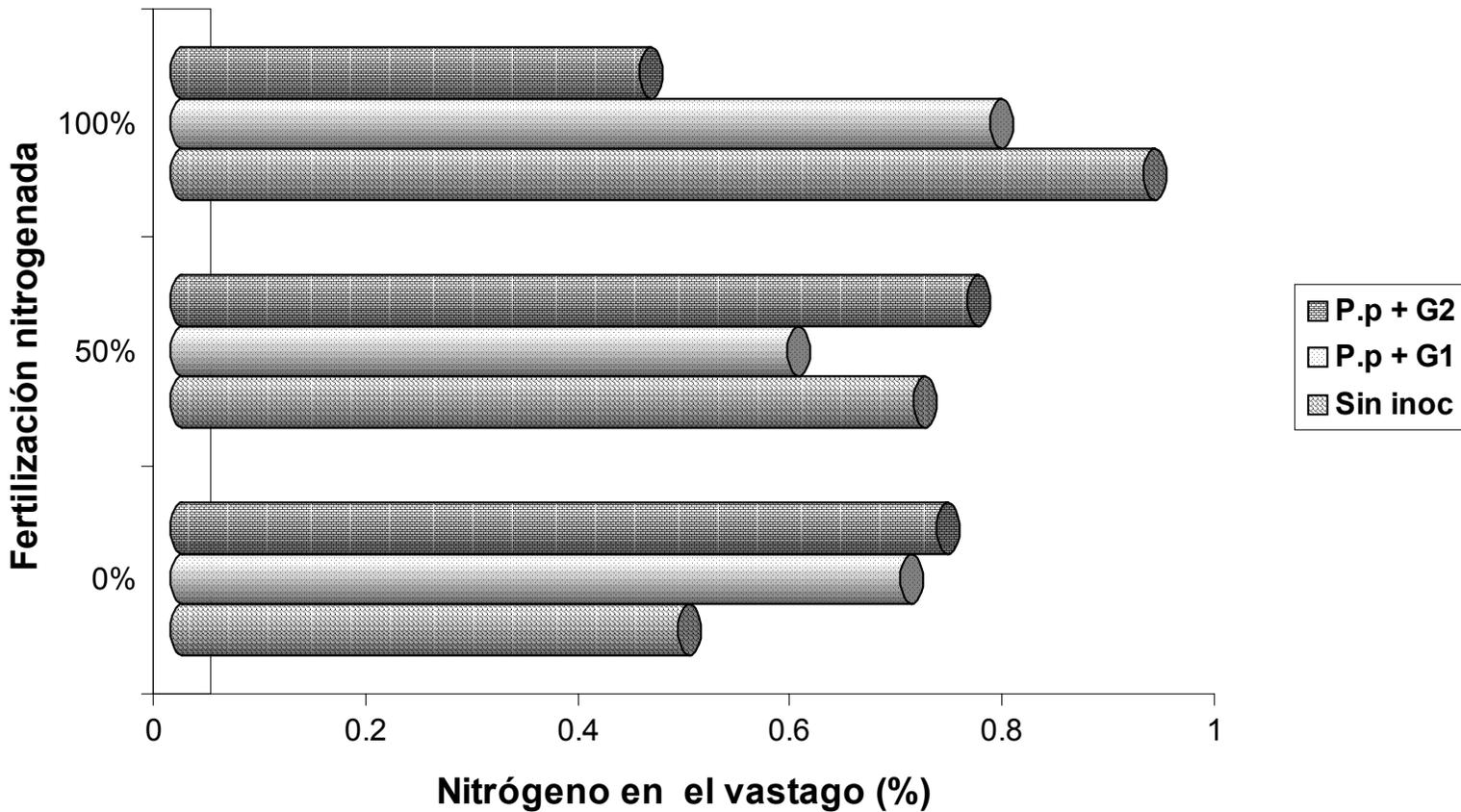
en niveles medios de urea. Por su parte, Trejo-Aguilar et al. (1998), encontraron que las plantas inoculadas con *Glomus* produjeron los contenidos de nitrógeno más altos al aplicar fertilizante fosforado. En contraste, el trigo con *P. putida* + G1 y a la misma fertilización, no superó el contenido de nitrógeno total obtenido por el trigo inoculado con *P. putida* + G2, lo que se atribuye a que las especies de *Glomus* provinieron de diferentes malezas y reaccionaron de distinta manera al fertilizante aplicado.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y P_2O_5 , presentó un contenido de nitrógeno total en el vástago estadísticamente igual al trigo sin inocular y con la misma fertilización. Tomaselli et al. (1993), han descrito una gran cantidad de factores que pueden influir en el éxito de un microorganismo introducido al suelo, entre los que se encuentra la aplicación de altas dosis de fertilización. Hayman (1993), argumenta que la simbiosis es un proceso autorregulado donde se ha reconocido ampliamente que los niveles elevados de nitrógeno en el suelo modifican el tipo de exudados producidos por la raíz, lo que disminuye la interacción microorganismo-raíz.

En resumen, el trigo inoculado con *P. putida* + G1 y *P. putida* + G2 y fertilizado sólo con nitrógeno (Tabla 4.2.), obtuvo menor cantidad de nitrógeno total en el vástago, en comparación al trigo con ambas combinaciones y fertilizado con la dosis media de nitrógeno y el 100 por ciento del fertilizante

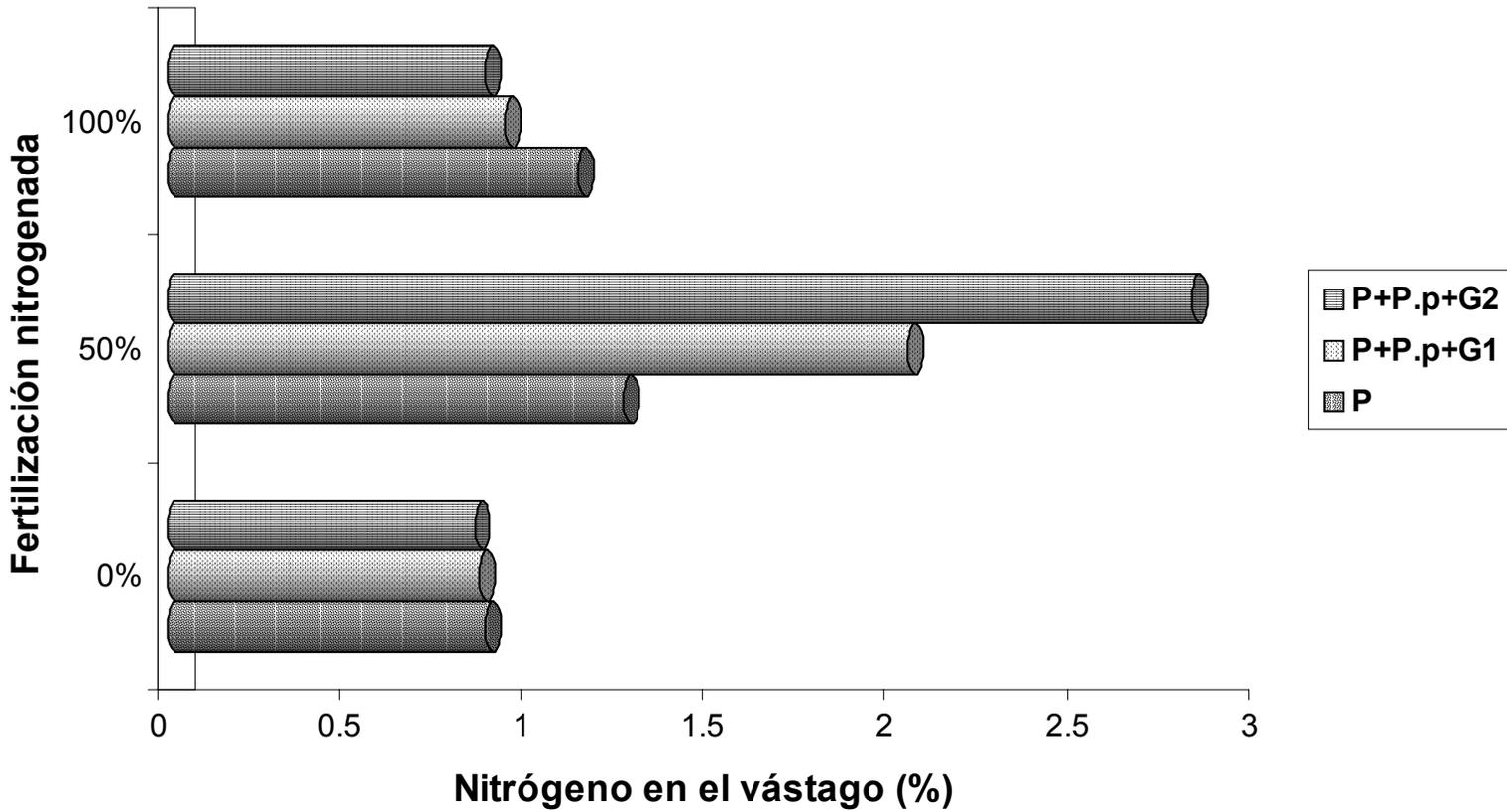
fosforado, reiterando con este resultado que el inóculo necesita algunas cantidades bajas de fertilizante químico.

Figura 4.3. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.



P.p + G2 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P.p + G1 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; Sin inoc. = sin inocular; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha.

Figura 4.4. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.



P.+P.p + G2 = 100% de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P + P.p + G1 = 100% de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; P = 100% de P_2O_5 sin inocular; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha; fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% de P_2O_5 = 80 kg/ha.

Tabla 4.2. Efecto de la inoculación *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.* sobre el contenido de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.

Inoculación	Dosis de N (%)	Dosis de P (%)	N total en el vástago (%)
Sin inoc.	0	0	0.47 gh
P.p + G1	0	0	0.68 efgh
P.p + G2	0	0	0.77 efgh
Sin inoc.	0	100	0.87 def
P.p + G1	0	100	0.85 def
P.p + G2	0	100	0.84 def
Sin inoc.	50	0	0.70 efgh
P.p + G1	50	0	0.58 fgh
P.p + G2	50	0	0.75 efgh
Sin inoc.	50	100	1.25 c
P.p + G1	50	100	2.03 b
P.p + G2	50	100	2.81 a
Sin inoc.	100	0	0.91 de
P.p + G1	100	0	0.77 efg
P.p + G2	100	0	0.44 h
Sin inoc.	100	100	1.25 cd
P.p + G1	100	100	0.93 cde
P.p + G2	100	100	0.87 def

Sin inoc = trigo sin inocular; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus spp* aislado de *R. luteola*; P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus spp* aislado de *E. sativa*. Fertilización nitrogenada (urea) 0%= 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha. Fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha. Los promedios con las mismas letras son estadísticamente iguales según Tukey P>0.05.

Fósforo total (%) en el vástago de trigo sin fertilización fosforada

En la Figura 4.5 se muestran los resultados de la inoculación sobre el fósforo total de vástago en trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y sin fertilización fosforada.

El mayor contenido de fósforo total en el trigo sin fertilizar se manifestó en el inoculado con *P. putida* + G2, que alcanzó 0.12 por ciento, superando tanto al trigo inoculado con *P. putida* + G1 como al trigo sin fertilizar y sin inocular (Tabla 4.3.). Este efecto puede atribuirse a que, por una parte, la endomicorriza G2 aumentó la absorción de minerales, como el fósforo, del suelo debido a que las hifas del hongo micorrízico aumentan el área de exploración del fósforo. En estudios de laboratorio con ^{32}P realizados por Lei (1991), se demostró que la asimilación de ^{32}P por *Glomus* dependió de los exudados radicales que, a la vez, favorecen una mejor colonización en las raíces del trigo. Por otra parte, las rizobacterias estimulan la promoción de la disponibilidad de nutrientes, dando como resultado una mayor concentración de fósforo en el tejido vegetal. Freitas y Germida (1992), obtuvieron resultados similares, pues al inocular trigo con *Pseudomonas* incrementó la absorción de fósforo.

En el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas y fertilizado con la dosis de nitrógeno al 50 por ciento, no se observó diferencia en el contenido de fósforo total en el vástago de trigo, ni con respecto al trigo sin

inocular y fertilizado con la misma dosis (Tabla 4.3.). De acuerdo con Siqueira (1988), la actividad que realizan los microorganismos es afectada por factores inherentes a la planta como la adición de nutrientes, los cuales actúan sobre las diferentes fases de la simbiosis.

El trigo que fue inoculado con una u otra combinación microbiana y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno obtuvo menor concentración de fósforo en el vástago, con relación al trigo sin inocular y a la misma fertilización. Este resultado sugiere que los mecanismos por los cuales *Glomus* realiza la asimilación de fósforo, así como excreciones de la raíz relacionadas con varios compuestos reguladores de crecimiento estimulados por *Pseudomonas*, fueron afectados por la alta dosis de nitrógeno. Bolan (1991) menciona, que el aumento en el crecimiento extensivo de la raíz ocasionado por *Glomus*, así como las excreciones de la misma estimuladas por *Pseudomonas* se afectan al aplicar altas cantidades de fertilizante nitrogenado.

Fósforo total (%) en el vástago de trigo con fertilización nitrogenada y fosforada

Los efectos de la inoculación sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada se presentan en la Figura 4.6.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones microbianas, sin fertilizante nitrogenado, pero adicionado con el 100 por ciento de fertilizante fosforado (P_2O_5), alcanzó 0.08 por ciento (Tabla 4.3.) de fósforo total en el vástago, cantidad menor al trigo sin inocular y con la misma dosis de fertilizante. Estos resultados se pueden deber a que la asimilación de fósforo, según Alexander (1980), está influenciada por los microorganismos inoculados a la planta. Jiménez (1998), menciona que la aplicación de fertilizante fosforado al trigo inoculado con rizobacterias y endomicorrizas, produce un efecto negativo en la asimilación de fósforo y disminuye el peso seco a niveles inferiores a los del control.

Al inocular el trigo con *P. putida* + G2 y fertilizarlo con el 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de fósforo, el por ciento de fósforo total en el vástago fue de 0.13, cantidad que superó al trigo con *P. putida* + G1 y al trigo sin inocular y a la misma fertilización (Tabla 4.3.). Este resultado positivo de la inoculación se debió a que la población de microorganismos en la raíz estimuló la absorción de fósforo, manifestándose un mecanismo de sinergismo entre los inoculantes y la planta al aplicarle sólo el 50 y 100 por ciento de la dosis recomendada de fertilizante nitrogenado y fosforado, respectivamente.

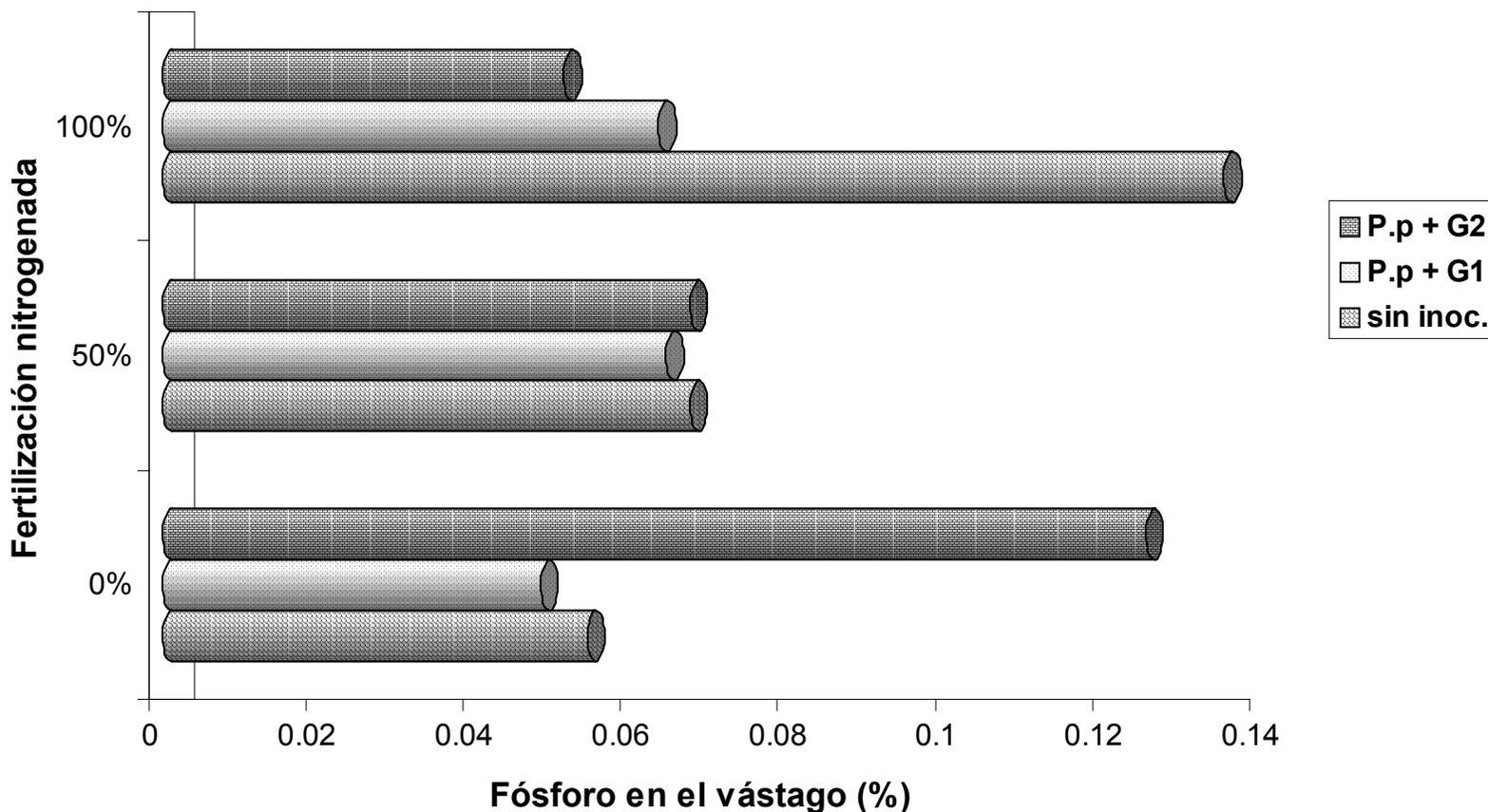
El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado con el 100 por ciento de nitrógeno y fósforo alcanzó un contenido de fósforo total de 0.12 por ciento, cantidad que superó a la obtenida por el trigo sin inocular y a la misma fertilización (Tabla 4.3.) Esto se debe, probablemente, a la interacción entre el

inoculante y el fertilizante aplicado. En un estudio de trigo inoculado con *Glomus mosseae/B. cereus* o *Glomus fasciculatus/ B. cereus*, Jiménez (1998), reporta resultados similares en donde el trigo sin inocular y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y fósforo reportó menores concentraciones de fósforo total en la área foliar, comparado con el trigo inoculado.

Por otra parte, el trigo inoculado con *P. putida* + G2 y fertilizado al 100 por ciento de N y P₂O₅, obtuvo 0.07 por ciento de fósforo total en el vástago, cantidad significativamente menor en relación al trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización. La explicación de este resultado se fundamenta en que el efecto benéfico de los microorganismos es más notable en situaciones de estrés nutrimental (Quiñones y Azcón, 1991), y que las altas dosis de fertilizante nitrogenado y fosforado son perjudiciales para la colonización de la raíz del cultivo (Ratnayake *et al.*, 1978).

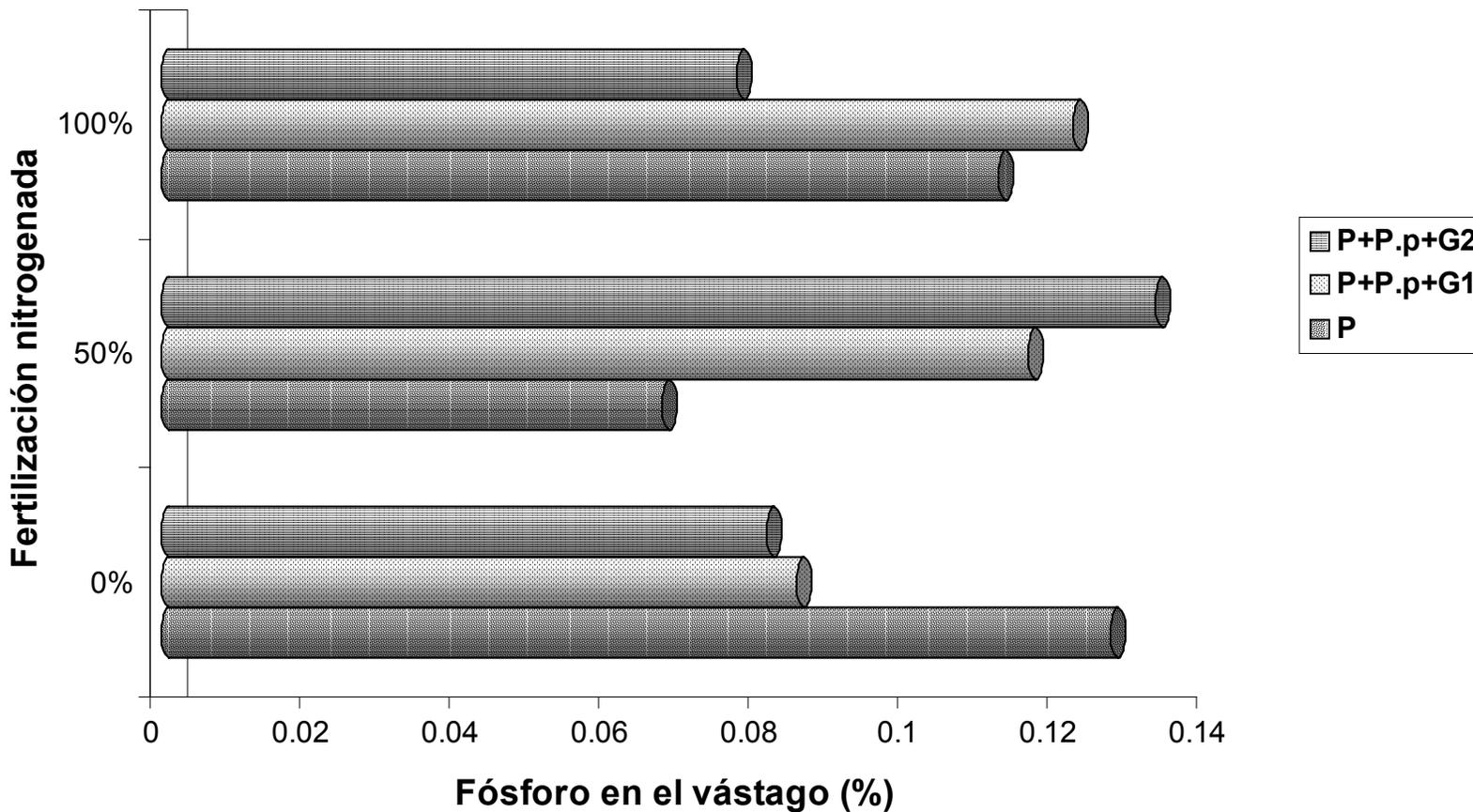
Resumiendo, el trigo inoculado con *P. putida* + G1 o *P. putida* + G2 obtuvo menores contenidos de fósforo total cuando se aplicó nitrógeno a la dosis media, sin embargo al adicionar fósforo al 100 por ciento, el contenido de fósforo aumentó significativamente (Tabla 4.3.).

Figura 4.5. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76 .



P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; Sin inoc = sin inocular ; dosis de fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% kg/ha.

Figura 4.6. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.* y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.



P + P.p + G2 = 100% de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P + P.p + G1 = 100% de P_2O_5 + *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; P = 100% de P_2O_5 ; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha; fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha.

Tabla 4.3. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.* sobre el contenido de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.

Inoculación	Dosis de N (%)	Dosis de P (%)	P total en el vástago (%)
Sin inoc.	0	0	0.05 g
P. p + G1	0	0	0.04 g
P. p + G2	0	0	0.12 abcd
Sin inoc.	0	100	0.12 abc
P. p + G1	0	100	0.08 bcdefg
P. p + G2	0	100	0.08 cdefg
Sin inoc.	50	0	0.06 efg
P. p + G1	50	0	0.06 fg
P. p + G2	50	0	0.06 efg
Sin inoc.	50	100	0.06 efg
P. p + G1	50	100	0.11 abcde
P. p + G2	50	100	0.13 ab
Sin inoc.	100	0	0.13 a
P. p + G1	100	0	0.06 fg
P. p + G2	100	0	0.05 g
Sin inoc.	100	100	0.11 abcdef
P. p + G1	100	100	0.12 abcd
P. p + G2	100	100	0.07 defg

Sin inoc = trigo sin inocular; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus spp* aislado de *R. luteola*; P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus spp* aislado de *E. sativa*. Fertilización nitrogenada (urea) 0%= 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha. Fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha. Los promedios con las mismas letras son estadísticamente iguales según Tukey P>0.05.

Rendimiento de grano de trigo sin fertilización fosforada

En la Figura 4.7 se muestran los resultados del efecto de los inoculantes sobre el rendimiento de grano de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y sin fertilización fosforada.

El trigo inoculado con *P. putida* + G2 (sin fertilizar) obtuvo un rendimiento de 0.48 t/ha, cantidad estadísticamente similar a la obtenida por el trigo inoculado con *P. putida* + G1 (0.55 t/ha) y sin fertilizar (Tabla 4.4.), superando al trigo sin inocular y sin fertilizar. Esto indica que el inoculante puede crecer en la rizósfera manteniendo así su población y proporcionar el máximo beneficio a la planta, aunque en algunas ocasiones la población disminuye en ausencia de fertilizantes, disminuyendo su capacidad para competir con la microflora nativa (Black, 1975).

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado con el 50 por ciento de nitrógeno alcanzó un rendimiento de 1.23 t/ha, superior al rendimiento del trigo con *P. putida* + G2 a la misma dosis de fertilización. Cabe mencionar que el trigo con cualquiera de las combinaciones microbianas superó el rendimiento del trigo sin inocular y sin fertilización. Este rendimiento sugiere que los microorganismos aumentaron la solubilización y absorción de fósforo y la absorción de nitrógeno en cantidades suficientes para superar el rendimiento obtenido por el trigo no inoculado y con la misma dosis de fertilización.

Probablemente los inoculantes lograron establecer una colonización efectiva lo que incrementó la biomasa (Lifshitz *et al.*, 1986).

El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado con el 100 por ciento de nitrógeno fue el que alcanzó el máximo rendimiento (2.81 t/ha) de todos los tratamientos. Este resultado sugiere un efecto sinérgico entre los inoculantes como indican Meyer y Linderman (1986), trabajando con endomicorrizas arbusculares y *Pseudomonas putida*. Estos autores afirman que la rizobacteria mejora la infección micorrízica, aumentando la absorción de nutrientes. En la presente investigación, el efecto de los microorganismos inoculados se manifestó en un mayor rendimiento, probablemente debido a la producción de reguladores de crecimiento y al incremento en la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Rendimiento de grano de trigo con fertilización nitrogenada y fosforada

En la Figura 4.8 se observa el resultado del efecto de la inoculación sobre el rendimiento de grano de trigo a tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada.

El trigo que se inoculó con cualquiera de las combinaciones microbianas y se fertilizó con el 100 por ciento de P_2O_5 (sin fertilización nitrogenada) obtuvo un rendimiento estadísticamente igual al trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización fosforada. Este comportamiento se debe, probablemente, a que la

dosis de fertilizante fosforado modificó la producción de exudados radicales y que afectó la colonización, provocando efectos negativos en cuanto al rendimiento de la planta.

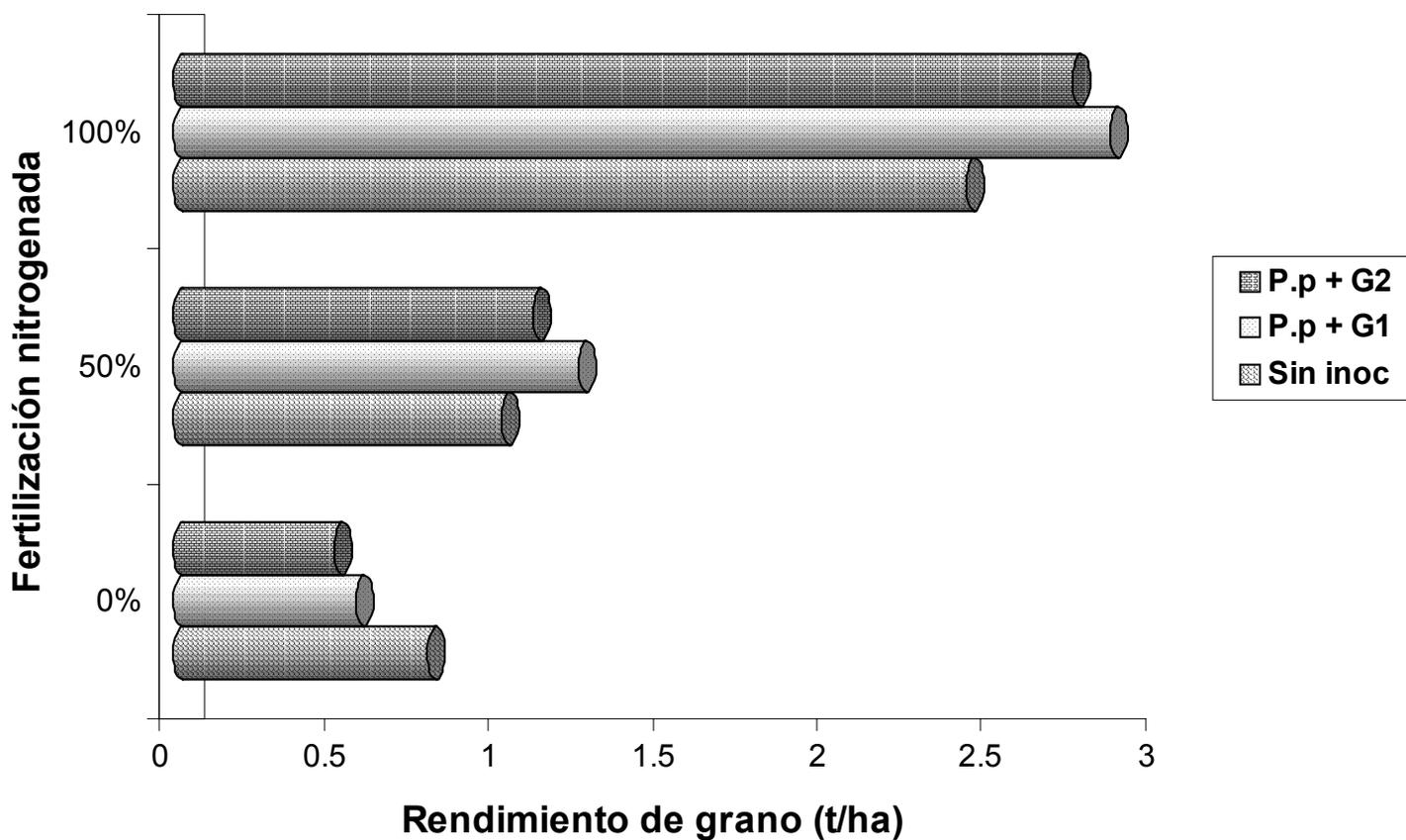
El trigo inoculado con *P. putida* + G1 y fertilizado al 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de P_2O_5 , obtuvo un rendimiento de 2.3 t/ha, cantidad que superó con 0.43 t/ha al trigo sin inocular y con la misma dosis de fertilización. Este rendimiento del trigo inoculado no supera la media regional, sin embargo, se aproxima (Figura 4.8.). De acuerdo con Rennie (1994), siempre que existe nitrógeno y fósforo disponible en el suelo, los microorganismos inoculados promueven un incremento en rendimiento como resultado de un posible estímulo del crecimiento en la raíz que permite un mayor volumen de exploración de suelo para la asimilación de nutrimentos. Por otra parte, el trigo con la combinación *P. putida* + G2 y fertilizado con el 100 por ciento de P_2O_5 y 50 por ciento de nitrógeno, mostró un rendimiento (1.78 t/ha) similar ($P>0.05$) al obtenido por el trigo sin inocular y a la misma dosis de fertilización (Tabla 4.4.). Esto indica, que la respuesta de G2 con esta dosis de fertilización impidió un efecto benéfico sobre el rendimiento de trigo, posiblemente debido a que se redujo su capacidad de exploración y de absorción de fósforo u otros nutrimentos.

El trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos y fertilizado al 100 por ciento de nitrógeno y P_2O_5 , mostró un rendimiento significativamente menor en comparación al trigo sin inocular y a la

misma fertilización. Se sabe que la sobrevivencia del inóculo en el suelo es un requisito para afectar positivamente el rendimiento del cultivo, pero que existen factores, como la adición excesiva de fertilizantes químicos, que pueden disminuir este proceso (Tinker, 1990).

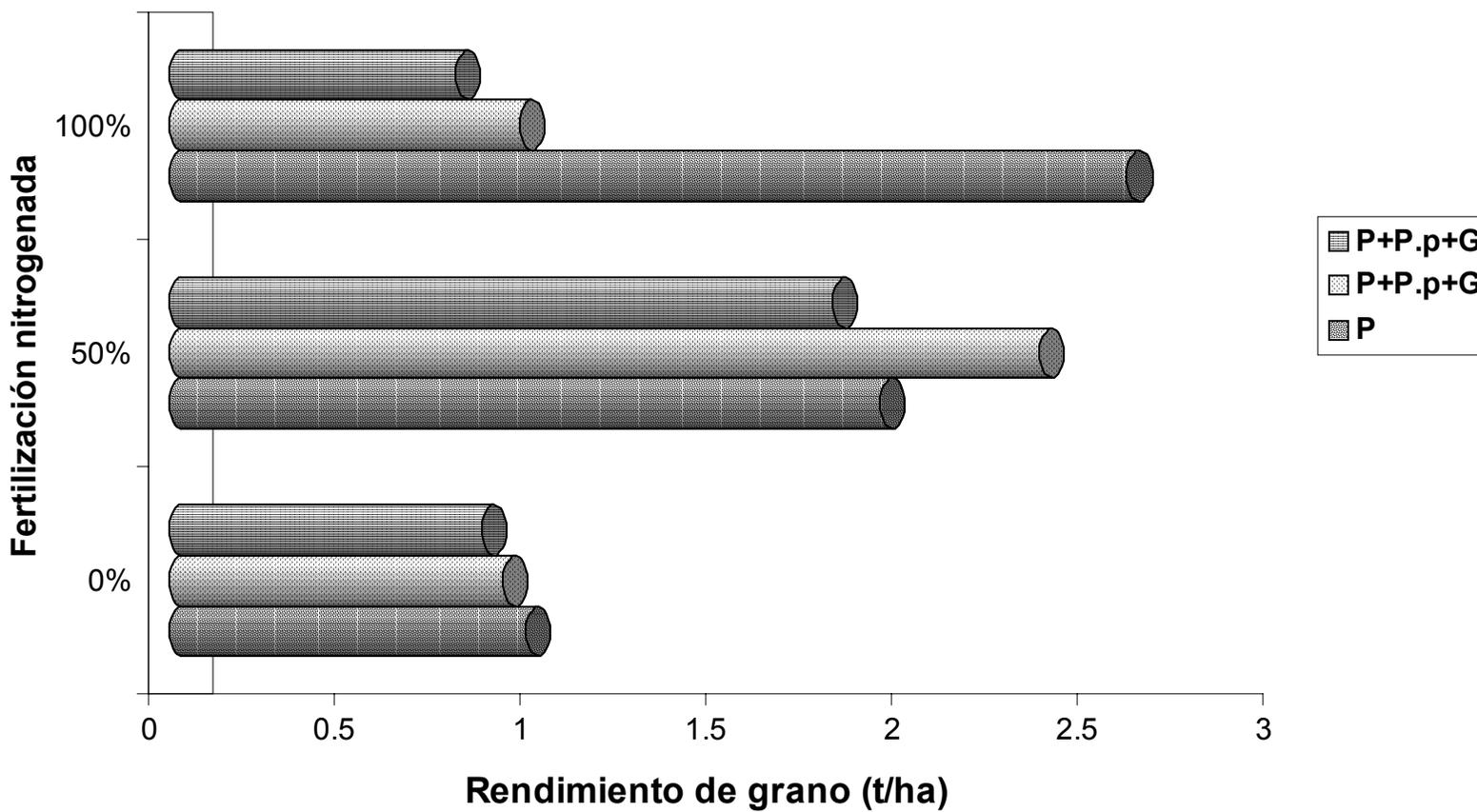
En la Tabla 4.4 se observa que el trigo inoculado con cualquiera de las combinaciones de microorganismos, sin fertilización nitrogenada o con el 50 por ciento, muestra rendimientos menores, que los obtenidos al adicionar fertilizante fosforado al 100 por ciento (Fig. 4.8.). Este resultado indica que es necesaria la adición de nitrógeno y fósforo para que se manifieste el efecto benéfico de los inoculantes sobre el rendimiento en trigo. Cuando se aplica solamente nitrógeno al 100 por ciento, los inoculantes aumentan significativamente el rendimiento de trigo, mientras que al fertilizar sólo con 100 por ciento de P_2O_5 disminuye el rendimiento, lo que indica, que se requieren combinaciones adecuadas de inoculante y fertilización para incrementar el rendimiento.

Figura 4.7. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp., y tres dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.



P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa*; P.p + G1 = *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; Sin inoc. = sin inocular; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha.

Figura 4.8. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus* spp. y tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.



P + P. p + G2 = 100% P₂O₅ + *P. putida* + *Glomus* aislado de *E. sativa* ; P + P. p + G1 = 100% de P₂O₅ + *P. putida* + *Glomus* aislado de *R. luteola*; P = 100% de P₂O₅; fertilización nitrogenada (urea) 0% = 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha; fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha.

Tabla 4.4. Efecto de la inoculación combinada *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.* sobre el rendimiento de grano de trigo var. Pavón F-76.

Inoculación	Dosis de N (%)	Dosis de P (%)	Rendimiento de grano (t/ha)
Sin inoc	0	0	0.77 fgh
P. p + G1	0	0	0.55 gh
P. p + G2	0	0	0.48 h
Sin inoc.	0	100	0.96 ef
P. p + G1	0	100	0.90 efg
P. p + G2	0	100	0.84 fgh
sin inoc.	50	0	0.99 ef
P. p + G1	50	0	1.23 e
P. p + G2	50	0	1.09 ef
Sin inoc.	50	100	1.91 d
P. p + G1	50	100	2.34 c
P. p + G2	50	100	1.78 d
Sin inoc.	100	0	2.41 bc
P. p + G1	100	0	2.81 a
P. p + G2	100	0	2.73 b
Sin inoc.	100	100	2.58 bc
P. p + G1	100	100	0.94 ef
P. p + G2	100	100	0.77 fgh

Sin inoc = trigo sin inocular; P. p + G1 = *P. putida* + *Glomus spp.*, aislado de *R. luteola*; P. p + G2 = *P. putida* + *Glomus spp.*, aislado de *E. sativa*. Fertilización nitrogenada (urea) 0%= 0 kg/ha, 50% = 60 kg/ha, 100% = 120 kg/ha. Fertilización fosforada (superfosfato triple) 100% = 80 kg/ha. Los promedios con las mismas letras estadísticamente son iguales según Tukey $P>0.05$.

CONCLUSIONES

Al hacer el análisis de los resultados obtenidos de la inoculación combinada de *Pseudomonas putida* + *Glomus spp.*, en trigo fertilizado con tres dosis de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosforada, se concluye lo siguiente.

1.- La combinación *P. putida* + G1 aumentó significativamente el peso seco de vástago de trigo fertilizado sólo con nitrógeno al 100 por ciento, en comparación con el trigo control relativo.

2.- La combinación *P. Putida* + G2 aumentó la concentración de nitrógeno total el vástago de trigo cuando fue fertilizado con el 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de fósforo, en relación al trigo control relativo.

3.- El trigo con *P. putida* + G2 y 50 por ciento de nitrógeno y 100 por ciento de fósforo, obtuvo un contenido de fósforo total, similar al trigo no inoculado y fertilizado sólo con el 100 por ciento de nitrógeno.

4.- El rendimiento más alto en a todos los tratamientos se produjo con el trigo inoculado con *P. putida* + G1 (2.81 t/ha), fertilizado sólo con nitrógeno al 100 por ciento.

5.- El efecto benéfico que produce la inoculación combinada en trigo, en la mayoría de las variables, disminuyó significativamente con la aplicación de nitrógeno y fósforo al 100 por ciento.

6.- La relación sinérgica entre *P. Putida* y *Glomus 2* benefició más a la planta, que la relación *P. Putida* y *Glomus 1*, ya que la primera incrementó el contenido de nitrógeno y fósforo total en el vástago, así como el rendimiento de trigo,

RESUMEN

La presente investigación está relacionada con la inoculación combinada de microorganismos en el cultivo de trigo, donde se utilizó la rizobacteria *Pseudomonas putida* y la endomicorriza vesículo arbuscular del género *Glomus spp.*, con el propósito de evaluar el efecto producido en el peso seco, contenido de nitrógeno y fósforo total en el vástago y el rendimiento de grano.

Los microorganismos utilizados como inoculantes se aislaron de malezas asociadas al trigo. *Pseudomonas putida* se aisló de tres barbas (*Aristida spp*), *Glomus 1* se obtuvo de gualda (*Reseda luteola*) y *Glomus 2* de nabo silvestre (*Eruca sativa*). Se preparó un bioinoculante con *P. putida* en turba molida y esterilizada y el inoculante micorrízico estuvo constituido por raíces de malezas colonizadas, secas y molidas. El trigo inoculado se fertilizó con tres niveles de nitrógeno según las dosis recomendadas para la región (0, 50 y 100 %) y dos de fósforo (0 y 100 %).

Los resultados indican que la combinación microbiana que más benefició el peso seco de trigo fue *P. putida* + G1, fertilizado sólo con nitrógeno, siendo no necesaria la aplicación de fertilizante fosforado, mientras que el contenido de nitrógeno y fósforo total en vástago, así como el rendimiento de grano se incrementó con la combinación *P. putida* + G2 fertilizado con 50 por

ciento de nitrógeno y 100 por ciento de fósforo, lo cual indicó que las combinaciones presentan mejores resultados en el contenido de estos elementos en la planta, cuando se adicionó fertilizante nitrogenado (50%) y fosforado (100%). Por el contrario, el efecto benéfico que produjeron los inoculantes , en la mayoría de las variables evaluadas, disminuyó al aplicar fertilizante nitrogenado y fosforado al 100 por ciento.

LITERATURA CITADA

- Abbot, L. K., A. D, Robson y G. De Boer. 1984. The Effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus asciculatum*. *New Phytologist* 97:437-446.
- Alexander M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 2ªed. AGT. México.
- Alisedo A.,M.1997. Estimulantes del mecanismo de defensa de las plantas: Rizobacterias. Productores de hortalizas. México. p. 10,12.
- Baldovinos de la P.G. 1974. El desarrollo fisiológico y el rendimiento de la cosecha. ENA. Chapingo, México. p.231-238.
- Bashan, Y. y H. Levanony. 1990. Current status of Azospirillum inoculation technology: Azospirillum as a change for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 36: 591-608
- Berthelin,J.,C. Leyual y I. Weissenhorn. 1994. Agricultural and Health Impact of soil Rhizosphere weathering. ISSS.SMCS. Memorias del 15º Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. (3a):572-585. México.
- Bidwell R.G.S. 1983. Fisiología vegetal. 1a edición en español AGT editor. México.
- Bolan , N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134: 189-207.
- Boman, R. K. 1995. Time of nitrogen application: Effects on winter wheat and Residual Soil Nitrate. *Sci. Soc. AM. J.* 59: 1364-1369.
- Bonfante- Fasolo, P. y S. Perotto.1994. Plants and endomyorrhizal fungi: The cellular and molecular Basis of Their Interacción. pp:445-470. En: Verma, D.P.S.(Ed).Molecular signals in plant-microbe.
- Bukman, H. O. y C.N. Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1ª Ed. Edit. Montaner y Simón. España.
- Black, C. A. 1975. introducción a la microbiología del suelo. Ed. Acribia Zaragoza. México.
- Cavalcante, V.A. y J. Dobereiner. 1988. A new acid-tolerante nitrogen-fixing bacterium associated with surgarcane. *Plant Soil* 108: 23-31.

- Cepeda D., J. M. 1983. Química de suelos. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coahuila. México. p.76-118.
- Chambers, C. A., S.E. Smith y F.A. Smith. 1980. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*. *New Phytologist*. 85: 47-62.
- Dehne. H. W. 1982. Interaction between vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytopathology*. 72(8) : 1115-1119.
- Foth, D.H. 1978. Fundamentals of soil science. 6a. Ed. John Wiley and Sons, New York. U.S.A. p.220.
- Flores, D.F. 1994. Evaluación de 17 genotipos criollos de trigo (*Triticum estivum* L.) para rendimientos y sus componentes en la región de Navidad N.L. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo, coahuila, México.
- Freitas de J.L.M. y J.J. Germida. 1992. Growth promotion of winter wheat by *fluorescent Pseudomonas* under field conditions. *Soil Biol. Biochem*. 24 (11): 1137-1146.
- González-Chávez, M.C. 1993. La endomicorriza vesículo arbuscular. En: Manual de Agromicrobiología. R. Ferrera Cerrato (Ed.). Editorial Trillas, México, p. 93-120.
- Hagemann, R.W., C.F. Ehlig y R. Y. Reynoso. 1989. Soil nitrate level best measure of Rye-grass nitrogen needs in imperial valley. *California Agriculture* 38(1,2): 24-25.
- Hayman, D.S. 1993. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can. J. Bot.* 61:944-963.
- Harley, J. L. y S.E. Smith. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. London, Academic Press. p. 438.
- Hepper, C. M. 1983. Effects of fertilizer on germination and growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Trans. Br. Mycol.*80: 487-490.
- Holguín, G., B., Yoav y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos: procedimiento para el aislamiento y caracterización de hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras de crecimiento. *Terra*. Vol. 14. No. 2. p. 211-212.

- Jain, D.K. y D.G. Patriquin, 1985. Characterization of a substance by *Azospirillum* which causes branching of wheat root hairs. Canadian Journal of Microbiology. 31:206-210.
- Janos, D. P. 1980. Mycorrhizae influence tropical sucesion Biotropica. 12: 56-64.
- Jiménez Z., J.J. 1998. Efecto de *Glomuss spp.* y *Bacillus cereus* sobre la eficiencia de asimilacion de N-urea en trigo de temporal (*Triticum estivum L.*). Tesis. Maestria. U.M.S.N.H., I.I.Q.B. Morelia, Michoacán. México.
- Kent, N. L. 1987. Tecnología de los cereales. Edit. Acribia. España.
- Kole, M.M., R. Lifshitz y R.M. Zablutowiez. 1989. Distribution of Azotobacter in Eastern Canadian Soil and association with plant rhizospheres. Can. J. Microbiol. 34:815-817.
- Kucey, R.M. 1988. Plant growth altering effects of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus C-11-25* in two wheat cultivars. Journal of Applied Bacteriology 64: 187-196.
- Kloepper, J.W., M.N. Schorth y T.D. Miller. 1981. Effects of Rizosphere colonization by plant Growth-Promoting Rizobacteria on potato plant Development and yield. Phytopathol. 70:1078-1082. USA.
- Lalande, R., M. Bissonnette, D. Coutlée y H. Antoun. 1989. Identification of rhizobacteria from maize and determination of their plant-growth promoting potential. Plant and Soil 115:7-11.
- Lei, J.B. 1991. Root factors stimulate ^{32}P uptake and plasmalemma ATPasa activity in vesicular-arbuscular-mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. New Phytol. 118: 289-294.
- León, G.A. 1984. Fundamentos científicos naturales de la producción agrícola. 2ª . ed. Ed. Salvat Barcelona. p. 295-299.
- Lifshitz, R., J.W. Kloepper, E.M. Tipping y M. Laliberté. 1986. Nitrogen-fixing Pseudomonads isolated from roots of plants grown in Canadian high arctic. Applied and Evironmental Microbiology 51: 251-255.
- Lu, S. y M.H. Miller. 1984. The role of V-A mycorrhizae in the absortion of P and Zn by Maize in field and Residual Soil Nitrate. Sci. Soc. AM. J. 59: 1364-1369.
- Meyer J.R. y R.G. Linderman 1986. Response of Subterranean Clover to Dual Inoculadion With Vesiculo-Arbuscular Fungi and Plant Growth-Promoting Bacterium, *Pseudomonas putida*. Soil Biol. and Biovhem. 18:185-190.

- Miller V.E. 1981. Fisiología Vegetal. 1ª edición. Ed. Unión Tipográfica. México D.F. p. 115-116.
- Minero, A. 1999. Consideraciones generales para el uso de micorrizas. Ed. Productores de Hortalizas.
- Morales, H. M. 1995. Interpretación de análisis físico-químicos más usuales en muestras de suelo. Monografía. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila . p. 30.
- Morgensten, E. y Y. Okon. 1987. The effect of *Azospirillum* brasilense and auxin on root morphology in Sorghum bicolor, Sorghum sudanese. Arid Soil Research and Rehabilitation. 1:115-127.
- Narro, F.E.A. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Ed. TRILLAS. México. p. 33-58.
- Nava-Mendoza, M., y J.M. Sánchez-Yáñez. 1997. La bioinoculación como estrategia para efficientizar el uso de ¹⁵N-urea en trigo de temporal. III Simposium Internacional y IV Reunión Nacional sobre Agricultura Sustentable. Memorias. U. de G. Guadalajara Jalisco.
- Ortiz-Malcher, F. 1998. Las plantas necesitan fósforo. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Serie No. 2. México. p. 16-17.
- Ortiz M., J. 1998. Respuesta de la Inoculación *Azospirillum* sp. y evaluación para rendimiento y calidad del trigo (*Triticum estivum*) en Buenavista Coahuila. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Saltillo Coahuila México. p. 72-73.
- Okon, V. 1985. *Azospirillum* as potential inoculant for agriculture. Trends in biotechnology 3:223-228.
- Peoples, M.B., D.F. Herridg y J.K. Landha. 1994. Biological Nitrogen Fixation : An Efficient Source of Nitrogen for Sustainable Agricultural Production. 15ª Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. México 4ª : 239-244.
- Pelczar, J.M. Jr. 1982. Microbiología. Ed. McGraw-Hill. 2ª edición. México.
- Peyronel B., B. Fassi, A. Fontana y J.M. Trappe. 1969. Terminology of mycorrhizae, Mycology. 61:410-411.
- Poi, S. C., T. Kabi, y M. C. Kabi. 1988. Response of mustard *Brassica niger* to inoculation with *Azotobacter chroocumulant* 5 tr ¹⁶ at difference regimes of nitrogenous fertilizer. Environmental Ecology 6: 653-655.

- Plascencia, E. F., J.J. Vargas., R. Ferrera-Cerrato. y V. A. González H. 1996. Efecto de la micorriza vesículo-arbuscular sobre el crecimiento y distribución de biomasa de plántulas de eucalipto. Colegio de Postgraduados. Terra. Vol. 15. No. 1. p.7.
- Quiñonez A.G. y R. Azcón. 1991. Actividad de la micorriza VA en el crecimiento y nutrición del *Sorghum vulgare* en medio adicionado de nitrógeno y sometido a estrés hídrico o salino. Memorias IV Congreso Nacional Micología. Soc. mexicana de Micología. UAT, Tlaxcala, Tlax.
- Ratnayake M., R.T. Leonard y J.A. Merge. 1978. Root exudation in relation to supply of fertilizer and its possible relevance to mycorrhizal formation. *New phytologist* 81: 543-552.
- Rennie , R. J. 1994. The Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield of Hard Red Spring Wheat. Comico fertilizer LTD. Saskatoon, Canada.
- Rivas-Platero, G.G. 1998. Interacción del hongo vesículo arbuscular *Glomus* spp. con *Meloidogyne arabicida* en tomate. Manejo integrado de plagas. Área de Agricultura "Tropical sustentable". Costa Rica. N.47. p. 41-43.
- Rodríguez, S.F. 1989. Fertilizantes, nutrición vegetal. A.G.T. Editor. México.
- Rodríguez, V.J. 1982. Consumos aparentes de productos agrícolas 1925-1980. *Ecotecnia agric.* Vol.19. DGEA-SAGAR. México, D.F.
- SAGAR. 1988. Boletín. Cultivo básicos de la región. Coahuila, México.
- Siqueira, J.O. 1988. Biotecnología de suelo: Fundamentos e perspectivas-Mec. Ministerio de educacao, ABEAS; Lauras. ESAL, FAEPE. Brasilia. p. 235.
- Soldano, O.R. 1978. El trigo. Edit. Albatros. SRL. Argentina, Buenos Aires.
- Solorio O., C.A. 1990. Edafología. Edit. Universidad Autónoma Chapingo. Depto. Suelos. Séptima edición. México. pp 172.
- Stainer, Y.R., M. Doudoroff y A.A. Edwar. 1981. Microbiología. Aguilar España.
- Summer, M.E. 1990. Crop responses to *Azospirillum* inoculation. *Advan. in Soil Sci.* 12: 53.
- Taiwana, M.S. 1992. Effect of biofertilizer and nitrogen on the yield and quality of pearl millet, fodder. *Anal. of Biology*, 1: 29-32.

- Tinker, P.B. 1990. The Role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant soil*. 76: 77-91. The Netherlands.
- Tisdale, S.C. y W.L. Nelson. 1970. *Fertilidad de suelos y fertilizantes*. Barcelona, España. p. 760.
- Tomaselli, L. y L. Govanetti. 1993. Survival of diazotrophic bacteria in Soil. *World J. Microbiol, Meth*. 14: 11-20.
- Trejo-Aguilar, D., A. E. Hernández y R., Ferrera-Cerrato. 1998. Ecología y comportamiento de la endomicorriza arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). En: *Avances de la investigación micorrizica en México*. Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz. México pp. 41-50.
- Valdés, M. y D.H. Hubbell. 1974. Fertilizantes naturales para plantas leguminosas (inoculación). C.O.F.A.A. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. p. 2-14.
- Vavilov, N.I. 1950. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*: 194-196.
- Vera, N. J.A. 1994. Efecto de la fumigación del suelo sobre el aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Bajío Guanajuatense. *Esc. Agron. y Zoot. Ex Hacienda "El Copal"*. Universidad de Guanajuato. pp 126. (Inedito).
- Vrany J., V., Vancura y M. Stainer. 1981. Control of microorganisms in the rhizosphere of wheat by inoculation of seeds with *Pseudomonas putida* and soil application of urea. *Microbiol*. Vol. 26. Num. 1 pp. 45-51.
- Walley, F.L. y J.J. Germida. 1997. Plant growth promoting rhizobacteria alter rooting patterns and arbuscular mycorrhizal fungi colonization of field grown spring wheat. *Biol. Fertil. Soils*. 23: (2): pp. 113-120.
- Yarger, J. y J. Morton. 1985. Mycorrhizal substitution of P requirement for nitrogen fixation in red clover. *Proceedings of Mycorrhizae*. Bend. Oregon. USA. p. 387.
- Zamudio, M. y F. Bastarrachea. 1994. Adhesiveness and root hair deformation capacity of *Azospirillum* strains for wheat seedlings. *Soil Biol. Biochem*. 26:791-797.

APÉNDICE

Cuadro 4.1. ANVA. Peso seco de vástago (t/ha) de trigo var. Pavón F-76.

FV	gl	Sc	CM	Fc	F 0.01 - 0.05	
FACTOR A	2	6.67804	3.33902	14.2501	3.17	5.04**
FACTOR B	1	0.68206	0.68206	2.9109	4.02	7.1 NS
FACTOR C	2	8.60003	4.30001	18.3513	3.17	5.04**
A * B	2	8.09039	4.04519	17.2638	3.17	5.04**
A * C	4	7.25860	1.81465	7.7445	2.55	3.7 **
B * C	2	32.46984	16.23492	69.2864	3.17	5.04**
A * B * C	4	5.31207	1.32801	5.6676	2.55	3.7 **
ERROR	54	12.65307	0.23431			
TOTAL	71	81.74414				

Factor A = niveles de nitrógeno, 0, 50 y 100%.

Factor B = niveles de P₂O₅, 0 y 100%

Factor C = inoculación de *P. putida* + *Glomus* 1 de *R. luteola* y *Glomus* de *E. sativa* y sin inocular. **Altamente significativo; NS, no significativo.

CV = 14.953779 %

Cuadro 4.2. ANVA. % de nitrógeno total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.

FV	gl	Sc	CM	Fc	F 0.01 - 0.05	
FACTOR A	2	5.18102	2.59051	160.3427	3.17	5.04**
FACTOR B	1	6.80189	6.80189	421.0117	4.02	7.1 **
FACTOR C	2	0.40184	0.20092	12.4364	3.17	5.04**
A * B	2	4.93067	2.46534	152.5951	3.17	5.04**
A * C	4	2.81115	0.07278	43.4998	2.55	3.7 **
B * C	2	0.71716	0.35858	22.1948	3.17	5.04**
A * B * C	4	1.76594	0.44148	27.3263	2.55	3.7 **
ERROR	54	0.87249	0.01615			
TOTAL	71	23.48213				

Factor A = niveles de nitrógeno 0, 50 y 100%.

Factor B = niveles de P₂O₅, 0 y 100%

Factor C = inoculación de *P. putida* + *Glomus* 1 de *R. luteola* y *Glomus* 2 de *E. sativa* y sin inocular. **Altamente significativo.

CV = 12.970428 %

Cuadro 4.3. ANVA. % de fósforo total en el vástago de trigo var. Pavón F-76.

FV	gl	Sc	CM	Fc	F	
					0.01	0.05
FACTOR A	2	0.00086	0.00043	1.1986	3.17	5.04NS
FACTOR B	1	0.01342	0.01342	37.1239	4.02	7.1 **
FACTOR C	2	0.00136	0.00068	1.8809	3.17	5.04NS
A * B	2	0.00132	0.00066	1.8313	3.17	5.04NS
A * C	4	0.02311	0.00577	15.9821	2.55	3.7 **
B * C	2	0.00446	0.00223	6.1793	3.17	5.04**
A * B * C	4	0.02150	0.00537	14.8707	2.55	3.7 **
ERROR	54	0.01952	0.00036			
TOTAL	71	0.08557				

Factor A = niveles de nitrógeno, 0, 50 y 100%.

Factor B = niveles de P₂O₅, 0 y 100%

Factor C = inoculación de *P. putida*+ *Glomus* 1 de *R. luteola* y *Glomus* 2 de *E. sativa* y sin inocular. **Altamente significativo; NS, no significativo.

CV = 5.556684 %

Cuadro 4.4. ANVA. Rendimiento de grano (t/ha) de trigo var. Pavón F-76.

FV	gl	Sc	CM	Fc	F	
					0.01	0.05
FACTOR A	2	22.58561	11.29280	599.1786	3.17	5.04**
FACTOR B	1	0.05189	0.05189	2.7535	4.02	7.1 NS
FACTOR C	2	1.36280	0.68140	36.1542	3.17	5.04**
A * B	2	16.63410	8.31705	441.2899	3.17	5.04**
A * C	4	1.63650	0.40912	21.7076	2.55	3.7 **
B * C	2	2.07394	1.03697	55.0201	3.17	5.04**
A * B * C	4	5.33114	1.33278	70.7156	2.55	3.7 **
ERROR	54	1.01774	0.01884			
TOTAL	71	50.69377				

Factor A = niveles de nitrógeno, 0, 50 y 100%.

Factor B = niveles de P₂O₅ 0 y 100%

Factor C = inoculación de *P. putida* + *Glomus* 1 de *R. luteola* y *Glomus* 2 de *E. sativa* y sin inocular. **Altamente significativo; NS, no significativo; gl = 3-1=2.

CV = 9.288472 %