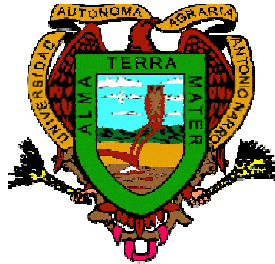


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISION DE AGRONOMIA



**Respuesta a la biofertilización con *Azospirillum* sp, en trigo
duro y harinero en invernadero.**

Por:

JUAN LUIS CABELLO CHICO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2006.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Respuesta a la biofertilización con *Azospirillum* sp, en trigo duro y
harinero en invernadero.**

Por:

JUAN LUIS CABELLO CHICO

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador, como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el comité asesor, conformado:

PRESIDENTE DEL JURADO

Dra. Rosalinda Mendoza Villareal

SINODAL

SINODAL

Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

M.C. Felipa Morales Luna

SINODAL

Ing. Francisco Martínez Martínez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

MC. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2006

DEDICATORIA

Primeramente quiero darle gracias a **Dios, San Judas Tadeo y Virgen de Guadalupe**, por haberme dado la vida y ser una persona de bien, por escucharme en aquellos momentos difíciles en que de momento me encontraba.

A MIS PADRES

JUANA CHICO IBARRA

RAFAEL CABELLO NAVARRO

Agradezco su confianza depositada en mi cuando decidí seguir estudiando, de todo corazón reconozco todos los sacrificios que hicieron en aquellos momentos en que los necesité para seguir adelante y así poder triunfar en la vida, gracias a los dos y solo me resta decirles que siempre están en mi corazón y que dios los bendiga siempre.

A MIS HERMANOS

LAURA ALICIA CABELLO CHICO

ING. JOSE GUADALUPE CABELLO CHICO

Por brindarme su apoyo moral y económico para que pudiera seguir adelante luchando por mi reto que es tener una profesión, espero que nunca los haya defraudado y poder regresar el apoyo que tuve siempre.

AMIS ABUELOS

ISIDORO CHICO (+)

MARIA DE JESUS IBARRA (+)

LENCHO CABELLO (+)

JUANA NAVARRO

Quiero darles las gracias por haberme dado los padres que tengo, también quiero darle las gracias a mi abuela Juana la cual es una persona a quien quiero mucho.

AMIS TIOS

RAMON, BENITO, CHAPARO, CHABA, MAGO (+), TERE, GUERA, PETRA Y CONCHA, ya que de algunos de ellos recibí muy buenos consejos para poder seguir con mis estudios, gracias siempre estaré agradecido con ustedes.

A MIS PRIMOS Y VECINOS DE BARAJAS VIEJO

HOLGA, BEATRIZ, ANTONIO, JOSE, CHUCHE (PETETES), NENA, MANUEL, CHUCHE, SOFIA, PATY, GABI, LORENZO, JOSE, ERIC Y EVELIN, RIGOBERTO, GUALO, GORDA, CHUTA, CONSUELO, ELVIRA, GLORIA.

A MI ALMA MATER

Por haberme dado la oportunidad de formarme como una persona de bien y así sentirme muy orgulloso de pertenecer a la UAAAN.

AGRADECIMEINTOS

Dra. ROSALINDA MENDOZA VILLAREAL, quien me diò la oportunidad de realizar es te trabajo, y por haberme brindado todo su apoyo durante el transcurso, y sobretodo por el tiempo dedicado hasta el termino del trabajo “gracias”.

Dr. VICTOR MANUEL ZAMORA VILLA, por el apoyo queme brindo para llevar acabo este trabajo.

M.C. FELIPA MORALES LUNA, quien fue una persona que durante el desarrollo de este trabajo siempre me apoyo para que yo pudiera seguir adelante “gracias”.

ING. FRANCISCO MARTINEZ MARTINEZ, por su colaboración en la realización de este trabajo.

A MIS AMIGOS

Adrián, Guillermo, Ramón, José Leonel, Guadalupe, Efrén, Anselmo, José, Juan Israel, Cesar, Teofilo, Raúl, José, Cruz, Ricardo, Gustavo, Rivera, Omar, Refugio, Francisco, Miguel, Elías, Erick, Juan José, J. Carmen, David,

A MIS AMIGOS DE GENERACION

Daniela, Roxana, Fabiola, Reynaga, Olivares, Cuellar, Guillermo, Feliciano, Raúl, Gerardo, Sergio, Ernesto, Lainer, Carlos A, Carlos, Julio, Jeremías, Alfredo, por todos aquellos momentos tan agradables y felices que me hicieron pasar.

A MIS AMIGOS DEL CBTA No.105

Adela, cecilia, Susana, Rosaura, Lupe, Fina, Elizabet, Claudia, Carmen, Alfredo, Francisco, Guillermo, Jaime, Santana, Ignacio, **Prof.** Chico, Efraín, Guillermo, bióloga, Rafa.

INDICE

Contenido

Pág.

Dedicatorias	i
Agradecimientos	iii
Introducción	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
Revisión de literatura	4
Generalidades del cultivo	4
Clasificación taxonómica	6
Características de la variedad altar	6
Características de la variedad Sofía	7
Características del trigo harinero AN 55-90	8
Historia del género	9
Características de la bacteria	10
Clasificación taxonómica de <i>Azospirillum</i>	10
Distribución	11
Fijación de nitrógeno por la bacteria	12
Aislamiento de <i>Azospirillum</i>	13
Fertilización con <i>Azospirillum</i> en diferentes cultivos	14
<i>Azospirillum</i> como promotor de hormonas de crecimiento	15
Generalidades del nitrógeno	16
Formas de nitrógeno aprovechadas por la planta	16
Formas de aplicación en el cultivo	18
Importancia del fósforo	19
Efecto del fósforo en el cultivo	20
Materiales y Métodos	21
Localización del área	21
Descripción del área experimental	21
Material genético	21

Preparación del inoculo y biofertilizante	22
Preparación del suelo	22
Llenado de macetas y siembra	23
Tratamientos	23
Aplicación del fertilizante químico	25
Aplicación del biofertilizante	25
Riegos	25
Control de plagas, enfermedades y malezas	26
Germinación y altura de planta	26
Floración	26
Cosecha	27
Longitud de espiga	27
Numero de granos por espiga	27
Rendimiento	27
Diseño experimental	28
Modelo estadístico	28
Resultados y discusión	29
Conclusiones	42
Literatura citada	43
Apéndice	49

Indice de cuadros

Pág.

Cuadro 3.1. Genotipos de trigo y tratamientos establecidos en el invernadero	24
Cuadro 4.1. Cuadrados medios de análisis de varianza para los muestreos realizados de los tres genotipos utilizados	29
Cuadro 4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las diferentes variables evaluadas en los tres genotipos	36
Cuadro A.1. ANVA para altura de planta primer muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	49
Cuadro A.2. ANVA para altura de planta segundo muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	49
Cuadro A.3. ANVA para altura de planta tercer muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	50
Cuadro A.4. ANVA para altura de planta cuarto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	50
Cuadro A.5. ANVA para altura de planta quinto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	51
Cuadro A.6. ANVA para altura de planta sexto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	51

Cuadro A.7. ANVA para altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero	52
Cuadro A.8. ANVA para longitud de espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero	52
Cuadro A.9. ANVA de número de granos por espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero	53
Cuadro A.10. ANVA de peso de mil granos en dos genotipos de trigo duro y un harinero	53
Cuadro A.11. ANVA de rendimiento en dos genotipos de trigo duro y un harinero	54

Indice de figuras

Pág.

Figura 4.1. Primer muestreo de altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero	30
Figura 4.2. Altura de planta segundo muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	31
Figura 4.3. Altura de planta tercer muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	32
Figura 4.4. Altura de planta cuarto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	33
Figura 4.5. Altura de planta quinto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	34

Figura 4.6. Altura de planta sexto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero	35
Figura 4.7. Ultimo muestreo de altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero	37
Figura 4.8. Longitud de espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero	38
Figura 4.9 Para número de granos por espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero	39
Figura 4.10. Peso de mil granos en dos genotipos de trigo duro y un harinero	40
Figura 4.11. Toneladas por hectárea en dos genotipos de trigo duro y un harinero	41

INTRODUCCIÓN

En México el trigo es un cultivo que se siembra en casi todos los estados de la república y se adapta tanto a tierras pobres en nutrientes, como a tierras ricas, zonas húmedas, semihúmedas y secas. Bajo estas condiciones en México se consideran seis zonas importantes para su producción: zona noroeste del país, del bajío, región de la laguna, norte, centro y los valles altos de la altiplanicie mexicana.

El trigo es por superficie sembrada, el cultivo comercial más extendido en el mundo ocupando el primer lugar de producción. Del género *triticum* existen varias especies, sin embargo de importancia económica, se consideran: *Triticum durum* también conocido como trigo macarronero y *Triticum aestivum*, conocido como el trigo común el cual se siembra en todo el mundo, y que comprende las mejores variedades usadas en la industria de la panificación.

En México, el deterioro ecológico causado por la agricultura tiene diversas causas, dentro de las cuales están; el manejo inadecuado de los recursos naturales, intenso uso de agroquímicos, prácticas agrícolas mal empleadas y fuerte dependencia de insumos externos. Esto hace necesario implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos para llevar a una agricultura sostenible. En este sentido la

inoculación de microorganismos fijadores de nitrógeno como las bacterias del género *Azospirillum* son una alternativa de fertilización biológica para la producción agrícola.

El género *Azospirillum* pertenece al grupo de las denominadas bacterias promotoras del crecimiento vegetativo, lo que se utilizan habitualmente como biofertilizantes al establecerse en las raíces de la planta de trigo

El desarrollo de experiencias a nivel campo del uso de *Azospirillum brasiliensis* como inoculantes en semillas de vegetales (cereales, oleaginosas, forrajes, etc) es una promisoría técnica que disminuye el impacto ambiental y promueve el rendimiento de los cultivos, haciendo un aporte considerable en los programas de producciones sustentables.

Objetivos

- Determinar el efecto de la fertilización (biológica y química) con respecto a la altura de planta durante el desarrollo del cultivo.
- Comparar rendimiento de tres variedades de trigo con fertilización biológica y química.

Hipótesis

Con la inoculación de *Azospirillum* se espera incrementar la altura de planta por medio de la síntesis de auxinas y giberelinas y el rendimiento, por la fijación de nitrógeno atmosférico en comparación a la fertilización química.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo

Según estadísticas del Ministerio de Agricultura, la producción de trigo en el 2003 fue de 188,500 t, cosechadas en 138,200 ha. Si bien esta superficie es casi la misma de comienzos de la década del 70, en cambio, en las últimas tres décadas la producción se ha incrementado en 50%. No obstante, el trigo nacional equivale apenas a un 15% de las importaciones.

En México, durante las últimas tres décadas, el consumo de trigo se ha incrementado constituyendo un tercio de la cantidad consumida de maíz (Robles, 1982).

Actualmente la producción y demanda de trigo en México está equilibrada; sin embargo, debido al crecimiento de la población, se estima que durante los próximos cinco años las producciones deben incrementarse en dos millones de toneladas anuales (Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste, CIANO, 1984).

El trigo es originario de la región que comprende el Cáucaso, Turquía e Irak, se puede cultivar con éxito en una amplia diversidad de condiciones de suelo, pero se adapta mejor a suelos limosos y a migajones arcillosos bien drenados, de acuerdo a Mangelsdorf , citado por (Robles, 1990).

El trigo duro o cristalino (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) es la segunda especie en importancia de trigo que se cultiva en el mundo, su principal uso es para la fabricación de pastas y macarrones (Hanson *et al.*, 1982),

Hernández (1992) reportó que las variedades comerciales de trigo, sembradas en México, poseen un amplio rango de adaptación, alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y a condiciones limitadas de humedad. Sin embargo, algunas veces, el grano cosechado no tiene la calidad requerida por la industria, debido a la presencia de un alto porcentaje del carácter llamado “panza blanca” del grano, lo cual no afecta el rendimiento, pero sí la calidad industrial del grano.

Clasificación taxonómica

De acuerdo con Flores (1994), la clasificación del trigo es la siguiente:

Categoría	Clasificación
Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Glumifloae
Familia	Gramineae
Tribu	Triticeae
Subtribu	Triticineae
Genero	Triticum
Especie	aestivum (Trigo harinero) (Trigo duro)

Características de la variedad altar

- Zonas de adaptación: Se adapta a las condiciones climáticas de las zonas productoras de trigo del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora, y Baja California), así como a los Estados de Jalisco, y Nuevo León.
- Es resistente a la roya de la hoja, a la roya lineal amarilla, al acame y al desgrane.

- Se adapta al riego y, temporal en Nuevo León.
- Densidad de siembra Kg / Ha: En el Otoño, Invierno, desde 60 hasta 150. En el Otoño, Invierno. en Sonora, de 60 a 120. En el Otoño, Invierno, temporal, de 100 a 120.
- Días a floración: 84 a 88 días.
- Madurez fisiológica: 121 a 139 días.
- Altura de planta: 89 a 96 cm.
- Espiga: Elíptica y densa, color amarillo
- Grano: Color ámbar y textura dura
- Gluten: Cristalino.
- Uso industrial: Rinde 70 % de semolina con 10.5 % de proteína, excelente para la molienda y regular para la panificación
- Las características citadas son el promedio de varias localidades, pudiendo variar debido a las condiciones ambientales y de manejo de cultivo, según Borlaug (2003).

Características de la variedad Sofía

- Zonas de adaptación: En zona norte del país se adapta a las condiciones climáticas de las zonas productoras norte del país.
- Es resistente a la roya.
- Nuevo León se adapta al Riego y, temporal.
- Densidad de siembra 150 Kg / ha.
- Floración: 84 a 88 días.
- Madurez fisiológica: 121 a 139 días.

- Altura de planta: .9 a 1m.
- Espiga: Elíptica y densa, color amarillo
- Grano: Color ámbar y textura dura
- Gluten: Cristalino.
- Uso industrial: Rinde 70 % de semolina con 10.5 % de proteína, excelente para la molienda y regular para la panificación.
- Rendimiento para el Bajío es de 8 a 10 ton/ha⁻¹, sonora 8 ton/ha⁻¹ y para Coahuila 5 ton/ha⁻¹.
- Las características citadas son el promedio de varias localidades, pudiendo variar debido a las condiciones ambientales y de manejo de cultivo,

Características del trigo harinero AN-55-90

- Porte intermedio de 1.10 m.
- Planta compacta.
- Hojas semiherectas.
- Ciclo intermedio 120 días a maduración fisiológica.
- Floración 90-95 días.
- Espiga con barbas.
- Resistente a royas.
- Buena adaptación ala zona noroeste.
- Buena calidad para panificación.

- Rendimiento de 4.0 ton/ha⁻¹, en Coahuila y Nuevo León, Según Zamora (comunicación personal).

Historia del género *Azospirillum*

En 1925 se describió el género *spirillum*, esta bacteria estuvo olvidada por varias décadas, Peña-Cabriales y Döbereiner en 1973 iniciaron la época moderna de esta bacteria, posteriormente estudios taxonómicos de *S. lipoferum* conducen a su reclasificación en un género nuevo, *Azospirillum*.

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

Su distribución es ubicua en todo el mundo, conociéndose hasta el momento siete especies del género (Eckert *et al.*, 2001). Es por lo tanto imprescindible identificar y cuantificar inequívocamente la cepa usada, cuando se efectúan ensayos tendientes a evaluar el efecto promotor en el campo.

Características de la bacteria

Tarrand *et al.*, (1978), encontraron que las bacterias del genero *Azospirillum* son ligeramente curvas y de forma bacilar, con 1 μ de diámetro de longitud de 2.1 – 3.8 μ móviles en medio liquido con un flagelo polar, en medio sólido a 30 °c presenta numerosos flagelos laterales cortos y fijan el nitrógeno atmosférico. Se asocian a las raíces de cultivos de cereales, pastos y plantas tuberosas, y no forma nódulos en las raíces.

Una de las características fenotípicas más ampliamente usada como criterio para el reconocimiento tentativo del género *Azospirillum* es el color rojo escarlata que toman las colonias al crecer en un medio adicionado del colorante rojo Congo (Rodríguez, 1982), no obstante, en este medio pueden hallarse colonias mutantes de *Azospirillum* de color blanco debido a la incapacidad de producir polisacáridos no identificados (Bastarrachea, 1987).

Clasificación taxonómica de *Azospirillum*

Según el Manual de Bergey (1984)

Reino	Procaryote
División	Glacilicute
Clase	Scotobacteria
Familia	No existe
Género	<i>Azospirillum</i>

Especie	<i>A. lipoferum</i>
	<i>A. Brasilense</i>

Distribución

Los *Azospirilla* muestran una muy amplia distribución geográfica alrededor del Mundo. Aún cuando son mas abundantes en las regiones tropicales, también se les encuentra en las regiones templadas, frías y desérticas (De Coninck, 1988). En las regiones templadas del sur de Brasil, los Estados Unidos y Kenia la presencia de *Azospirillum* es menor al 10% en las muestras analizadas (Dobereiner, 1976). El pH del suelo juega un papel importante en la presencia de las especies del género *Azospirillum*. Las especies de *A. brasilense* y *A. lipoferum* se encuentran en mayor abundancia en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad, aún cuando a pH abajo de 5 se les encuentra en forma esporádica y no lográndose su aislamiento de suelos con pH menor a 4.5 (Dobereiner, 1976). Un estudio en el que se evaluaron 23 tipos de suelos con características diferentes mostró que algunos factores abióticos tales como porcentaje de arcilla, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua y contenido de nitrógeno afectan positivamente la sobrevivencia de *A. brasilense* (Bashan, 1995), en tanto que el tamaño de las partículas de arena y especialmente la alta concentración de carbonato de calcio afectan negativamente la sobrevivencia de esta especie en ausencia de plantas. No obstante, la sobrevivencia de *A. brasilense* en la rizosfera es independiente de la aridez del suelo.

Fijación de nitrógeno por la bacteria

Considerando la capacidad de *Azospirillum* para asociarse con plantas de interés agrícola, así como su capacidad para fijar N_2 en medios de cultivo, se diseñaron numerosos experimentos para evaluar el efecto de la inoculación sobre el crecimiento de las plantas. No existen reportes que indiquen efectos patogénicos en las plantas causadas por la inoculación de *Azospirillum*. El único reporte existente en esta dirección indica que ninguna de las especies de *Azospirillum* causa síntomas visibles de enfermedad sobre la raíz o las hojas de plantas de trigo, algodón o tomate (Bashan, 1998).

Evans (1975) y Brown *et al.*, (1975), indican que la fijación de nitrógeno es un proceso clave para llevar un equilibrio en la vida de este planeta, por ésta razón se recupera el nitrógeno que se pierde por la desnitrificación microbiana en el suelo. Existe también la posibilidad de que la fijación del nitrógeno por la nitrogenasa estimula el desarrollo de catalizadores que pueden reducir la demanda energética para el nitrógeno fijado industrialmente.

Alcalde (1981), presentó cinco requerimientos para la fijación de nitrógeno en la bacteria.

1. Un eficiente metabolismo oxidativo.

2. Un mecanismo de protección contra el oxígeno para evitar la depresión de la actividad nitrogenasa por el oxígeno.
3. Una buena fijación del nitrógeno, con asimilación de NH_4^+ y sin crecimiento de la bacteria.
4. Una rápida excreción del ion NH_4^+ .
5. Una enzima nitrato reductasa negativa (Nir^-).

Aislamiento de *Azospirillum*

El aislamiento de las bacterias del género *Azospirillum* resulta en lo general muy simple, ya sea a partir de suelo rizosférico o de la superficie de las raíces (Rizoplanea) de numerosas plantas hospedadoras. También se le aísla del interior de las raíces o tallos de algunas plantas. El medio de cultivo usado por excelencia para el enriquecimiento de las especies de *Azospirillum* ha sido el NFb semigelificado “libre” de nitrógeno y con malato como fuente de carbono (Dobereiner, 1976).

Álvarez (1983), aislaron por siembra *Azospirillum* sp, a partir de un trozo pequeño de raíz, en medio semisólido y para reconocer las colonias de esta bacteria, Rodríguez (1981), agregó rojo Congo a los medios de cultivo y observó al microscopio, encontrando la bacteria mencionada anteriormente.

Las bacterias del género *Azospirillum* han sido aisladas de la superficie de la raíz de una muy amplia variedad de plantas y de su rizosfera,

incluyendo cereales como maíz, trigo, arroz, sorgo, avena (Word, 1979), pastos forrajeros como *Cynodon dactylon* (Caballero, 1983), *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, de diferentes especies de *Pennisetum* y *Panicum*. Especies de *Azospirillum* fueron aisladas incluso del henequén [*Agave fourcroydes*; (López, 1983), y plantas cactáceas que incluyen diferentes especies de *Opuntia* y *Stenocereus*. En algunos casos se logró confirmar el aislamiento de *A. brasilense* y *A. amazonense* de semillas de pastos esterilizadas superficialmente (Sundaram, 1988). Aun cuando no fueron identificados al nivel de especie, algunas cepas de *Azospirillum* fueron aisladas de esporocarpos de los hongos ectomicorrízicos *Hebeloma crustuliniforme*, *Laccaria laccata* and *Rhizopogon vinicolor* (Li , 1987).

Fertilización con *Azospirillum* en diferentes cultivos

Algunas compañías en diferentes países han registrado inoculantes de *Azospirillum* para maíz y otros cultivos, en Sudáfrica se lleva a cabo la producción de inoculantes a base de *Azospirillum* para 150, 000 hectáreas de maíz y 12,000 de trigo. Algunas características de la producción de inoculantes a base de *Azospirillum* han sido discutidas por Fages (1992).

Aun cuando el uso de *Azospirillum* como bioestimulante del crecimiento de las plantas no se ha generalizado mundialmente, en México la aplicación de ésta bacteria en diferentes cultivos ha rebasado con mucho lo hecho en otros países. En el ciclo agrícola primavera-verano (PV) del año 1999 la Secretaría de Agricultura, a través de su Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Fundación

Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C., en colaboración con el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno-UNAM, llevó a cabo la inoculación de alrededor de 450,000 hectáreas de maíz y 150,000 hectáreas de sorgo, cebada y trigo, empleando cepas de *Azospirillum* seleccionadas por su capacidad para promover el crecimiento de las plantas e incrementar el rendimiento de los cultivos (Bashan, 1999).

En maíz (*Zea mays*) en cultivo de secano fue inoculada con cepas de microorganismos fijadores de nitrógeno *Azotobacter* ; *Biejerinkia* y *Azospirillum*, encontrando que la asociación mas efectiva fue la de maíz-*Azospirillum* en los tratamientos probados, cabe mencionar que no hubo fertilización y control de malezas (Jaime et al., 1999).

Azospirillum como promotor de hormonas del crecimiento

Pocos años después del redescubrimiento de *Azospirillum* y hasta alrededor de 1993, este género fue el mas estudiado entre las bacterias asociadas a plantas. La capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales promovió numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria. En la actualidad su uso comercial comienza a extenderse en diferentes países, incluido México.

Baldani, Lucia y Dubereiner (1980), comprobaron la especificidad de *Azospirillum* spp en un experimento por medio de inoculaciones a cultivos de

maíz, trigo y arroz, obteniendo que *A. lipoferum* es específico para maíz y *A. brasilense* para trigo.

Generalidades del nitrógeno

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

El nitrógeno es un elemento mayor con una dinámica muy grande y que forma parte del desarrollo de las plantas. La necesidad de este elemento depende de los requerimientos del cultivo y la cantidad que el suelo proporcione a la planta, que por lo general no es suficiente, debido a gran cantidad que las plantas absorben y lo que se lixivia en el suelo (Bear 1958).

Formas de nitrógeno aprovechadas por la planta

El nitrógeno existe bajo formas oxidantes que son compuestos de naturaleza reductora. Las plantas lo pueden emplear en sus procesos sintéticos tomándolo en diferentes grados de oxidación o de reducción, por ejemplo, como ácido nitroso, como ácido hiponitroso, como amoníaco o

hidrolamina y hasta como elemento libre, en el caso de las plantas inferiores (Pranishnikov 1954).

El nitrógeno es el principal factor que afecta el contenido de proteínas del trigo, y que además dicho contenido esta relacionado con la fertilidad del suelo, el clima, y la variedad, principalmente durante la época de crecimiento del cultivo, (Sika y Grez, 1973).

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

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

El nitrógeno es necesario para mantener el follaje verde, este es indispensable para que se realice la función fotosintética. En los cereales, la cantidad de nitrógeno disponible influye en la cantidad de proteínas contenidas en el grano (SEP, 1987).

Formas de aplicación en el cultivo

En estudios realizados en varias formas nitrogenadas sobre la producción de trigo de invierno, utilizando urea y NH_4NO_3 obtuvieron una producción mínima sobre la brotación de vástagos y producción de biomasa. Pero la producción de grano y el uso eficiente del fertilizante nitrogenado fueron mayores cuando la aplicación se hizo fraccionada entre otoño y primavera, (Mahler *et al.*, 1994),

En un experimento de raíz dividida en una mezcla 1:1 alimentada con NH_4^+ Y NO_3^- juntos y con NH_4^+ Y NO_3^- por separados observaron una mayor Producción de biomasa en las plantas expuestas a la mezcla. Si se suministra el NH_4^+ Y NO_3^- por separados se produce mas materia seca de raíz,(Fiel, 1994),

En un estudio de fertilización nitrogenada realizado en la Región de Navidad N.L., observó un aumento en el rendimiento del grano de trigo, al aplicar una dosis de 160 kilogramos por hectárea. Además menciona que la dosis mas económica fue la de 80 kilogramos por hectárea, lo que presentó un equilibrio costo-rendimiento,(Ramírez, 1980).

Trigo invernal cultivado con 60 a 80 kilogramos de nitrógeno por hectárea en un suelo podzòlico en la región de Moscú, produjo al tercer año el mas alto rendimiento de grano con 120 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Al incrementar las proporciones de nitrógeno, aumentó ligeramente el contenido de proteína en el grano, pero mejoró marcadamente su calidad,(Golovkov *et al .*, 1982).

Importancia del fósforo

El ácido fosfórico ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. Un gran número de plantas afectadas por deficiencias fosfóricas, presentan un sistema radicular raquíticamente desarrollada, acompañado de síntomas generales de perturbación en su crecimiento. La floración y la madurez son retrasados permaneciendo pequeñas las semillas y los frutos, Las mermas de los rendimientos a causa de deficiencias fosfóricas generalmente van acompañadas de un descenso de la calidad de los productos (Jacob, 1973),

El fósforo no se encuentra fijo en las plantas, sino que es móvil; traslocándose de células mas viejas y menos activas metabólicamente a las células mas jóvenes y activas; cuando la fuente exterior se encuentra limitada y cuando escasea, este es removido de las hojas al fruto (Anónimo, 1962).

El fósforo al igual que el nitrógeno tiene funciones especiales:

- Es constituyente del ácido nucleico, la fitina y los fosfolípidos.
- Es importante en la formación de las partes reproductivas de la planta.
- Estimula el desarrollo radicular.
- Origina un comienzo rápido y vigoroso de las plantas.
- Induce la madurez temprana de los cultivos particularmente en los cereales.
- Aumenta la relación de grano a paja o rastrojo.
- Mejora la calidad alimenticia de los granos.

- En leguminosas activa al *Rhizobium* y ayuda a la formación de nódulos en raíces y mejora la fijación de nitrógeno atmosférico (Ortiz y Ortiz, 1984).

Efecto del fósforo en el cultivo

Una gran porción de fósforo en la planta madura se encuentra en la semilla y el fruto. Este elemento es abundante en las células meristemáticas y es componente de los ácidos nucleicos, las plantas deficientes en fósforo son de crecimiento lento y a menudo enanas en la madurez (Millar, 1967).

Un trabajo sobre niveles de fertilización de nitrógeno y fósforo con diferentes densidades de siembra en trigo, en la zona de Gral. Bravo, N.L. y obtuvo un rendimiento medio de 3,880 kilogramos por hectárea, al utilizar una dosis de 60 kilogramos de nitrógeno, con una densidad de 160 kilogramos de semilla por hectárea. El fósforo no presentó ningún efecto (Hinojosa, 1981).

En un estudio de fertilización sobre trigo concluye que en ningún de los casos de las aplicaciones de fósforo se produjo un efecto positivo de significancia estadística con la dosis de 80.5 kilogramos por hectárea (Torres, 1968),

El fósforo al igual que el nitrógeno, tiene funciones especiales en el desarrollo vegetativo, como germinación de la semilla, desarrollo de la raíz, madurez temprana, relación paja grano y en las actividades del protoplasma, además es parte importante en procesos químicos (fotosíntesis, glucólisis, etc), que se efectúan en el interior de las mismas (Ortiz, 1973).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área.

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se encuentra ubicada en Buenavista a 7.0 Km. Al sur de la ciudad de Saltillo; esta ciudad se localiza en la región sur del estado de Coahuila, a $25^{\circ} 22'$ Latitud norte y $101^{\circ} 07'$ Longitud oeste a una altitud de 1742 msnm.

Descripción del área experimental.

El presente trabajo se llevó a cabo en el invernadero número 8 de de la UAAAN perteneciente al área de fitomejoramiento, el cual es semicircular, las camas en donde se colocaron las macetas tienen un área de 25 m^2 .

Material genético

Se utilizaron tres genotipos:

De los cuales 2 son Trigos cristalino variedad Sofía y altar, proporcionados por Harinera La Perla (molinos del Fénix) y una línea de trigo harinero AN-55-90, de la UAAAN.

Preparación del inoculo y Biofertilizante

La bacteria fue aislada en el laboratorio de investigación perteneciente al Departamento de Ciencias Básicas de la UAAAN, de la siguiente manera; la cepa de *Azospirillum* sp. se aisló de raíces de trigo harinero en Buenavista, Coahuila en medio de rojo congo, después fue incrementada en un medio con azúcar, como fuente de energía a 28°C y finalmente se determinó la concentración de bacterias ml^{-1} , por el método de dilución, y la concentración resultante fue de 3×10^6 lo que corresponde a 3,000,000 de bacterias / mililitro.

Preparación del Suelo

El suelo utilizado fue tamizado para la liberación de piedras y después se esterilizó con bromuro de metilo por 3 días cubriéndolo con plástico y costales a su alrededor para evitar el escape del gas, aunque este producto está prohibido se utiliza en investigación, con la esterilización se eliminan los hongos, bacterias, entre otros patógenos y semillas de malezas.

Llenado de macetas y siembra

Las macetas utilizadas fueron bolsas de polietileno negro las cuales fueron llenadas con suelo estéril con un peso aproximado de 4.5 Kilogramos por cada maceta, la siembra se realizó después de terminar de llenar las macetas con tierra, se incorporaron 10 semillas por cada maceta en forma manual, de cada uno de los genotipos utilizados a una profundidad de 4-5 centímetros, cabe mencionar que para los tratamientos de la fertilización química fueron sembrados una semana después de los demás tratamientos esto fue para el caso de los tres genotipos utilizados.

Tratamientos

Los tratamientos quedaron definidos tal y como se aprecian en el Cuadro 3.1, utilizándose un testigo absoluto, semilla inoculada con la bacteria, semilla con tratamiento químico (captan) e inoculada, semilla con químico (captan), y semilla con un fertilizante comercial que en este caso fue una combinación de Urea y MAP con una dosis de 120-80-00, cabe señalar que el grano de trigo harinero no estaba tratada con químico (captan) y este este tratamiento no se evaluó.

Cuadro 3.1. Genotipos de trigo y tratamientos establecidos en el invernadero UAAAN, Septiembre-2005.

Genotipos	Tratamientos	Material biológico y químico bac.MI ¹
1	1	Semilla con Biofertilizante nitrogenado.
1	2	Semilla con tratamiento químico (captan) + Biofertilizante nitrogenado.
1	3	Semilla tratada con químico (captan).
1	4	Testigo absoluto.
1	5	Fertilizante químico (120-80-00)
2	1	Semilla con Biofertilizante nitrogenado.
2	2	Semilla con tratamiento químico (captan) + Biofertilizante nitrogenado.
2	3	Semilla tratada con químico (captan).
2	4	Testigo absoluto.
2	5	Fertilizante químico (120-80-00).
3	1	Semilla con Biofertilizante nitrogenado.
3	4	Testigo absoluto.
3	5	Fertilizante químico (120-80-00)

G= 1 Variedad Sofía; **2** Variedad altar; **3** trigo harinero AN 55-90.

Aplicación del fertilizante químico

Esta fue dividida en dos partes una al momento de la siembra que fue aplicando 1 gramo de MAP (11-52-00), cantidad que equivale a 80 unidades de fósforo y de nitrógeno 16.92 unidades. La siguiente aplicación fue al inicio de floración aplicando 2 gramos de Urea (46-00-00) por maceta que corresponde a 103.08 unidades de nitrógeno.

Aplicación del biofertilizante

Este fue dividido en dos etapas una al momento de la siembra lo cual consistió en inocular 1 mililitro del biofertilizante en 60 semillas de cada uno de los materiales utilizados anteriormente mencionados y la otra se realizó al inicio de floración aplicado en forma de riego 1 mililitro de la bacteria diluido en 20 mililitros de agua, (1.5×10^5 bac. mL⁻¹).

Riegos

Los riegos se realizaron semanalmente.

Control de plagas, enfermedades y malezas

Durante el desarrollo del cultivo no hubo la necesidad de controlar plagas por que el cultivo no las presentó, en cuanto a las enfermedades solo se presentó el carbón volador, y para combatirlo se eliminó la planta que contaba con esta enfermedad y en cuanto a malezas esta se realizó manualmente eliminando en los primeros 40 días del establecimiento del cultivo.

Germinación y altura de planta

Esta fue determinada cuando el cultivo presentó un 50 % de emergencia, para la evaluación de altura, se realizaron una serie de lecturas de altura de planta después de la siembra (1^a a los 23 días, 2^{da} a los 31 días, 3^{ra} a los 39 días, 4^a a los 47 días, 5^a a los 62 días, 6^{ta} a los 70 días y la 7^{ma} a los 78 días) en sus diferentes etapas de crecimiento midiendo desde la base del suelo hasta donde termina el tallo en 5 plantas por cada repetición.

Floración

Esta fue determinada cuando aparecieron las primeras espigas que fue la fecha de inicio y al término de la misma, para así poder determinar cuantos días tarda en la etapa de floración.

Cosecha

Esta se realizó cuando el grano se encontraba maduro y además tenía una humedad de 13%, cortando las espigas con una hoz y trillándose manualmente.

Longitud de la espiga

Este dato fue determinado midiendo el tamaño de la espiga con la ayuda de una regla, midiendo 4 espigas por cada una de las repeticiones y tratamientos utilizados para este trabajo.

Número de granos por espiga

Este dato se obtuvo contando el número de granos de 4 espigas por cada uno de los tratamientos y repeticiones los cuales sirven para obtener el rendimiento del cultivo.

Rendimiento

Este parámetro se determinó obteniendo el peso de 1000 semillas en gramos y el cual fue transformado en toneladas por hectárea, de cada uno de los tratamientos, el grano a la cosecha debe tener una humedad del 12 a 13 % de humedad.

Diseño experimental

El diseño experimental para este trabajo fue un diseño completamente al azar, con anidamiento de los tratamientos en las variedades.

Modelo estadístico

Las fuentes de variación utilizadas de acuerdo con este diseño pueden ser representadas por el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + T_{ji} + \Sigma_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} =variable observada.

μ =Efecto de la media general del experimento.

V_i =Efecto de la i esima variedad.

T_{ji} =Efecto de j -esimo tratamiento anidado en la i esima variedad.

Σ_{ijk} =Error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación podemos observar en el cuadro 4.1 los cuadrados medios del análisis de varianza (ANVA), para los diferentes muestreos de altura de planta durante el desarrollo del cultivo y el rango de coeficiente de variación los cuales se comportaron aceptables para la investigación, además de que se pueden apreciar que todos los muestreos muestran diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los muestreos realizados de los tres genotipos utilizados.

FV	GL	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Var	2	43.70**	73.20**	26.15**	57.89**	39.49**	14.31**
Tra/Var	10	10.22**	4.56**	3.50**	5.77**	6.22**	2.50**
Error Exp.	39	0.498	0.248	0.610	1.59	4.27	9.66
CV%		10.55	6.11	7.03	7.87	5.96	7.76

** Altamente Significativo.

En el primer muestreo de altura de planta observamos que el mejor fue la variedad Altar, tratamiento 2 (TQ + bacteria), con 8.21 cm, seguido de la variedad Sofía tratamiento 3 (TQ), con 8.04 cm. Para la variedad Sofía la inoculación con *Azospirillum* (tratamiento 1; bacteria), produjo un efecto de 3.59% de incremento en la altura de planta respecto a la semilla tratada con químico + biofertilizante (T2), en relación al testigo (T4), el incremento fue de 10.53%. En la variedad altar hubo un incremento del 8.65% en altura entre la semilla tratada con químico + biofertilizante (T2), respecto a la inoculada con la bacteria (T1), y en el trigo harinero AN 55-90 hubo un incremento del 13.50% entre la semilla inoculada (T1), con respecto a la semilla del fertilizante químico (T5), (Figura 4.1).

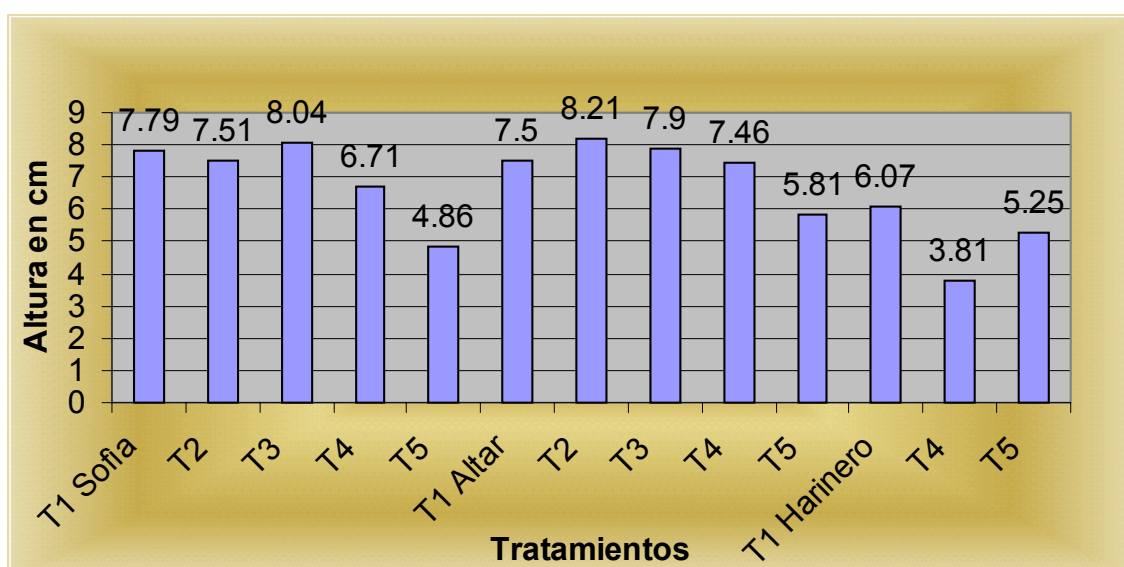


Figura 4.1 Primer muestreo de altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

Al observar el segundo muestreo de altura de planta nuevamente la variedad Altar, tratamiento 2 (TQ + bacteria), fue la mejor con una altura de 9.41 cm, seguido del tratamiento 3 (TQ), con 9.04 cm, tratamiento 1 (bacteria), con 8.875 cm y por ultimo el trigo harinero AN 55-90 tratamiento 4 (testigo), con 5.72 cm. Para la variedad Sofía la inoculación con *Azospirillum* ya sea sola o combinada con tratamiento químico con respecto al fertilizante químico no se encuentra un efecto que las distinga. En la variedad Altar hubo un incremento del 5.73 % en la semilla tratada con químico y biofertilizante (T2), con respecto al biofertilizante solo (T1), y en el trigo harinero AN 55-90 hubo un incremento del 7.47% entre la semilla inoculada (T1), con respecto a la semilla del fertilizante químico (T5), (Figura 4.2).

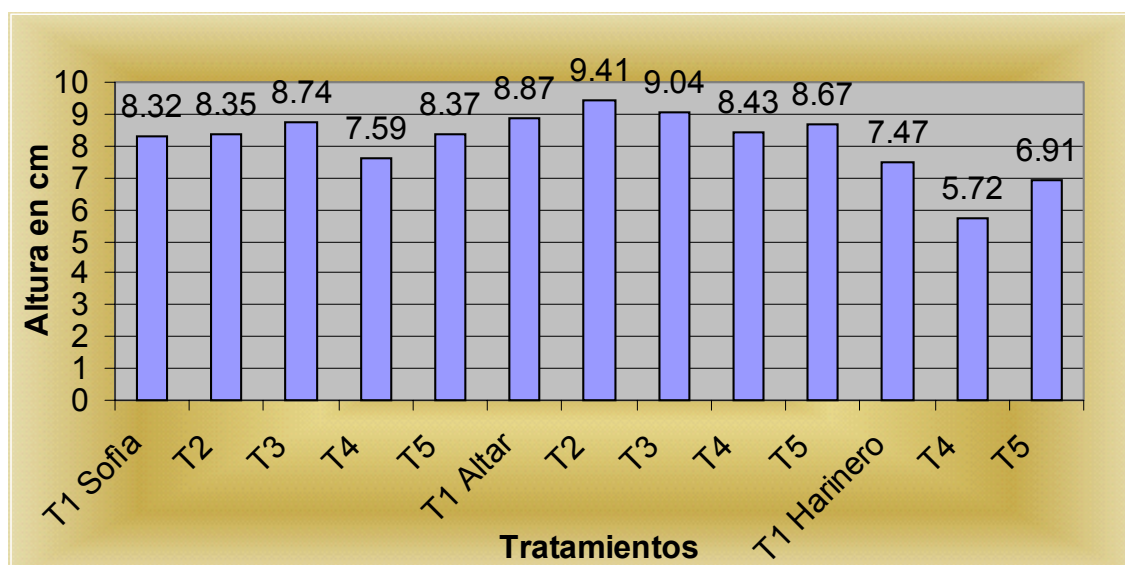


Figura 4.2. Altura de planta segundo muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

El tercer muestreo de altura podemos resaltar que la variedad Altar tratamiento 2 (TQ + bacteria), vuelve a ser el mejor con 12.87 cm, seguido del tratamiento 3 (TQ), con 12.52 cm y por ultimo nuevamente se encuentra al trigo harinero tratamiento 4 (testigo), con 8.82 cm. Para la variedad Sofía el tratamiento 3 (TQ), produjo un efecto de 3.68% al incremento de altura de planta con respecto a la inoculación de *Azospirillum*, tratamiento 1 (bacteria). En la variedad Altar hubo un incremento del 7.92% en el tratamiento 2 (TQ + bacteria), con respecto al tratamiento 1 (bacteria), y con respecto al trigo harinero AN 55-90, el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), presento un incremento del 8.52%, con respecto al tratamiento 1 (bacteria), (Figura 4.3).

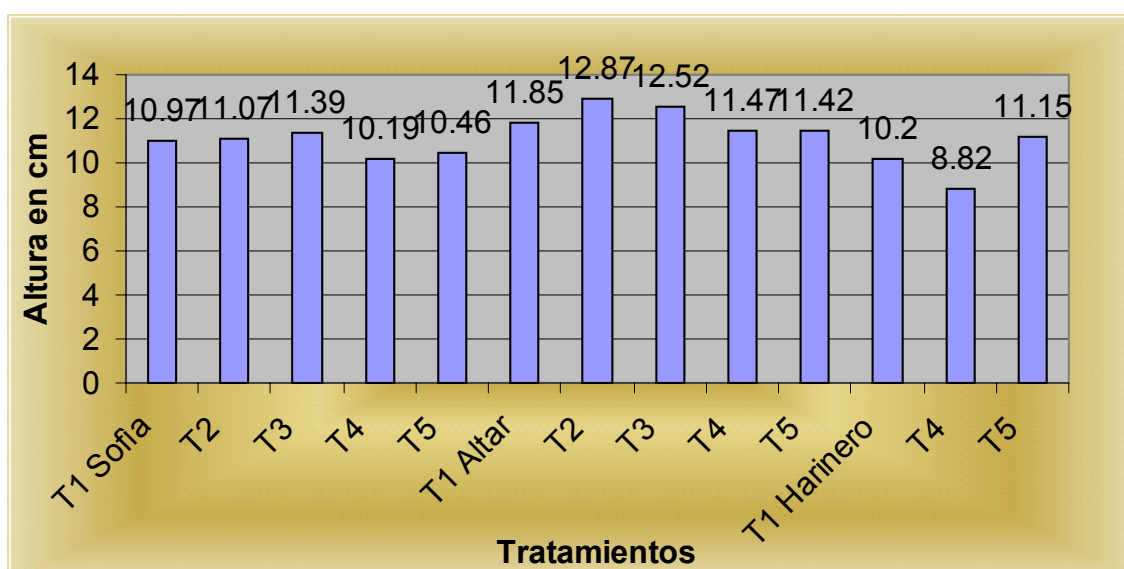


Figura 4.3. Altura de planta tercer muestre en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

El cuarto muestreo de altura de planta observamos como mejor a la variedad Altar, tratamiento 2 (bacteria + TQ), con 19.95 cm, seguido del tratamiento 3 (TQ), con 19.57 cm y por ultimo al trigo harinero AN 55-90 tratamiento 4 (testigo), con 12.627 cm, además podemos agregar que para la variedad Sofía tratamiento 3 (TQ), hubo un incremento del 8.52%, con respecto al tratamiento 1 (bacteria). En el caso de la variedad Altar tratamiento 2 (TQ + bacteria), se presentó un incremento del 22.25%, con respecto al tratamiento 1 (bacteria), para el trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria) hubo un incremento del 11.14%, con respecto al tratamiento 5 (FQ 120-80-00), (Figura 4.4).

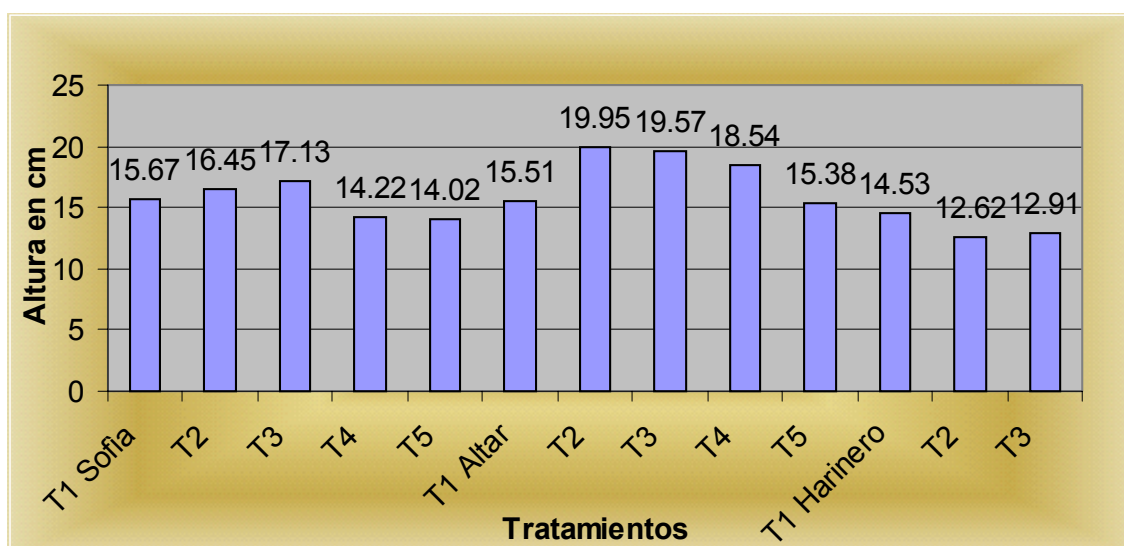


Figura 4.4 Altura de planta cuarto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

El quinto muestreo de altura observamos a la variedad Altar, tratamiento 2 (TQ + bacteria), como la mejor con 39.37 cm, seguido del tratamiento 1 (bacteria), con 38.625 cm , y por ultimo se encuentra la variedad Sofía tratamiento 5 (FC 120-80-00), con 28.86 cm, aquí es importante indicar que como ultimo tratamiento fue el 5 el cual corresponde a la aplicación de la fertilización química, esto al parecer fue por que este tratamiento fue sembrado en una fecha después de los demás tratamientos. Cabe mencionar que para la variedad Sofía, tratamiento 2 (TQ + bacteria), se produjo un incremento del 20.18%, en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), para la variedad altar tratamiento 2 (TQ + bacteria), hubo un incremento del 7.51% en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), y para el caso del trigo harinero AN 55-90 tratamiento 4 (testigo), hubo un incremento del 4.5 % en relación con el tratamiento 1 (bacteria), (Figura 4.5).

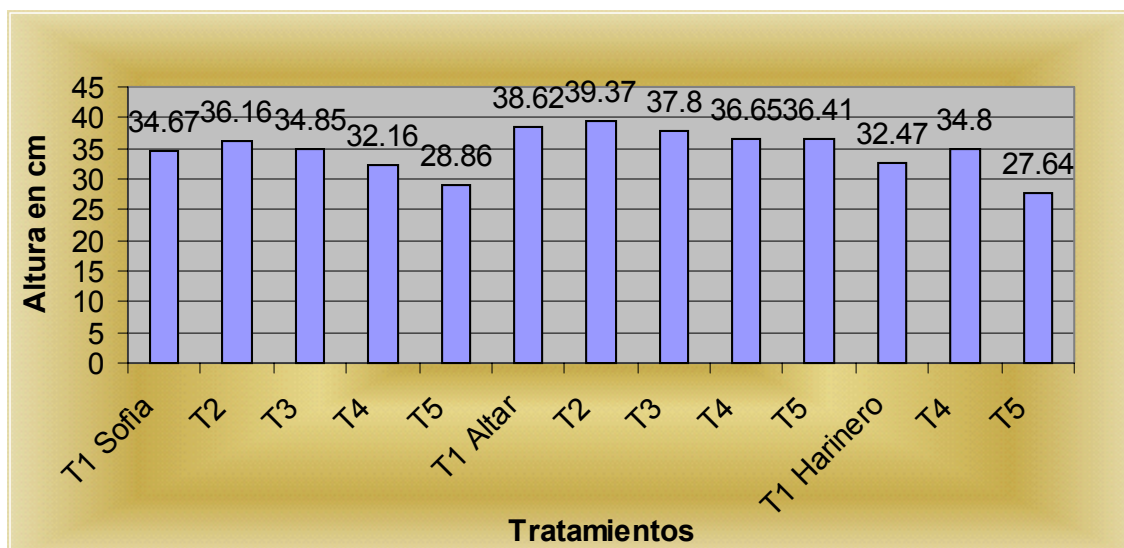


Figura 4.5 Altura de planta quinto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

En el sexto muestreo de altura nuevamente el mejor fue la variedad Altar, tratamiento 2 (TQ + bacteria), con 45.59 cm, seguido del tratamiento 1 (bacteria), con 43.58 cm, variedad Sofía tratamiento 2 (TQ + bacteria), con 42.52 cm. Para la variedad Sofía tratamiento 2 (TQ + bacteria), produjo un incremento del 13.68%, en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), para el caso de la variedad altar tratamiento 2 (TQ + bacteria), se produjo un incremento del 15.94%, en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), y para el caso del trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria), se observa un incremento del 13.01%, en relación con el tratamiento 5 (FC 120-80-00), (Figura 4.6).

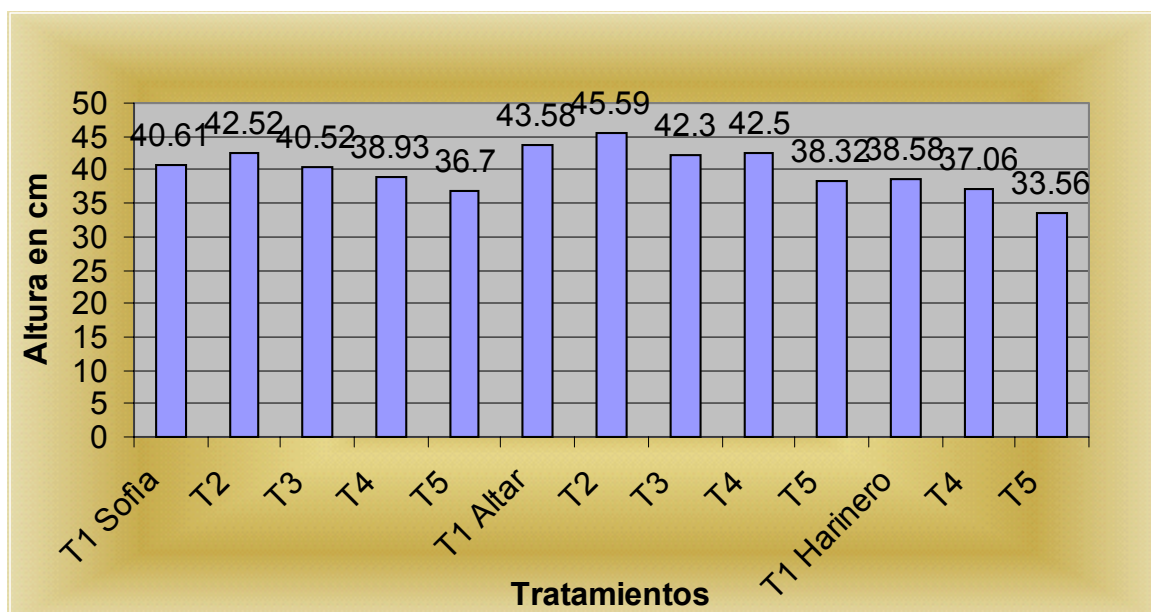


Figura 4.6 Altura de planta sexto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

En el cuadro 4.2 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza (ANVA), de los componentes de rendimiento y rangos de coeficientes de variación los cuales se comportaron aceptables para la investigación, además se aprecia que para todas las variables muestra diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), entre variedades y tratamientos dentro de las variedades.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las diferentes variables evaluadas en los tres genotipos.

FV	GL	Altura De planta	Longitud De Espiga	No. Granos/ Espiga	Peso de Mil Granos	Rendi miento
Var	2	18.54**	319.21**	11.78**	36.89**	20.89**
Tra/Var	10	3.47**	8.47**	3.65**	71.08**	9.88**
Error Exp.	39	13.19	0.075	10.64	1.21	0.20
CV%		7.57	4.27	11.10	2.77	10.83

** Altamente Significativo.

En lo correspondiente a la altura de planta, sobresale la variedad Altar, tratamiento 2 (Bacteria + TQ), con 56.41cm, seguido del tratamiento 1 (Bacteria), con 52.9 y por ultimo podemos observar al trigo Harinero AN 55-90 tratamiento 5 (FQ 120-80-00), con 39.91cm, lo que podemos resaltar aquí que la bacteria del género *Azospirillum* funciona bien cuando esta se encuentra combinada con el tratamiento químico, debido a que el producto aplicado a la semilla funciona controlando el ataque de patógenos antes de la emergencia y después no tiene efecto, ya que esto se puede observar de igual manera en la variedad Sofía en el tratamiento 2 (TQ + bacteria), que produjo un incremento del 12.45% en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), para el caso de la variedad altar tratamiento 2 (TQ + bacteria), que produjo un incremento del 20.61%, en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80-00), y para el caso del trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria), produjo un incremento del 12.80% en relación con el tratamiento 5 (FQ 120-80'-00), los efectos sobre las plantas de la inoculación con *Azospirillum* se produce en los estadios iniciales de crecimiento, (Fallik *et al.*, 1994), (Figura 4.7).

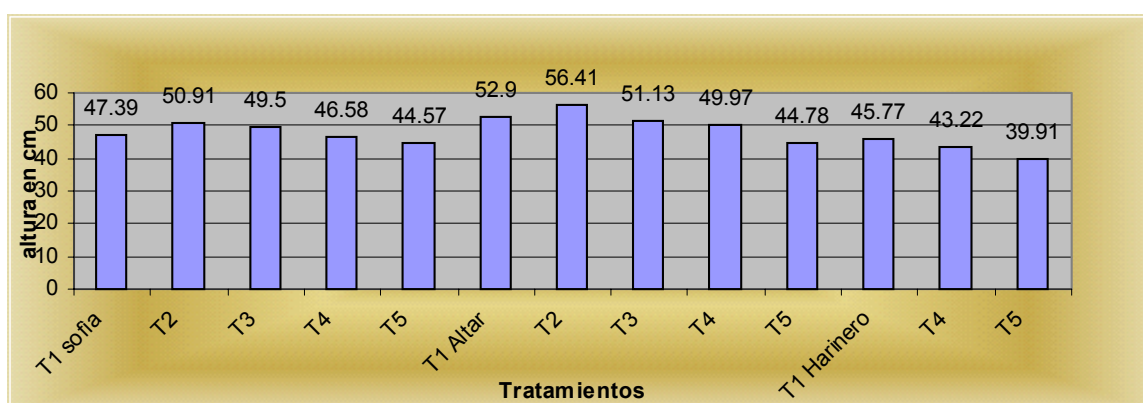


Figura 4.7. Ultimo muestreo de altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

En la longitud de espiga se puede observar como el mejor al trigo Harinero AN 55-90 tratamiento 1 (Bacteria), con 8.59cm, seguido de este los tratamientos 5 (FQ 120-80-00), con 8.15 cm y el 4 (Testigo), con 7.78 cm, esto es debido a que el trigo harinero como especie, presenta una longitud de espiga mayor que los trigos cristalinos que en este caso son la variedad Sofía y la Altar, para estos casos el mejor fue la variedad Sofía tratamiento 1 (bacteria), con 6.74 cm de longitud, seguido de la variedad Altar, tratamiento 5 (FQ 120-80-00), con 6.18 cm, al realizar la comparación por variedad nos damos cuenta que en el caso del trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria), supera al testigo absoluto y al tratamiento 5 (FQ 120-80-00), superando al testigo con 9.42%, al comparar la variedad Sofía tratamiento 1 (bacteria), con el testigo (T4), el incremento fue de 17.2% y en la variedad Altar solo el 7.86%, (Figura 4.8).

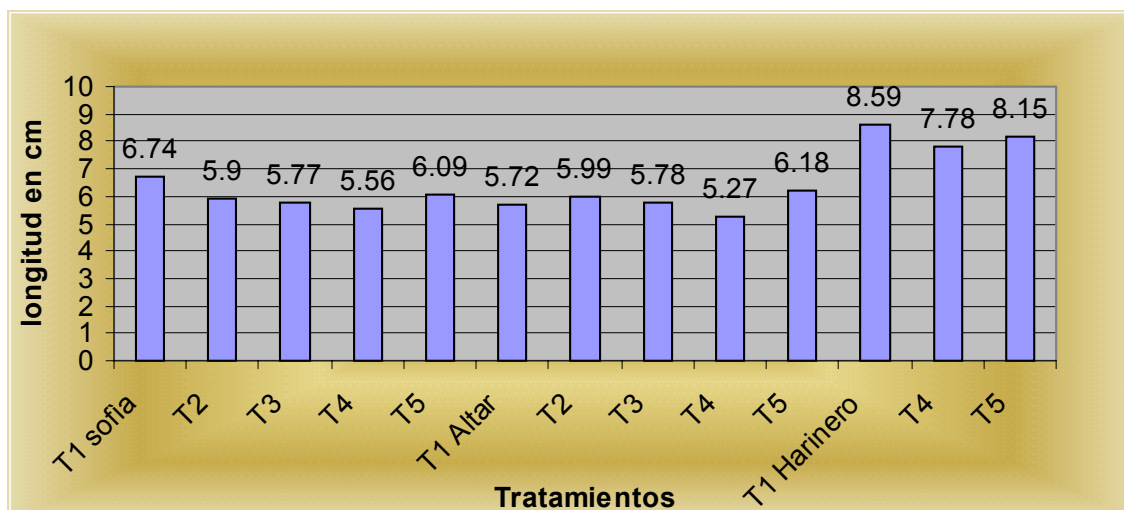


Figura 4.8. Longitud de espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

En relación al número de granos por espiga se comportó mejor la variedad Sofía, tratamiento 1 (Bacteria), con 37.35 granos/espiga, seguido de la variedad Altar, tratamiento 2 (Bacteria + TQ), con 33.87 granos/espiga y es importante mencionar que la bacteria del género *Azospirillum* fija nitrógeno y lo hace disponible para la planta esto se convierte en proteína y se incrementa el número de granos, al comparar la variedad Sofía, tratamiento 1 (bacteria), se observa un incremento del 24.87% en relación con el testigo absoluto (T4), para el caso de la variedad Altar se presenta un incremento del 19.52% y para el trigo harinero AN 55-90 solo el 7.88%, lo cual se puede decir que el tratamiento químico solo sirve para proteger a la semilla contra patógenos que la puedan deteriorar, (Figura 4.9).

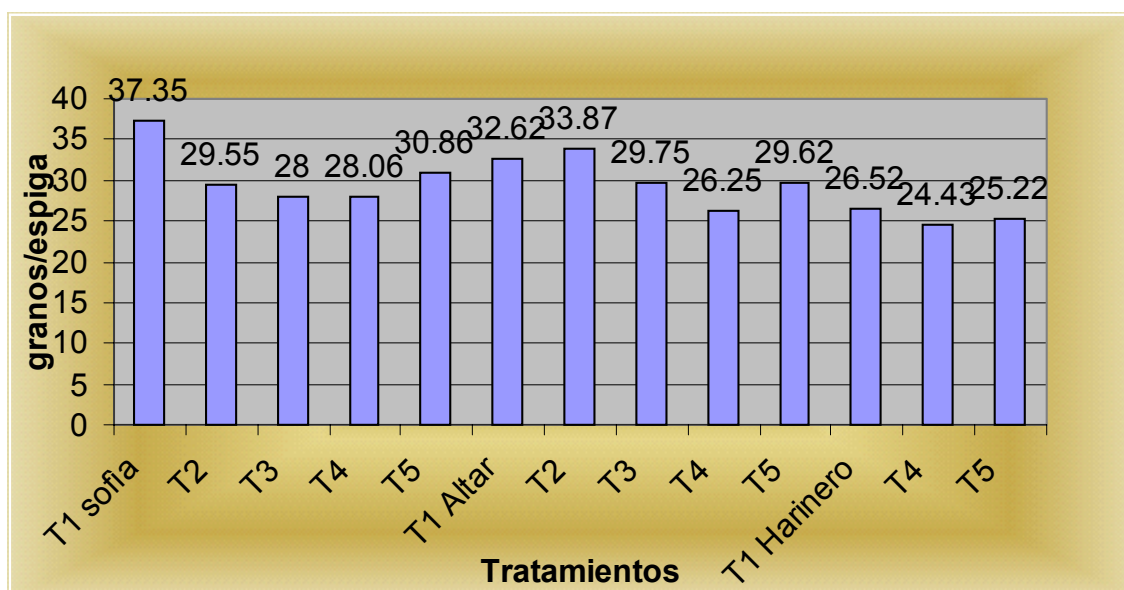


Figura 4.9. Para número de granos por espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

Para peso de mil granos se comporto mejor la variedad Altar, tratamiento 5 (FQ 120-80-00), con 49.03 gr, seguida por el Altar, tratamiento 1 (Bacteria), con 45 gr, ésta seguida del trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria), con 43.08 gr y por ultimo se puede observar al trigo harinero AN 55-90, con 32.34 gr, aun y que en la variedad Altar se obtuvo un mayor numero de granos el fertilizante químico que el biológico aunque la diferencia fue de un 8.21%, sin embargo la variedad Altar inoculada en comparación al testigo absoluto lo supera en un 14.93%, igual que la variedad Sofia con 14.40%, pero el trigo harinero AN 55-90 el incremento fue de 24.93% respecto al testigo, (Figura 4.10).

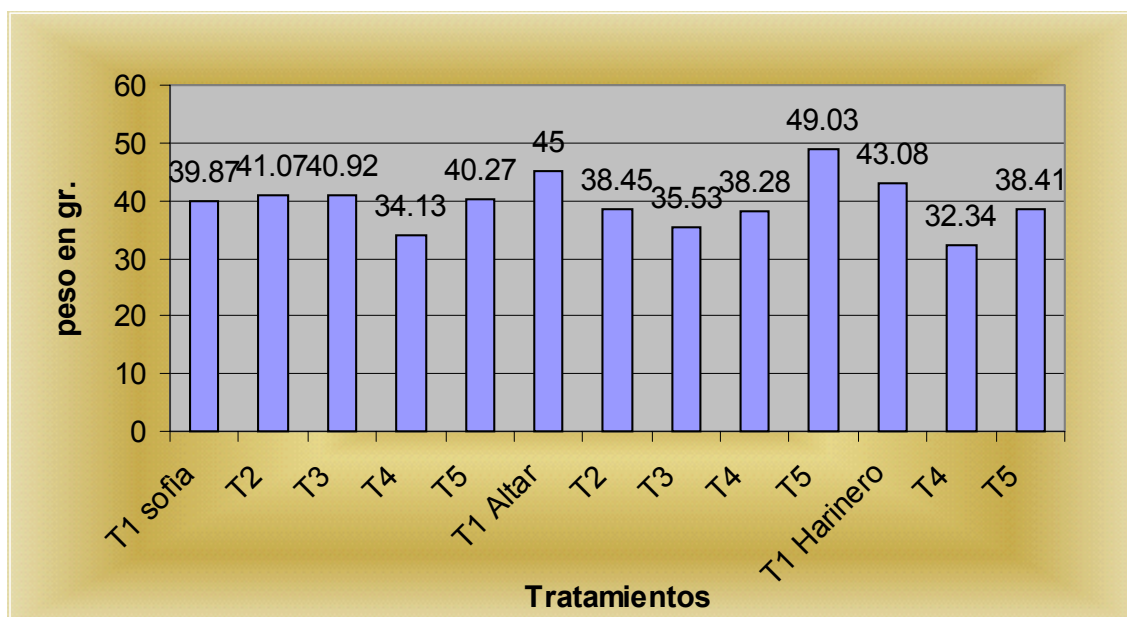


Figura 4.10. Peso de mil granos en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

En relación al rendimiento en toneladas ha^{-1} podemos observar que el mejor lo obtuvo la variedad Sofía tratamiento 1 (bacteria), con 5.35 ton/ha, seguida de la variedad Altar, tratamiento 1 (bacteria), con 5.28 ton ha^{-1} y tratamiento 5 (FC 120-80-00), con 5.22 ton ha^{-1} . En peral el mejor rendimiento se obtuvo con la fertilización biológica usando la bacteria del genero *Azospirillum* superando ala fertilización química y así mismo a los testigos. Al comparar la variedad Sofía inoculada y el tratamiento químico existe un incremento del 16.45%, mientras que al comparar la variedad Altar se puede decir que son iguales por que hay una diferencia del 1.14%, sin embargo el trigo harinero AN 55-90 incremento el rendimiento en un 15.12%, en nuestro país, trabajos pioneros informaron incrementos de rendimiento de entre 13 y 33% (Barrios et al., 1986; Rodríguez-Cáceres et al., 1994), (Figura 4.11).

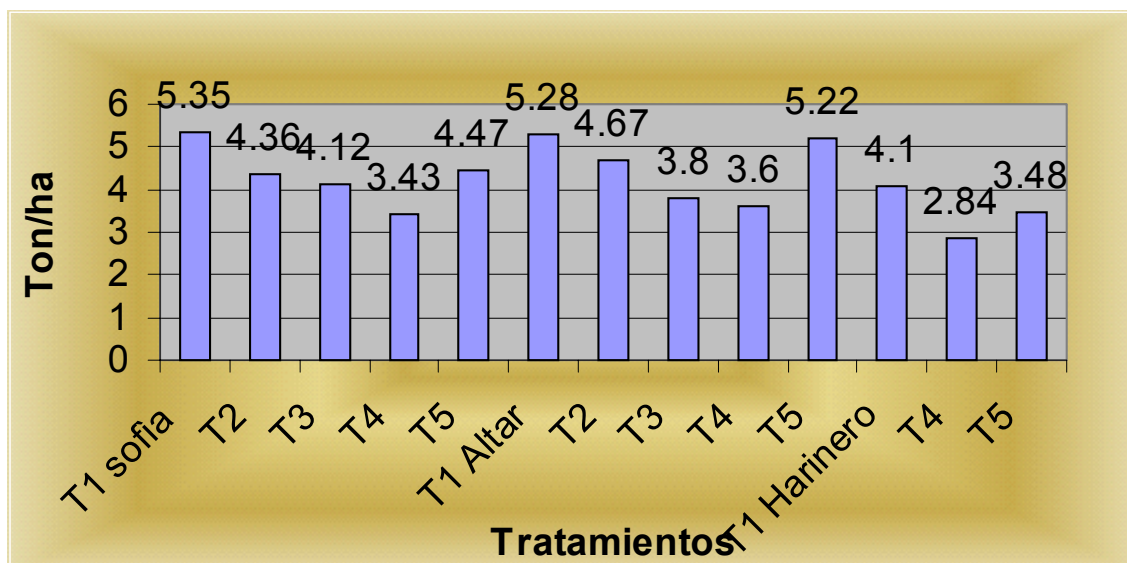


Figura 4.11. Toneladas por hectárea en dos genotipos de trigo duro y un harinero

CONCLUSIONES

- 1.-Para altura de planta el mejor genotipo fue la variedad altar tratamiento 2 (TQ + bacteria).
- 2.-En cuanto a longitud de espiga el mejor fue el trigo harinero AN 55-90 tratamiento 1 (bacteria), aunque como especie posee dicha diferencia.
- 3.- Para numero de granos por espiga el mejor fue la variedad Sofía tratamiento 1 (bacteria).
- 4.-Con respecto al peso de mil granos el mejor fue la variedad altar tratamiento 5 (FC 120-80-00).
- 5.-Para rendimiento la variedad Sofía, tratamiento 1 (bacteria), tuvo el mejor comportamiento.

En forma general el mejor genotipo fue la variedad Sofía, tratamiento 1 (bacteria), por lo que la inoculación de la bacteria *Azospirillum* sp, cuando esta no es combinada con el tratamiento químico da muy buenos resultados, por lo cual la fertilización biológica representa una alternativa para el agro mexicano y además no causa contaminación a nuestro suelo.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, R. 1983. Presencia de *A. lipoferum* y *A. brasilense* en la rizosfera de algunas plantas cultivadas y silvestres. Rev. Facultad de Agronomía. 4(3): 271-276. UNAM. México.
- Alcalde, S. 1981. Curso de nutrición vegetal. Colegio de postgraduados. Chapingo, México.
- Anónimo, 1967. Basic concepts of nitrogen, phosphorus and potassium in calcareous soil. The university of Arizona Agricultural Experiment Station and Cooperative extension service. Bulletin A. 42, pp. 3- 28.
- Bashan Y. and Holguin G. 1997. *Azospirillum*-Plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Can. J. Microbiol. 43:103-121.
- Bastarrachea, F., M. Zamudio, and R. Rivas. 1987. Non-en capsulated mutants of *Azospirillum* brasilense and *Azospirillum* lipoferum. Can. J. Microbiol. 34: 24-29.
- Bashan, Y. 1998. *Azospirillum* plant growth- promoting strains are nonpathogenic on tomato, pepper, cotton, and wheat. Can. J. Microbiol. 44:168-174.
- Bashan, Y., M. E. Puente, M. N. Rodríguez-Mendoza, G. Toledo, G. Holguin, R. Ferrera-Cerrato, and S. Pedrin. 1995. Survival of *Azospirillum* brasilense in the bulk soil and rhizosphere of 23 soil types. Appl. Environ. Microbiol. 61:1938-1945.
- Barrios, S., A. Potenza and M.V. López. 1986. Utilización del *Azospirillum* (diazotrofo rizosférico) en el triticultivo. In: Actas del Primer Congreso Nacional de AIANBA. Pergamino, Argentina, 6-10 de Octubre.
- Berguey's Manual. 1984. Bacteriología Sistemática. Ed. I, Vol. I, seccion 2.
- Bear, F.E. 1958. Suelos y fertilizantes, Editorial O MEGA, S.A. Barcelona, España.
- Boldani, V. Lucia, D. and Dobereiner, J. 1980. Host-plant Specificity infection of cereals with *Azospirillum* spp. Soil Biol. Biochem. 12:433-439.
- Borlaug 2003. Patronato para la investigación y experimentación agrícola del estado de Sonora A.C.

- Brown, A.W.A., T.C.Gibbs M., and San Pietro, A.1975 "Crop productivity-research imperatives" Nat. SCI. Found.U.S.
- Caballero-Mellado., J., and M. Valdes. 1983. incidencia *Azospirillum* en algunas gramíneas del trópico subhúmedo cálido de México. Turrialba, 33:83-88.
- CIANO. Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste. 1984. Guía para producir trigo en el Valle del Yaqui.
- Curà J.A. 2005 utilidad de las bacterias promotoras del crecimiento y fijadoras de nitrógeno en el cultivo del arroz durante las primeras etapas del desarrollo.
[http://www.agro.uba.ar/Sian/investigamas/nitrogeno- arroz.pdf](http://www.agro.uba.ar/Sian/investigamas/nitrogeno-arroz.pdf).
- De Coninck, K., S. Horemans, S. Rombaut, and K. Vlassak. 1988. Occurrence and survival of *Azospirillum* spp. in temperate regions. Plant Soil 110:213-218.
- Dianese, J.C.,J. Bobereiner, and L.T.P. Dos santos. 1989. Membrane protein patterns of three *Azospirillum* species and *Herbaspirillum seropedicae*. An. Acad. Bras. Ci. 62: 223-230
- Dobereiner, J., I.E. Marriel, and M. NERY. 1976. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. Can. J. Microbiol. 22:1464-1473.
- Eckert, B., Weber,O.B., Kirchof, G., Halbritter, A., Stoffels, M. And Hartmann, A. 2001. Int. J. Syst. Evol. Microbiol.51:17-26.
- Evans,H.J. 1975, "Enhancing Biological Nitrogen fixation". Natl. Sci. Found. U.S.A
- Fages, J.1992. An industrial view of *Azospirillum* inoculants: formulation and application technology. Symbiosis. 13:15-26.
- Fallik, E., S. Sarig and Y. Okon. 1988. Morphology and physiology of plant root associated with *Azospirillum*. In: *Azospirillum-Plant Associations* (Y. Okon, Ed), pp 77-86. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Feil, B. 1994. Growth and ammonium: nitrate uptake ratio. of spring wheat cultivars under a homogeneous and a spatially separated supply of ammonium and nitrate. Journal of plant nutrition, 17(5), 717-728.

- Flores, D. F. 1994. Evaluación de 17 genotipos criollos de trigo (*Triticum aestivum* L) para rendimiento y sus componentes en la región de Navidad N.L. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Coahuila, México.
- Golovkov, A.M., F. Cherkas hina, No: S, Berkutva, N. 1982. Effect of fertilizers on grain xield and quality of winter wheat on soil differing in the degree of reclamation. *Agrokhimiya* NO. 2 pp. 40-43 Rusia.
- Hanson, H., N.E. Borlaug y R.G. Anderson. 1982. Trigo en el tercer mundo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, México.
- Hartmann, A., M. Stoffels, B. Eckert, G. Kirchhof, and M. Schlöter. 2000. Analysis of the presence and diversity of diazotrophic endophytes. *En* E. W. Triplett (ed.), *Prokaryotic nitrogen fixation: a model system for analysis of a biological process*. Horizon Scientific Press, Wymondham, UK.p. 727.
- Hernández S., A. 1992. Avance en el mejoramiento genético del trigo en México. *In*: Memoria de la 1a Conferencia Nacional sobre la Producción de Trigo en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agropecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste. Ciudad Obregón, Sonora, México, p. 567.
- Hinojosa, Q.M.A., 1981. Prueba de diferentes niveles de fertilización de nitrógeno y fósforo con diferentes densidades de siembra en el cultivo de trigo (*Triticum vulgare* L.), en Gral. Bravo, N.L. Tesis profesional UAAAN.
- Iglesias, M. ; Fogar, M.; Cracogna M.; Rotela D.; Ferrero, 2001. A Inoculación con *Azospirillum* spp y *Saccharomyces* SP en el transplante de tomate. Jornada de ciencias y técnica (CD-ROM) 077.
- Jacob, A.U.H., 1973. Fertilización. Ed. Euroamericana. Pp. 44-50, 139-143.
- Jaime M; Martín G. O (h); Fernández RR y Martínez Pulido L.1999. Incremento de la productividad en maíz, mediante inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno. II Reunión científico técnica- biológica del suelo- fijación biológica del nitrógeno. Universidad Nacional de Catamarca-facultad de ciencias Agrarias. Pp. 197-199.

- Jeans, H.1981. Cereales, frutos secos y semillas fuentes concentradas de la nutrición. Edit. Artes Graficas EMA. PP 42-43. España.
- Kirschbaum DS. 1999. Efecto de *Azospirillum* en la productividad del cultivo de frutilla II Reunión científico técnica-biológica del suelo-fijación biológica del nitrógeno. Universidad Nacional de Catamarca-facultad de ciencias Agrarias. Pp.165-168
- Lamm, R.B., and Neyra, C.A. 1981. Characterization and Cyst production of *Azospirilla* isolated from selected grasses growing in New Jersey and New York. Can.J. Microbiol. 27: 1320-1325.
- Li, C.Y., and M.A. Castellano. 1987. *Azospirillum* isolated from within sporocarssp of the mycorrhizal fungi *Hebeloma crustuliniforme*, *Laccaria laccata*, and *Rhizopogon vinicolor*. Trans. Br. Mycol. Soc. 88:563-565.
- López-Reyes, L., L. Soto-Urzuas M.A. Mascarua-Esparza, I. Herrera-Camacho. 1989. Antibiotic resistance and B- Lactamase activity in *Azospirillum* soil Biolo. Biochem. 21:651-655.
- Luis.J.M- Morales, 2003, Indole-3-butyric acid (IBA) production in culture medium by wild strain *Azospirillum* brasilense. FEMS. Microbiology Letters.228(2) 167-173.
- Martin-Didonet, C.C.G.,L.S. Chubatsu, E.M. Souza, M. Kleinna, F.G.M.Rego,L.U. Rigo, M.G.Yates, and F.O. Pedrosa. 2000. Genome structure or the genus *Azospirillum*. J. Bacteriol. 182: 4113-4116.
- Mahler, L.R. ; Koehler, E.F. y Luctcher, L.K. 1994. Nitrogen. Source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. Agronomy Journal. 86:637-642.
- Millar, V.E., 1967. Fisiología vegetal. Ed. UTHEA. Pp. 366-380.
- Ortiz V.B., Ortiz S.C.A. 1982. Edafología. Editorial Limusa 3^{era} ed. Pp. 129-135. México.
- Okon, Y., S.L. Albrecht, and R.H.Burris. 1976. Factors affecting growth and nitrogen fixation of *Spirillum lipoferum*. J. Bacterial, 127: 1248-1254.
- Prianishnikov, N.D.1954. El nitrógeno en la vida de las plantas. Trad. David Ibarra, Pablo Pelletier y Víctor Manuel Zapata, México. VIASIF.
- Ramirez, R.L.E., 1980. Determinación del calendario de riego optimo y su interacción con la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo variedad tardía, en Navidad, N.L. Tesis profesional. UAAAN.

- Robles, S.R. 1982. Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. Tercera Edición. México, D.F.
- Robles, S.R. 1990. Produccion de granos y forrajes. Edit. Limusa. 5ª de pp. 592. México.
- Rodriguez-Càceres, E., G. Gonzáles Anta, J. Lòpez, C. Di Ciocco, J. Pacheco Basurco and J. Parada. 1994. *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* inoculation in yield response of field grown wheat in an Argentine semiarid region. *Arid Soil Research and Rehabilitation*.
- Rodriguez-Càceres, E. 1982. Improved medium for isolation of *Azospirillum* SPP. *APPL. Environ-Microbiol*, 44: 990-991.
- Rodríguez, C.E.A. 1981. Nuevo medio para aislar *Azospirillum* SP. 1ª Reunión. Nacional sobre fijación Biológica de Nitrógeno. Argentina.
- Rusell, E.J. y Rusell, G.W. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Edit. 4ª edic. Madrid España.
- SEP. 1987. Manuales para educación agropecuaria, trigo, cebada, avena, áreas de producción vegetal. Editorial trillas, sexta reimpresión, México D.F.
- SIAV 2005. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires
<http://www.e-campo.com/sections/news/display.php/uuid.19D52FAD-E4C3-48A6-A918AB2F15BBCFC5/catUuid.91D0DE00-E269-11D3-A5140006292E2740/>.
- Sika, D.E. and Grez, B.W. 1973. Protein content. of. winter wheat grain as related to soil and climatic factors in the semiarid central great plains. *Agr. Tour. Vol. G5: 433-435*.
- Sundaram, S., A. Arumkumari, and R.V. Klucas. 1988. Characterization of *Azospirilla* isolated from seed and roots of turf grass. *Can. J. Microbiol.* 34:212-217.
- Sly, L. I., and E. Stackebrandt. 1999. Description of *Skermanella parooensis* gen. nov., sp. nov. to accommodate *Conglomeromonas largomobilis* subsp. *parooensis* following the transfer of *Conglomeromonas largomobilis* subsp. *largomobilis* to the genus *Azospirillum*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49:541-544.
- Tarrand, J. J., N. R. Krieg, and J. Döbereiner. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. And *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Can. J. Microbiol.* 24:967-980.

Tisdale, S.L. Y L.W. Nelson 1989. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México.

Torres B., M.1968. Estudio de fertilización sobre el rendimiento de grano y algunas características del cultivo de trigo en el Delta del Rio Mayo. Tesis profesional UACH. Chapingo, México pp. 57-59.

Wood, A.P., and N.E. Stenberg 1979. Characterization of *Azospirillum* isolated from nitrogen-fixing roots of harvested sorghum plants. Appl. Environ. Microbiol. 38: 1189-1191.

Wong P.P., Stenberg, N.E and Edgar, L.1980. Characterization of a bacterium of the genus *Azospirillum* from cellulolytic nitrogen fixing mixed cultures. Can. J. Microbiol. 26:291-296. Canadá.

Young, J.P.W. 1992. phylogenetic Classification of nitrogen-fixing organisms, en G. Stacey, R.H. Burris, and H.J. Evans (ed), Biological Nitrogen fixation, Chapman and Hall, New York, N.Y. pp. 43-86.

http://www.cepes.org.pe/prueba_site.shtml?apc=eO1Alca&x=14768&s=R&cmd%5B537%5D=i-537-af73701ccdd09c693832d784730d78f4

APENDICE

Cuadro A.1. Análisis de varianza para altura de planta primer muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	43.54753519	21.77376760	43.70**
Trat/var	10	50.90709750	5.09070975	10.22**
Error	39	19.4304688	0.4982171	
Total	51	113.8851014		

C.V.= 10.55%

** = Altamente significativo

Cuadro A.2. Análisis de varianza para altura de planta segundo muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	36.32186256	18.16093128	73.20**
Trat/var	10	11.32455667	1.13245567	4.56**
Error	39	9.67592500	0.24810064	
Total	51	57.32234423		

C.V.= 6.11%

** = Altamente significativo

Cuadro A.3. Análisis de varianza para altura de planta tercer muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	31.89885026	15.94942513	26.15**
Trat/var	10	21.37527667	2.13752767	3.50**
Error	39	23.79055000	0.61001410	
Total	51	77.06467692		

C.V.= 7.030983

** = Altamente significativo

Cuadro A.4. Análisis de varianza de altura de planta cuarto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	184.9758392	92.4879196	57.89
Trat/var	10	92.2637300	9.2263730	5.77
Error	39	62.3079750	1.5976404	
Total	51	339.5475442		

C.V.= 7.87%

** = Altamente significativo

Cuadro A.5. Análisis de varianza para altura de planta quinto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	337.9139441	168.9569721	39.49
Trat/var	10	266.2185367	26.6218537	6.22
Error	39	166.8715500	4.2787577	
Total	51	771.0040308		

C.V.= 5.96%

** = Altamente significativo

Cuadro A.6. Análisis de varianza para altura de planta sexto muestreo en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	276.7315231	138.3657615	14.31
Trat/var	10	241.5040500	24.1504050	2.50
Error	39	377.0001500	9.6666705	
Total	51	895.2357231		

C.V.= 7.76%

** = Altamente significativo

Cuadro A .7 Análisis de varianza para altura de planta en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	489.1356941	244.5678471	18.54**
Trat/var	10	457.7488367	45.77448837	3.47**
Error	39	514.571275	13.194135	
Total	51	1461.455806		

C.V.= 7.57%

** = Altamente significativo

Cuadro A.8. Análisis de varianza para longitud de espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	48.21757692	24.10878846	319.21**
Trat/var	10	6.39840000	0.6398400	8.47**
Error	39	2.94550000	0.07552564	
Total	51	57.56147692		

C.V.= 4.27%

** = Altamente significativo

Cuadro A.9. Análisis de varianza de número de granos por espiga en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	250.7560000	125.3780000	11.78**
Trat/var	10	389.1037000	38.9103700	3.65**
Error	39	415.259000	10.647667	
Total	51	1055.118700		

C.V.= 11.10%

** = Altamente significativo

Cuadro A.10. Análisis de varianza correspondiente del peso de mil granos en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	89.5478614	44.7739307	36.89**
Trat/var	10	862.7734532	86.2773453	71.08**
Error	39	47.3412205	1.2138774	
Total	51	999.6625351		

C.V.= 2.77%

** = Altamente significativo

Cuadro A.11. Análisis de varianza correspondiente del rendimiento en dos genotipos de trigo duro y un harinero.

FV	GL	SC	CM	FC
Var	2	8.71334256	4.35667128	20.89**
Trat/var	10	20.60897667	2.06089767	9.88**
Error	39	8.13202500	0.20851346	
Total	51	37.45434423		

C.V.= 10.83%

** = Altamente significativo