

34



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

EFECTO DE LA INOCULACION Y TRES DENSIDADES
DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO EN GRANO
DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) CON
MANEJO ORGANICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A N :
AURELIA SANTOS ARANA
GABRIEL REYES MARIN

ASESOR: M. EN C. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

280932

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

AT'N. Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Efecto de la inoculación y tres densidades de siembra sobre el rendimiento en grano del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) con manejo orgánico"

que presenta la pasante: Aurelia Santos Arana
con numero de cuenta: 8903119-5 para obtener el TITULO de
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx , a 3 de abril de 2000

| | |
|------------------|---|
| PRESIDENTE | <u>M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas</u> |
| VOCAL | <u>ANTROP. Dionisio Garza Maltos</u> |
| SECRETARIO | <u>Ing. Raúl Espinoza Sánchez</u> |
| PRIMER SUPLENTE | <u>M. en C. Yazmín Cuervo Usan</u> |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>BIOL Elva Martínez Holguín</u> |



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

AT'N: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Efecto de la inoculación y tres densidades de siembra sobre el rendimiento en grano del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) con manejo orgánico".

que presenta el pasante: Gabriel Reyes Marín
con numero de cuenta. 8710786-9 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 3 de abril de 2000

PRESIDENTE M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas

VOCAL ANTROP. Dionisio Garza Maltos

SECRETARIO Ing. Raúl Espinoza Sánchez

PRIMER SUPLENTE M. en C. Yazmín Cuervo Usan

SEGUNDO SUPLENTE BIOL. Elva Martínez Holguín

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente

Al M en C. Edvino Josafat Vega Rojas por el apoyo incondicional proporcionado en cada una de las fases de esta investigación. Su ímpetu siempre nos incitó a seguir adelante.

Al Ingeniero Agrícola Raúl Espinoza Sánchez por su apoyo incondicional y su amistad.

Al M en C. Oscar Arellano por su valiosa contribución para la realización del análisis estadístico y su apoyo en la búsqueda de información computarizado.

A cada uno de los miembros del jurado por la revisión de la presente tesis; sus críticas y comentarios contribuyeron en gran manera para mejorar y complementar esta investigación.

A todos los profesores y profesoras que se esfuerzan día a día por dar lo mejor de sí para nuestra formación profesional.

A todos y cada uno de los miembros de la Decimoséptima Generación de Ingeniería Agrícola por su amistad y compañerismo.

Aurelia Santos Arana
Gabriel Reyes Martín

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de llegar a la meta.

"El camino fue difícil, pero nunca me abandonaste, y aún cuando creí no poder más, tú pusiste los medios y en los momentos más difíciles me has dado aliento para seguir adelante".

Un agradecimiento especial a la familia Santos Arana:

"Cada uno de ustedes contribuyó de alguna manera en mi formación profesional. Siempre contarán conmigo".

A mi padre, Sr. Andrés Santos Sánchez:

"Gracias a ti he aprendido a valorar más las cosas y a luchar por conseguir un ideal".

A mi madre, Sra. Hilaria Arana González:

"Tus consejos, confianza y apoyo moral me dieron fuerzas y el valor para continuar el camino y llegar a la cima del triunfo".

A mi tía Lore y familia:

"Dios la trajo a mi vida justo cuando estuve a punto de rendirme en el camino. Gracias por su hospitalidad, confianza y amistad".

A Gabriel Reyes Martín: Por su valiosísima colaboración para la realización de este trabajo.

"Gracias a tu tiempo, esfuerzo, dedicación y perseverancia hemos logrado el objetivo planeado". Enhorabuena.

Aurelia Santos Arana

DEDICATORIA

Dedicada especialmente a:

Mis padres: Andrés Santos Sánchez e Hilaria Arana González

Mis hermanos: Ramiro, Jorge y Sofía, Félix (†) y Piedad (†)

Todos mis familiares.

Mis amigas y amigos más cercanos: Rosalina e Hilario, Rita, Carmen, Susana, Roxana, C. Mayra, Claudia C., Lorena, Gabriela, Catalina, Claudia E., Josefina, Magdalena O., Rosalba y Lucio, Sandra y Felipe, Gabriel R., José Luis, José Ángel, Angel Augusto, Héctor M., Jaime R., Humberto C.

Todos los amigos(as) y compañeros(as) de estudio y trabajo que he tenido en el transcurso de mi vida.

Edmundo Cruz Abarca (†). Siempre te recordaré.

Familia Herrera Rojas

Familia Espinoza Reyes

Familia Reyes Marín

Con cariño y respeto:

Aurelia Santos Arana

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Agradezco a DIOS, por poner en mi camino los medios para superarme y haber cumplido una meta de mi vida.

"Gracias DIOS, porque siempre fuiste delante de mí y siempre estarás conmigo, porque nunca me abandonarás."

A MIS PADRES:

Sr. Angel Reyes González y Sra. Juana Martín Juárez:

"Sus sabios consejos y la confianza que depositaron en mí hicieron posible verme realizado hoy como profesionista. Este logro mío, es suyo también".

A MIS HERMANOS Y CUÑADOS:

"Gracias por la confianza, por su apoyo moral y económico otorgados para llevar a cabo lo que parecía un sueño. Su esfuerzo es nuestro triunfo".

A MI HERMANA EULALIA Y MI CUÑADO CÉSAR:

"Su apoyo incondicional fue el principal aliciente para seguir adelante en mis estudios y haber logrado mi propósito. Gracias por su hospitalidad: Su hogar ha sido mi hogar".

A AURELIA SANTOS ARANA.

Por tu amistad y compañerismo durante el transcurso de la carrera y elaboración de esta investigación.

Gabriel Reyes Martín

DEDICATORIA

A mis verdaderos valores de la vida que me dieron la existencia, mis Padres:

Angel Reyes González y Juana Martín Juárez

A mis hermanos con quienes jugué y algunas veces peleé:

| | |
|-------------------|---------------------|
| <i>Eulalia C.</i> | <i>Jacobo</i> |
| <i>Alejandro</i> | <i>Nicanor</i> |
| <i>Ricardo</i> | <i>Inés</i> |
| <i>Yolanda</i> | <i>Celso</i> |
| <i>Apolinar</i> | <i>Epifanio (†)</i> |

A mis familiares.

A mis cuñados:

| | |
|---------------|-----------------|
| <i>César</i> | <i>Catalina</i> |
| <i>Israel</i> | <i>Rosa</i> |

A mis sobrinos:

| | | | |
|------------------|----------------|------------------|-------------------|
| <i>Iván</i> | <i>Gustavo</i> | <i>Rigoberto</i> | <i>Ana Magaly</i> |
| <i>Uriel</i> | <i>Samuel</i> | <i>Apolinar</i> | <i>Yesssica</i> |
| <i>Alejandro</i> | | | |

A mis amigos(as) y compañeros(as):

Aurelia Santos, Alejandro Espinoza, Trinidad Islas, Angel A. Saucedo, Manuel R., Minerva, Ana Luisa, Beatriz, Adriana, Rosalina e Hilario, Sandra y Felipe, Rosalba y Lucio, Magdalena O., Catalina, Isidro, Humberto Catalán, Alma y Leticia

A un amigo pasado que se marchó para no volver:

Edmundo Cruz Abarca (†)

Atentuosamente:

Gabriel Reyes Martín

A MI MADRE MAZAHUA

Madre:

*Soy el fruto que pariste con dolor,
que hoy logra una profesión
con orgullo verdadero.*

*Tu me diste la vida
y dejaste en mi mano la semilla,
la antigua palabra de mi pueblo:
El Mazahua.*

*Tu me cortabas las pequeñas flores
de la época de lluvia,
y cargado a tu espalda
sembrabas y cosechabas el maíz sagrado
que nos da desde la intimidad de la tierra.*

*Creí en el campo verde,
entre pájaros y mariposas
hasta que una mañana fría
al pasar frente a un restaurante,
te dije que cuando fuera grande
sería profesionista y
reuniría a mis hermanos
para recuperar lo que nos han quitado
y que entonces las peras, manzanas y
duraznos más dulces
serían para nuestra mesa.*

Madre: yo te quiero mucho.

Gracias.

YÑU'U JÑAJTO

Ñu'u:

*In muxk'o ñe i so o na u'u,
nudya na xoru
ri majko na ponkju.*

*Nutsk'e in muxk'u
ñe ri zok'zo na punte semia,
nu a mezhe jñaa nu in jñũigo:
Teetrjo jñajto.*

*Nutsk'e me dyok'u yo ts'indajna
ma o saja nu zanto
in tunk'u kja xutju
me tumu ñeje mi xefe nu tjo'onjoji
ni unu kja nu xoñijomu.*

*Ru tekjo kja nu tr'abatrju na k'angu,
na su'u ñeje na xepje
ma nu d'a nu se jyasu
ru kjobi nu t'angumu u nu po'o jñonu,
in ru xist'i k'u ma ru teekjo
ru xoru ngicha ñeje
ru jmunt'u yo in kjuarua
pa ru junmb'jme yo jñunguji
numa yo nda na peraxi, ixi ñeje
ndora na o'o
ru ngii kja in mexabi.*

Ñu'u: nuzgo ri nets'e na ponkju.

Pokju ya

Gabriel Reyes Murón

A MI PADRE MAZAHUA

Padre:

Yo a ti te respeto
porque de niño me enseñaste los cerros,
me nombraste los pájaros y
me llevaste por la orilla del Río Lerma.

Tu me enseñaste el camino del bien
queriendo a la gente, a las plantas
y a los pájaros.

Tu me enseñaste a sembrar
el maíz sagrado con mucho placer
me enseñaste a trabajar y a luchar.

Tu me dijiste que fuera al colegio
para estudiar una profesión,
porque a trabajar el campo y las milpas
no me dejarías hasta no ser Ingeniero.

Padre tu me dijiste:

"Vete a estudiar, hijo mío,
yo esperaré tu regreso
yo se que vendrás a verme
tu vendrás por este viejo
y querrás con toda el alma
enseñarme lo aprendido.
¡Anda, hijo mío, vete ya:
México espera tu esfuerzo!
Te espera los hombres del campo
para que les enseñes
y sirvas al pueblo.
Yo aquí me quedo esperando
con verdadero orgullo
porque sé que cumplirás
ser prestigiado Ingeniero".

Hoy aquí me tienes padre, todo un hombre
con la profesión que tanto soñamos.

Gracias Padre.

Y TATA JÑAJTO

Tata:

Nuzgo ri nee na ponkju
ma ts'it'i in jitski yo t'eeje,
yo chju'u yo s'u'u
in sink'i nu ñunu nu ndareje.

Nutsk'e me dyoplu kja ñuji na joo
nets'e nu nte'e, nu xijño
in nu s'u'u.

Nutsk'e me dyopju nu tumu
nu tjo'onjoi nee angeze
In dyopju ra pepji na ponkju.

Nutsk'e me xits'i ma dya nu nguxoru
pa ru xoru na xoru ngicha,
a ra pepji nu tr'abatju ñeje juajma
dya ra jietesk'i na ri ts'a ngeje mbezhe.

Tata nutsk'e xits'i:

"Ma dya xoru, tr'ii,
nuzgo ra tenk'ue ri nzhogu
ri panru ri ekje
ri me nuzgo ma a ri xita
ngek'ua ri ni jitsk'i
jango ga dyopju nu xorigi.
¡Xad'a tr'ii, madya:
Na tepk'e nu B'onrro!
Tepk'e yo nte'e nu tr'abatju
pa ru dyapju nu xorigi
ñe ra pjosu i jñiñigo.
Nuzgo ra tepk'eba
ri makjo na ponkju
ri panru ri pepji
nu ngeje kja mbezhe "

Nudya kjanu tata, na b'ezo
nu xoru nu ra nuts kojine.

Pokju ya tata.

Fabriel Reyes Martín

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| LISTA DE CUADROS | i |
| LISTA DE FIGURAS | ii |
| LISTA DE GRÁFICAS | ii |
| RESUMEN | iii |
| | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. Objetivos | 3 |
| 2. Hipótesis | 3 |
| | |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 1. Generalidades del Haba (<i>Vicia faba</i> L.) | 4 |
| 1.1. Importancia del cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.) | 4 |
| 1.2. Origen y distribución | 5 |
| 1.3. Clasificación taxonómica | 7 |
| 1.4. Descripción botánica | 7 |
| 1.5. Condiciones ambientales para el cultivo | 8 |
| 1.5.1. Clima, temperatura, fotoperiodo | 8 |
| 1.5.2. Precipitación | 9 |
| 1.5.3. Altitud y latitud | 10 |
| 1.5.4. Suelo | 10 |
| 1.6. Operaciones agrícolas | 10 |
| 1.7. Siembra | 11 |
| 1.7.1. Variedades | 11 |
| 1.7.2. Época de siembra | 12 |
| 1.7.3. Métodos de siembra | 12 |
| 1.7.4. Densidad de siembra | 13 |
| 1.8. Rendimiento | 15 |
| 1.8.1. Conceptos de rendimiento | 15 |

| | |
|---|----|
| 1.8.2. El rendimiento y su relación con la densidad | 16 |
| 1.8.3. El rendimiento y su relación con la inoculación | 17 |
| 2. Fijación simbiótica de nitrógeno | 18 |
| 2.1. El nitrógeno | 18 |
| 2.2. Historia de las bacterias fijadoras de nitrógeno | 21 |
| 2.3. Taxonomía y morfología de <i>Rhizobium leguminosarum</i> Frank | 23 |
| 2.4. Proceso de infección y fijación de nitrógeno | 24 |
| 2.4.1. Preinfección | 24 |
| 2.4.2. Adhesión | 26 |
| 2.4.3. Infección | 26 |
| 2.4.4. Desarrollo y madurez nodular | 26 |
| 2.4.5. Degeneración nodular o senescencia | 29 |
| 2.5. Factores que limitan la fijación simbiótica | 30 |
| 2.5.1. Relación leguminosa - <i>Rhizobium</i> | 30 |
| 2.5.2. Humedad del suelo | 31 |
| 2.5.3. Aireación | 31 |
| 2.5.4. Ph del suelo | 31 |
| 2.5.5. Temperatura | 31 |
| 2.5.6. Presencia de elementos nutritivos | 32 |
| 2.5.7. Presencia de determinados oligoelementos | 32 |
| 2.5.8. Agroquímicos | 32 |
| 2.5.9. Presencia de bacteriófagos | 33 |
| 2.6. Criterios de una buena cepa inoculante | 33 |
| 2.7. Métodos de inoculación | 33 |
| 2.8. Importancia agronómica | 35 |

| | |
|---|----|
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 37 |
| 1. Caracterización de la zona | 37 |
| 1.1. Ubicación geográfica | 37 |
| 1.2. Características climáticas | 37 |
| 1.3. Características agrológicas | 39 |
| 2. Ubicación del experimento | 40 |
| 3. Diseño experimental | 42 |
| 4. Materiales | 43 |
| 4.1. Semilla utilizada | 43 |
| 4.2. Inoculante | 43 |
| 4.3. Otros materiales | 44 |
| 5. Establecimiento y manejo del experimento | 44 |
| 5.1. Preparación del terreno | 44 |
| 5.2. Inoculación y siembra | 44 |
| 5.3. Labores culturales | 44 |
| 6. Variables a evaluar en campo y gabinete | 45 |
| 6.1. Altura de planta | 45 |
| 6.2. Peso de cien granos | 46 |
| 6.3. Rendimiento en grano | 46 |
| 7. Análisis estadístico | 46 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 47 |
| 1. Altura de planta | 47 |
| 2. Peso de cien granos | 52 |
| 3. Rendimiento en grano | 54 |
| V. CONCLUSIONES | 60 |
| VI. LITERATURA CONSULTADA | 61 |
| ANEXOS | |

LISTA DE CUADROS

Cuadro

| | |
|--|----|
| 1. Composición química del haba..... | 4 |
| 2. Superficie (Ha) y rendimiento (ton/Ha) de haba en grano y vaina en México. Año Agrícola 1996..... | 6 |
| 3. Cantidad de nitrógeno fijado por la asociación leguminosa- <i>Rhizobium</i> | 20 |
| 4. Relación entre la nueva y antigua inoculación cruzada leguminosa- <i>Rhizobium</i> | 23 |
| 5. Análisis de suelo del experimento realizado..... | 40 |
| 6. Relación de tratamientos de bloques completos al azar evaluados en la FES Cuautitlán, México..... | 43 |
| 7. Análisis de varianza para la altura de planta en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.)..... | 47 |
| 8. Cuadro de comparación de medias de Tukey para la variable altura de planta..... | 48 |
| 9. Promedios de los resultados finales de los datos de campo para cada tratamiento de los cuatro bloques en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.) en la FES Cuautitlán, México..... | 49 |
| 10. Análisis de varianza para peso de cien granos en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.)..... | 52 |
| 11. Análisis de varianza para rendimiento en ton/ha en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.)..... | 55 |
| 12. Cuadro de comparación de medias de Tukey para la variable rendimiento en ton/ha..... | 55 |

LISTA DE FIGURAS

Figura

| | |
|--|----|
| 1. Ciclo del nitrógeno en la naturaleza..... | 19 |
| 2. Proceso de infección: a) Preinfección y Adhesión, b) Infección, c) Desarrollo y madurez nodular, d) Planta infectada, presenta nódulos bien desarrollados.. | 25 |
| 3. Ubicación geográfica donde se llevó a cabo el experimento..... | 38 |
| 4. Localización de la parcela experimental en la FES Cuautitlán, UNAM , México..... | 41 |
| 5. Distribución de los tratamientos en campo..... | 42 |

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica

| | |
|--|----|
| 1. Altura de haba (<i>Vicia faba</i> L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la FES Cuautitlán, Estado de México..... | 49 |
| 2. Peso de cien granos de haba (<i>Vicia faba</i> L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la FES Cuautitlán, Estado de México..... | 53 |
| 3. Rendimiento en grano en ton/ha de haba (<i>Vicia faba</i> L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la FES Cuautitlán, Estado de México..... | 56 |

RESUMEN

El estudio del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) fue motivado principalmente porque, a pesar de tratarse de una leguminosa con alto contenido de proteína en grano seco (22.6%) y en verdura (8.4%), y que tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico por medio de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, además de ocupar una superficie a nivel nacional cerca de 30,000 Has, las instituciones que se dedican a la investigación en México, poco o casi nada han hecho por el estudio de este cultivo, señalándose como ejemplo que a lo largo de 11 años (1985 a 1996) el índice del rendimiento medio nacional por hectárea ha disminuido de 2.5 ton/ha a 0.907 ton/ha, lo cual es una tasa sumamente alarmante y aun así no se realiza investigación científica por parte de alguna institución que se dedique a la misma.

La presente investigación fue realizada en 1997 en terrenos del Area Experimental de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. El experimento se realizó con el propósito de:

1. Evaluar el rendimiento en grano al inocular la semilla con la bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank como una fuente de fertilización biológica nitrogenada.
2. Precisar cual es la mejor densidad de siembra para rendimiento en grano, desde el punto de vista de la distancia entre matas.

La fecha de siembra fue el 23 de abril de 1997, utilizándose tres densidades de plantación y dos tratamientos de inoculación con *Rhizobium leguminosarum* Frank (semilla inoculada y sin inocular) a la semilla de haba. Durante el ciclo del cultivo el objetivo fue evitar el uso de productos químicos para el control de plagas y enfermedades con el fin de obtener un producto tipo orgánico.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 6 tratamientos y cuatro repeticiones.

De acuerdo a las variables evaluadas: altura de planta, peso de cien granos y rendimiento de grano seco, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el primer punto, la inoculación con *Rhizobium leguminosarum* Frank a la semilla de haba no fue significativa sobre el rendimiento, resultó tan solo un poco mejor que el obtenido por los tratamientos no inoculados, sin embargo la inoculación se vio ligeramente favorecida en el aumento de peso de cien granos teniendo mejor tamaño y calidad de grano los tratamientos inoculados.

Con respecto al segundo objetivo se encontró que el mejor tratamiento fue el que tuvo una separación de 50 cm entre matas con una densidad de 65,400 plantas/ha, con un rendimiento medio de 4.08 ton/ha, seguido de los tratamientos de 70 cm con una densidad de 46,434 plantas/ha, con un rendimiento promedio de 4.07 ton/ha, con y sin la aplicación de inoculante (*Rhizobium leguminosarum* Frank) respectivamente, con lo que se demostró que es la distancia entre matas (densidad de siembra) la que determina mayor o menor rendimiento.

Por lo tanto, el idiotipo estructural que más rendimiento promete dar es el que tenga una densidad media (65,400 plantas/ha) con 50 cm entre matas y con la aplicación de la bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank que promete mayor tamaño, peso de grano y mejor calidad.

1. INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L.) es una leguminosa ampliamente distribuida en el mundo debido a su adaptabilidad a diversos tipos de climas, a nivel mundial los cinco principales productores son China, Etiopía, Egipto, Italia y Francia. En América el primer productor es Canadá, cultivándose también en México y Brasil a grandes elevaciones.

El cultivo del haba (*Vicia faba* L.) en México es generalmente de temporal, siendo principalmente cultivada en los Estados de Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Michoacán y la zona agrícola del Distrito Federal. Puede encontrarse como unicultivo o asociada con maíz o frijol.

El grano de haba (*Vicia faba* L.) es empleado en la alimentación humana en estado verde o seco y en diversos lugares también se consumen las vainas tiernas. Es una excelente fuente de proteínas, superando en calidad alimenticia a otras leguminosas como el garbanzo. La planta seca o verde suele utilizarse como alimento para el ganado.

Por tratarse de una leguminosa, el haba tiene la cualidad de ser autosuficiente en nitrógeno, pues posee la facultad de fijar el nitrógeno atmosférico gracias a la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, aportando a la vez cantidades considerables de este elemento al suelo, que superan las cuantificadas para otras leguminosas, ventaja que la hace ser una buena opción en la rotación de cultivos. Otra de las ventajas que presenta es que se puede utilizar como abono verde, siendo esta una forma económica de restituir biológicamente el elemento nitrógeno del suelo, sin la necesidad de agregar abonos químicos que, además de perjudicar el suelo, son costosos para el productor.

Por todo lo antes expuesto, la presente investigación tiene por objetivo evaluar el rendimiento en grano de haba al inocular con *Rhizobium leguminosarum* como una fuente de fertilización biológica nitrogenada, aprovechando la capacidad que tiene esta planta para fijar el nitrógeno atmosférico en simbiosis con dicha bacteria, esto con el fin de brindar una alternativa diferente a la utilización de fertilizantes de tipo químico; así mismo se pretende evitar el uso de productos químicos en el control de la maleza, plagas y enfermedades que se presenten durante el ciclo del cultivo, para la obtención de

un producto tipo orgánico. Por otra parte, se determina la densidad de siembra adecuada para obtener el mejor rendimiento de grano seco, tomando en cuenta las variables: altura de planta, peso de cien granos y rendimiento en grano seco.

1. Objetivos

Objetivo general

- Contribuir al avance de las investigaciones del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en lo referente a la fijación biológica de nitrógeno y manejo orgánico.

Objetivos particulares

- Evaluar el rendimiento por hectárea en grano seco de haba (*Vicia faba* L.) inoculada con *Rhizobium leguminosarum*
- Determinar la densidad adecuada de plantas del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en base al rendimiento por hectárea en grano seco

2. Hipótesis

- Al inocular la semilla con *Rhizobium leguminosarum* se incrementa el rendimiento por hectárea en grano seco de haba (*Vicia faba* L.)
- La densidad de población influye directamente en el rendimiento de grano seco en haba (*Vicia faba* L.)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Generalidades del Haba

1.1. Importancia del cultivo de haba (*Vicia faba* L.)

El haba por su amplia adaptación a diferentes climas y altitudes, puede cultivarse en cualquier época del año, pues es resistente al frío.

En nuestro país se siembra asociada con otros cultivos, como maíz o frijol, donde la producción es principalmente de autoconsumo; y como unicultivo, destinándose el producto a los mercados más cercanos.

Esta leguminosa es un alimento de agradable sabor, muy apetecible así como de fácil digestión para el ser humano. Las vainas tiernas enteras se consumen en diversas regiones, pero generalmente el consumo es en grano tanto verde como seco, conteniendo en este último caso alto valor alimenticio, particularmente por su contenido de proteína, que alcanza hasta el 23.1% de su peso seco, y por sus vitaminas y minerales (Terranova, 1995) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química del haba

| COMPONENTES | HABA VERDE | HABA SECA |
|-----------------|------------|-----------|
| 100g | | |
| Agua | 65.7 | 9.9 |
| Proteínas | 9.9 | 23.1 |
| Grasa | 0.3 | 1.8 |
| Carbohidratos | 18.3 | 49.8 |
| Fibra | 4.5 | 8.4 |
| Cenizas | 1.3 | 2.9 |
| Mg | | |
| Calcio | 50.0 | 90.0 |
| Fósforo | 190.0 | 420.0 |
| Hierro | 20.0 | 4.9 |
| Tiamina | 0.29 | 0.61 |
| Riboflavina | 0.15 | 0.17 |
| Niacina | 1.6 | 2.5 |
| Acido ascórbico | 20.0 | 2.0 |
| Calorías | 130.0 | 297.0 |

Fuente: Terranova, 1995.

El haba también es empleada como forraje utilizando el rastrojo o la planta completa en verde, esta es una de las nuevas alternativas para la alimentación del ganado.

En México esta planta tiene uso en la medicina tradicional, en infusión de las flores y vainas tiernas, se les atribuyen propiedades diuréticas.

En México la superficie total sembrada bajo condiciones de temporal y riego en 1996 fue de 9,596 Ha para grano con una producción de 8,564 ton, obteniéndose un rendimiento de 0.907 ton/ha, mientras que para haba verde la superficie fue de 17,980 ha produciendo 55,674 ton con rendimiento de 3.105 ton/ha. Los principales Estados productores fueron: Veracruz, Tlaxcala, Puebla y México (SAGAR, 1997)(Cuadro 2).

Márquez (1998), considera aceptable el rendimiento de 0.907 ton/ha de haba en grano, debido a que se cultiva con nula tecnología, es atacada por plagas y enfermedades, y su cultivo tiene limitaciones socioeconómicas. El mismo autor menciona que en experimentos realizados con variedades de haba se ha tenido rendimientos de 1.2 hasta 7.5 ton/ha de haba en grano.

1.2. Origen y distribución

El haba (*Vicia faba* L.) está asociada con la región Mediterránea como lugar de origen. Su cultivo se extendió en esta región desde tiempos prehistóricos, los escritos atestiguan el cultivo del haba por los egipcios, griegos y romanos. Desde Europa Meridional, el haba se extendió a Asia y al Nuevo Mundo (América) con la llegada de los Españoles. El cultivo del haba fue principalmente un cultivo de regiones frías (Brintnall y Conner, 1986). Las dos terceras partes de la producción mundial se localizan en China, con grandes extensiones encontradas también en España, Gran Bretaña, Egipto, Etiopía, Moroco, Unión Soviética y Mesoamérica. El grano seco es la principal fuente de proteína de las poblaciones pobres de Egipto, Asia y región mediterránea (Hancock, 1992).

Cuadro 2. Superficie (Ha) y rendimiento (ton/Ha) de haba en grano y en vaina en México. Año agrícola 1996.

Haba en grano

| Estado | Superficie sembrada (Ha) | | | Rendimiento (ton/Ha) | | |
|-----------------|--------------------------|----------|-------|----------------------|----------|-------|
| | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal | Total |
| Aguascalientes | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| Baja California | 8 | 0 | 8 | 4 | 0 | 4 |
| Durango | 7 | 0 | 7 | 3.73 | 0 | 3.73 |
| Guanajuato | 4 | 0 | 4 | 2.5 | 0 | 2.5 |
| Hidalgo | 601 | 149 | 750 | 1.738 | 0.49 | 1.428 |
| México | 36 | 181 | 217 | 2.889 | 2.762 | 2.783 |
| Michoacán | 0 | 552 | 552 | 0 | 0.908 | 0.908 |
| Puebla | 0 | 1,383 | 1,383 | 0 | 0.879 | 0.879 |
| Tlaxcala | 101 | 2,148 | 2,249 | 1.149 | 0.81 | 0.825 |
| Veracruz | 15 | 4,294 | 4,309 | 1 | 0.774 | 0.775 |
| Zacatecas | 51 | 64 | 115 | 1.804 | 0.609 | 1.139 |
| Total | 825 | 8,771 | 9,596 | 1.742 | 0.843 | 0.907 |

Haba verde (vainas)

| Estado | Superficie sembrada (Ha) | | | Rendimiento (ton/Ha) | | |
|-----------------|--------------------------|----------|--------|----------------------|----------|-------|
| | Riego | Temporal | Total | Riego | Temporal | Total |
| Baja California | 69 | 0 | 69 | 5 | 0 | 5 |
| Dto. Federal | 0 | 363 | 363 | 0 | 4.123 | 4.123 |
| Durango | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 |
| Hidalgo | 87 | 80 | 167 | 0.425 | 1.3 | 1.725 |
| Jalisco | 3 | 0 | 3 | 8 | 0 | 8 |
| México | 1,910 | 1,905 | 3,815 | 0 | 0 | 6.063 |
| Michoacán | 506 | 276 | 782 | 3.824 | 2.75 | 5.774 |
| Morelos | 0 | 180 | 180 | | 5.517 | 5.517 |
| Puebla | 1,987 | 148 | 11,135 | | 0 | 1.47 |
| Tlaxcala | 997 | 413 | 1,410 | | 0 | 5.997 |
| Veracruz | 0 | 55 | 55 | | 2.436 | 2.436 |
| Total | 5,560 | 12,420 | 17,980 | 20.249 | 16.126 | 3.105 |

Fuente: Centro de Estadística Agropecuaria, SAGAR, 1997.

1.3. Clasificación taxonómica

El haba es una dicotiledónea de la familia de las leguminosas y se clasifica de la siguiente manera, de acuerdo a Terranova 1995:

Reino: Vegetal

División: Spermatophyta

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Dicotiledoneae

Orden: Rosales

Familia: leguminosae

Subfamilia: Papilionaceae

Tribu: Viciae

Sección: Faba

Género: *Vicia*

Especie: *fab* L.

Según Lagunas (1983), el género *Vicia* cuenta con aproximadamente 150 especies de las cuales se cultivan unas 10, distribuidas en regiones templadas y frías principalmente.

1.4. Descripción botánica

El haba es una leguminosa anual de tallo único, erecta, robusta y frondosa y sin pelos: normalmente su altura va de los 60 a los 180 cm, aunque existen formas enanas entre los 30 y 45 cm; suelen poseer una o más ramas basales. Al contrario de otros miembros del género *Vicia*, el haba común no tiene zarcillos. Presenta una raíz bien desarrollada, a veces, con ramas y muchas raíces laterales que sostienen racimos de nódulos pequeños y lobulados y que puede crecer horizontalmente antes de doblarse hacia abajo. Los tallos son erectos, duros y están huecos. Las hojas son alternas, pinnadas, con hojillas (2 a 6) nacidas sobre un largo peciolo. Las hojillas son enteras,

ovaladas, con una longitud de 5 a 7.5 cm y unidas al peciolo, que es acanalado, por pequeñas pulvínulas; generalmente son alternas y terminan en una pequeña punta o en un rudimentario zarcillo. Las flores, olorosas, (de 1 a 6) nacen en las axilas de las hojas y tienen unos 2.5 a 4 cm de longitud; son de color blanco mate, con una mancha púrpura sobre las alas. La floración progresa desde la parte baja hacia la alta y dura entre 14 y 20 días. La fertilización [polinización] cruzada oscila entre el 3 y el 50%, dependiendo del cultivo, del clima y de la actividad de los insectos. Su fruto es una vaina flexible, verde, con una longitud de 5 a 7.5 cm en los campos de cultivo y más de 30 cm en horticultura. Posee un pico puntiagudo y el cáliz tiene tendencia a persistir en su base. Su interior es blanco aterciopelado y se vuelve duro, correoso y arrugado cuando maduran. Las semillas, que son entre dos y seis, varían con el cultivo en forma, tamaño y color (INEGI, 1997).

1.5. Condiciones ambientales para el cultivo

1.5.1. Clima, temperatura y fotoperiodo

El haba es una hortaliza que se desarrolla en todos los climas, siendo principalmente de clima templado frío, como en los Valles Altos; así también como en clima templado cálido como en las zonas costeras mexicanas (INIFAP, 1993).

Nonnecke (1989), cita que esta leguminosa es un vegetal propio de las zonas templadas y su más notable característica es su gran resistencia al frío, soportando hasta 4°C bajo cero, siempre y cuando no sea constante.

Esencialmente es una cosecha subtropical o templada, que requiere durante el periodo de crecimiento una temperatura entre los 18 y 27°C para obtener rendimientos óptimos. Las temperaturas elevadas, particularmente durante la floración, provocan la caída de las flores e impiden el desarrollo de las semillas, además de agravar los problemas relacionados con enfermedades. Cuando crecen en trópicos húmedos se desarrollan bien, dan flores, pero no producen semillas. En las regiones templadas se cultivan los tipos de invierno y primavera. Las condiciones óptimas para los tipos de invierno son: inviernos bastante suaves, temperaturas medias de unos 2°C, sin heladas

prolongadas o fuertes, y primaveras y veranos secos y templados. Los tipos primavera necesitan una primavera templada con una época lluviosa moderada, seguida de un verano templado que acelera la maduración (Kay, 1979).

Con respecto a la duración del día, este cultivo se desarrolla mejor más rápidamente en condiciones de día largo (Guenkov, 1983); y Tamaro (1987), menciona que este cultivo requiere de 2300°C a 2940°C de calor.

Terranova (1995), señala que su periodo vegetativo es de 100 días para vainas verdes y hasta su total madurez (grano seco) abarca un periodo de 150 a 160 días.

1.5.2. Precipitación

El papel del agua en las plantas es de vital importancia, ya que interviene en todos los procesos fisiológicos (respiración, fotosíntesis, absorción de nutrientes, regulación de la temperatura).

Según Nadi, citado por Márquez (1998), el haba requiere entre 500 y 600 mm de precipitación pluvial para su desarrollo, enfatizando la importancia del régimen de humedad durante la aparición de los primeros brotes de yemas florales, ya que con la falta de humedad se adelanta la floración, sufriendo pérdidas en la producción y calidad; cabe mencionar también que durante el llenado de la vaina y grano no debe faltar humedad.

En caso de que la siembra sea en invierno, el INIFAP (1993), recomienda además del riego de presiembra (15 cm de lámina) aplicar 6 riegos de auxilio de 10 cm de lámina cada uno, para un total de 75 cm. Estos riegos deben ser frecuentes en tal forma que el terreno se mantenga con buena humedad, pero sin exceso de agua que favorece las pudriciones, y además que los riegos oportunos en invierno ayudan a disminuir el efecto de las heladas.

1.5.3. Altitud y latitud

De acuerdo a Saxena, citado por López Herrera (1992), *Vicia faba* L. se desarrolla muy bien desde el nivel del mar hasta más de los 2,000 metros sobre el nivel del mar y desde 9° latitud norte a más de 40° latitud norte.

1.5.4. Suelo

Las características del suelo son un factor que influye fuertemente en el desarrollo del cultivo del haba, aún cuando los suelos más deseables son los francos ricos en materia orgánica, el haba se adapta bien a otros tipos de suelos, incluso los muy pesados, dotados de buen drenaje y de buena retención de humedad. Así también, Maroto (1986), cita que el haba prefiere los suelos compactos mucho mejor que los ligeros y que es una planta relativamente tolerante a la sal.

En cuanto al pH, el haba se adapta a un amplio margen, normalmente de 6.5 a 7.5 (Wild, 1992).

1.6. Operaciones agrícolas

Para poder establecer el cultivo del haba sólo se requiere realizar un barbecho, una rastra, una nivelación y surcado del terreno. La nivelación es con fin de poder tener surcos homogéneos y evitar encharcamientos en el riego o agua de lluvia.

Los cuidados sucesivos a la siembra consisten por lo menos en dos escardas, con un pequeño recalce a la base del tallo para evitar el acame de las plantas, esto se hace cuando la planta alcanza una altura de 20 a 30 cm.

Evans (1983), reporta que el cultivo de haba, chícharo y otras leguminosas, la fertilización con nitrógeno no es una práctica usual por lo que el nitrógeno mineral que libera el suelo durante el crecimiento de la planta, junto con el que fijan los nódulos, es normalmente suficiente para sostener una tasa de crecimiento máximo.

El control de maleza se puede evitar eliminándola manualmente o mecánicamente con azadón cuando la maleza tenga 15 cm de altura o menos.

En cuanto a las plagas que atacan al haba las principales son: pulgón negro, pulgón verde y frailecillo, que atacan las partes aéreas tiernas, y el gusano de maíz, que ataca el grano antes de llegar a su estado seco; para su control se puede utilizar productos orgánicos disponibles a nivel comercial o preparaciones caseras a base de jabón, chile y ajo, por ejemplo, rotación de cultivos y una adecuada programación de la siembra.

Las enfermedades principales son originadas por virus como el mosaico y el "achaparramiento" del haba. La conservación del cultivo libre de insectos es la medida más eficiente para evitar el ataque a estas enfermedades. En cuanto a pudriciones por hongos que atacan al haba son *Rhizoctonia*, mancha púrpura, roya o chahuixtle y cenicilla. Algunas pueden prevenirse con los productos orgánicos comerciales o preparados caseros con ajo como ingrediente principal, un buen manejo del agua de riego y un buen drenaje, además de la rotación de cultivos.

La cosecha o recolección de haba en grano seco se lleva a cabo cortando las plantas cuando las vainas se vuelven de color oscuro dejándose en el campo por unas horas para después apilarse. En esta forma permanecen de una o dos semanas para que sequen bien antes de trillarlas. La trilla se hace a mano o en máquina, dependiendo de la extensión del cultivo; se limpia y encostala para proceder a su venta en la época oportuna (Delorit et al, 1986).

1.7. Siembra

1.7.1. Variedades

Debido a que a nivel nacional no se tiene dedicado un programa de investigación en los centros de investigación agrícola, no existen en el mercado variedades mejoradas por lo que solamente existe una gran cantidad de variedades criollas regionales para cada región de México.

SEDAGRO (1998), recomendaba para los Valles Altos la variedad mejorada V3 (comunicación personal); así también INIFAP (1993), recomendaba las variedades Jumbo y Faba para la zona de Ensenada, Baja California. Sin embargo, dichas variedades no

son producidas en cantidad suficiente para cubrir la demanda existente, a pesar de que el haba es una leguminosa con altos contenidos de proteína en seco o verde.

1.7.2. Época de siembra

El haba es cultivada ampliamente como un cultivo de invierno en regiones subtropicales (más de 1200 msnm); mientras que en áreas templadas es sembrada como cultivo de primavera, evitando así el periodo de heladas severas (Saxena, citado por López H., 1992).

A este cultivo se le encuentra desde el nivel del mar hasta 2,500 msnm, por lo que está expuesto a una gran variedad de regímenes fotoperiódicos y térmicos.

INIFAP (1993), sugiere que en los climas templados cálidos (Valles Costeros) y la zona templada del Bajío se siembren del mes de noviembre hasta enero, bajo condiciones de riego, en tanto que en clima templado frío como en Valles Altos sea sembrada al inicio de la época de lluvias, es decir, del mes de marzo a mayo.

El cultivo del haba en Valles Altos es como una opción para el periodo invernal, siempre y cuando se le programen las fechas de siembra de tal manera que no coincida la época de heladas con las etapas susceptibles, tales como la floración y llenado de grano. Otra de las ventajas es que en Valles altos durante el invierno no ocurren precipitaciones significativas, por lo que favorece su cultivo, ya que es una especie que no requiere mucha humedad edáfica (López H., 1992).

1.7.3. Métodos de siembra

El método de siembra depende de varios factores, tales como tipo de equipo disponible para la siembra de haba, la cual puede hacerse en "tierra venida", en plano o en surcos, y las labores de cultivo pueden efectuarse en forma semejante a la que se acostumbra para maíz, es decir, después de la germinación las plantas se aporcan para facilitar el riego así como para evitar el acame (INIFAP, 1993).

Si no se dispone de maquinaria, la siembra se puede llevar a cabo a mano o con tracción animal, como en el caso del maíz en algunas regiones, pero ya sea que se

efectúe con maquinaria o no, la distancia normal entre surcos es de 92 cm aproximadamente, lo que facilita la determinación de la densidad óptima de siembra al considerar sólo la variable distancia entre plantas.

En el caso de la profundidad adecuada, depende del tipo de suelo, las condiciones de humedad del suelo y el tamaño de las semillas. En suelos pesados la siembra debe ser superficial con una profundidad de 3 a 5 cm para disminuir la posibilidad de fallas en la germinación, pues dichos suelos tienden a formar una costra superficial después de lluvias fuertes. En los suelos migajones arenosos la siembra se efectúa en húmedo y la profundidad puede ser un poco mayor de 5 a 8 cm (Robles, 1981).

1.7.4. Densidad de siembra

La densidad de siembra puede considerarse como el número o cantidad de semilla a utilizar en una determinada unidad de superficie de un cultivo; esta puede variar de acuerdo a la cantidad de lluvia al año, fecha de siembra, fertilidad del suelo, preparación del terreno, método de siembra, características del cultivo y calidad de la semilla.

Generalmente, la densidad de siembra se aumenta cuando el terreno es de baja fertilidad y no abonados, mala preparación del terreno, siembra retrasada, terrenos con mucha maleza y uso de semillas con bajo porcentaje de germinación (Flores, 1990).

Zenteno (1998), determinó que la densidad de población es determinante, influyendo en el rendimiento final, debido a los procesos fisiológicos como la absorción de agua, absorción de nutrientes minerales y su traslocación y fotosíntesis.

Ibarra et al. (1980), señalan que cuando se tienen densidades de población bajas habrá más espacio sobre las plantas, el cual será invadido por malezas y así el ataque por insectos será más severo; por el contrario, si se tienen demasiadas plantas habrá mayor competencia entre ellas por luz, agua y nutrientes, generándose al mismo tiempo un microclima que favorece la presencia de enfermedades fungosas, y que la práctica de densidad de población es un componente de tecnología que afecta el rendimiento de las variedades.

Bidwell (1993), reporta que la competencia se da entre plantas por espacio para crecer y compiten por: a) Agua. La competencia entre plantas trae consigo un déficit de este elemento y minerales, a lo que las plantas con mayor capacidad de tener un sistema radical más extenso o más eficiente son las que probablemente compiten con éxito. b) Luz. La tolerancia a la sombra en plantas bajo competencia crea algunos mecanismos de defensa, uno de ellos es el evitar la sombra. Las plantas en las que está muy desarrollada la respuesta para incrementar la longitud del tallo y los entrenudos ante escasa luz, compiten exitosamente ante densas comunidades. Aquí el efecto nocivo de un tallo débil, delgado o alargado es mínimo, la necesidad primordial es alcanzar la mayor altura tan rápido como sea posible, c) CO₂ y d) Nutrientes. El mecanismo fisiológico consiste en una tasa de respiración disminuida, fotorrespiración más baja y acentuada eficiencia de fotosíntesis ante escasez de luz y baja concentración de CO₂, es decir, se eficientizan las materias primas.

El mismo autor, reporta que esta competencia generalmente es pasiva. Para que las plantas puedan competir con otras deben tener características fisiológicas que toleren las tensiones como sombra, sequía, limitación de nutrientes y presencia de contaminantes mediante un desarrollo más alto y rápido, área foliar más grande y más eficientes los radicales.

Torres Martínez (1990), en su trabajo sobre avena, estableció que no debe confundirse el efecto de la densidad de siembra con el efecto de la competencia, ya que el efecto de la densidad de siembra en ausencia de la competencia dará como resultado una reducción uniforme del tamaño de la planta, puesto que un mayor número de plantas están explotando el mismo medio ambiente y, por lo mismo, a cada una le corresponde una menor cantidad de factores necesarios para desarrollarse. Así también menciona que las plantas que al crecer soportan menos competencia, poseen un potencial de rendimiento más alto que las plantas con alta densidad.

Por lo tanto, las densidades de siembra son de gran importancia, ya que en algunos programas de cultivos se han hecho notar sus efectos; se ha comprobado que algunas densidades recomendadas, han sido basadas en densidades que no

corresponden a las siembras comerciales, esto es debido a que cada región agrícola de la República, y de acuerdo a sus condiciones ecológicas, el tipo de suelo y la semilla que se llega a sembrar, requiere de una población de plantas óptima que produzca el máximo rendimiento por unidad de superficie.

En el caso de *Vicia faba* L., actualmente a nivel nacional no se tiene dedicado un programa de investigación en los centros de investigación agrícola, por lo que la densidad de siembra debe ser objeto de múltiples investigaciones para de esta manera poder determinar la densidad óptima de este cultivo en diferentes regiones del país.

1.8. Rendimiento

1.8.1. Conceptos de rendimiento

Dentro de la producción agrícola se considera al rendimiento económico o agronómico como el peso del fruto por unidad de superficie por tiempo, y está en función del genotipo, ambiente que lo rodea y de la interacción de estos factores, manifestándolo a través de los procesos fisiológicos de la planta (Espinoza, 1993).

El rendimiento puede ser de dos tipos, según Wallace y Munger (citado por Rivas, 1988): el rendimiento biológico, que se refiere al total de materia seca que la planta acumula, y el rendimiento económico, que se refiere a la fracción de peso seco total que tiene un valor agronómico, que en el caso del haba es la semilla o grano.

Kohashi (1979), señala que el rendimiento biológico tiene su expresión morfológica en las estructuras de la planta: la raíz y los diferentes órganos aéreos. Por otro lado, el rendimiento económico (el cual es más conveniente denominar como rendimiento agronómico) tiene su expresión morfológica en el grano o semilla.

Yoshida (citado por Rivas, 1988), por su parte reporta que el rendimiento en grano o semilla de un cultivo es el resultado de una adecuada combinación de tres factores muy importantes que son: crecimiento vegetativo, la formación de órganos de reservas y el llenado de grano.

1.8.2. El rendimiento y su relación con la densidad

Rocha (1984), señala que la densidad afecta el rendimiento, presentándose dos relaciones al incrementar en amplias variaciones los valores de densidad de población: 1) Una asintótica, en la cual al incrementar la densidad, el rendimiento se eleva a un máximo y se mantiene relativamente constante a altas densidades. 2) Una relación parabólica, en donde los rendimientos se elevan a un máximo y después declinan a altas densidades.

El rendimiento está determinado, según Poehlman (1987), tanto por la capacidad de la planta para producir grano, como por su capacidad para continuar su producción cuando es sometida a condiciones adversas.

Aquellas plantas que al crecer soportan menos competencia poseen un potencial de rendimiento más alto que las plantas con alta densidad (Evans, 1983).

Escalante (1982) y López Carmona (1990), en trabajos correspondientes reportan que al reducir la distancia entre surcos y entre plantas se tiene una alta densidad de plantas, esto tiene efectos sobre la morfología de la misma, ocasionando la disminución de vainas por planta y además se incrementa la altura de la planta debido a la etiolación.

Costa (1981), por su parte estableció que las plantas en altas densidades sufren más temprano el desequilibrio fisiológico debido a sus vecinas, mientras que en plantas en bajas densidades lo hacen cuando tienen mayor desarrollo.

En forma general, se encuentra que a medida que aumenta el número de plantas por unidad de área de siembra disminuye el peso seco de la planta y, por ende, el rendimiento (Aguilar, citado por Zenteno, 1998).

Zenteno (1998), menciona que los procesos fisiológicos, como la absorción de agua, absorción de nutrientes minerales y su traslocación y fotosíntesis, influyen para el rendimiento final, interviniendo aquí de manera destacada la influencia de la densidad de población.

Robles (1981), menciona también que el espaciamiento y la profundidad de siembra son de considerable importancia, ya que están íntimamente relacionados con la nutrición, crecimiento y rendimiento del cultivo.

1.8.3 El rendimiento y su relación con la inoculación

El principal objetivo de la inoculación de la semilla como una forma de fertilización alternativa es sin duda la obtención de similares o mejores rendimientos promedio por unidad de superficie a un bajo costo, y los experimentos en esta línea de investigación siempre serán encaminados a cumplir dicho objetivo.

De acuerdo a lo anterior, Sheikh y Zidany (1998), indican que la inoculación con *Rhizobium* es una fertilización prometedora porque es barata, fácil de manejar y mejora el desarrollo de la planta y la calidad de la semilla.

En experimentos realizados en Minia, Egipto durante dos ciclos de cultivo de 1986-87 y 1987-88, Hussein et al (1991) evaluaron el mejor tratamiento para el control del Damping-off considerando el rendimiento, componentes del rendimiento, nodulación y contenido nutricional de la semilla de haba. Los resultados expresaron que el más alto rendimiento de semilla y peso de cien semillas fueron obtenidos cuando las semillas fueron tratadas con oxina-cobre e inoculadas con *Rhizobium*, comparado con otras combinaciones.

En otro experimento de cultivo de haba llevado a cabo en Shambat (Sudán), Sheikh y Zidany (1997) investigaron el efecto de la inoculación con *Rhizobium leguminosarum*, sulfuro, nitrógeno (40 ó 80 kg/ha) y gallinaza en la composición química y la proteína digerible in vitro (PDIV) de haba. En general los cuatro tratamientos incrementaron el contenido de proteína, PDIV y taninos. Los resultados de la inoculación fueron tan buenos como la adición de 40 kg/ha, sin embargo la diferencia entre los dos tratamientos radicaría en el costo de una y otra forma de fertilización y su repercusión en el ambiente.

Por su parte Desouky (1999), estudiando el cultivo de haba en Egipto de 1995-1996 utilizó una cepa local y obtuvo que la inoculación repercutió en un incremento significativo en el total de cosecha y rendimiento de la semilla.

2. Fijación simbiótica de nitrógeno

2.1. El nitrógeno

El nitrógeno (N_2) es el elemento más abundante en la atmósfera terrestre. Una de las grandes ironías de la naturaleza es que, la mayoría de los seres vivos, incluyendo todas las plantas y animales, son incapaces de utilizar directamente el nitrógeno diatómico (N_2), el cual conforma el 80% de la atmósfera, para sus procesos bioquímicos vitales. Sin embargo, como el N_2 es relativamente inerte, puede reaccionar con otros compuestos convirtiéndose en productos asimilables por las plantas y por otros organismos (Azcon-Bieto 1993, Bidwell 1993 y Reyna 1999).

El nitrógeno es un elemento indispensable y esencial para el crecimiento de todos los organismos (vegetal y animal), debido a que forma parte de numerosas biomoléculas, como las proteínas, ácidos nucleicos, porfirinas, vitaminas, clorofila y enzimas (CISFN, 1992 y Fuentes, 1994).

Azcon-Bieto (1993) y Reyna (1999), mencionan que el nitrógeno puede ser obtenido por las plantas o por el suelo por medio de (Figura 1):

- a) Fijación simbiótica: por bacterias de las leguminosas (*Rhizobium*).
Reducción de N_2 atmosférico a amonio.
- b) Fijación libre o nitrificación: no simbiótica por *Azotobacter*, *Clostridium* y algas.
- c) Adiciones por precipitaciones: agua de lluvia, nieve y descargas eléctricas de las tormentas. Oxidación.
- d) Aplicación de nitrógeno: fertilizantes químicos, estiércoles, plantas verdes.

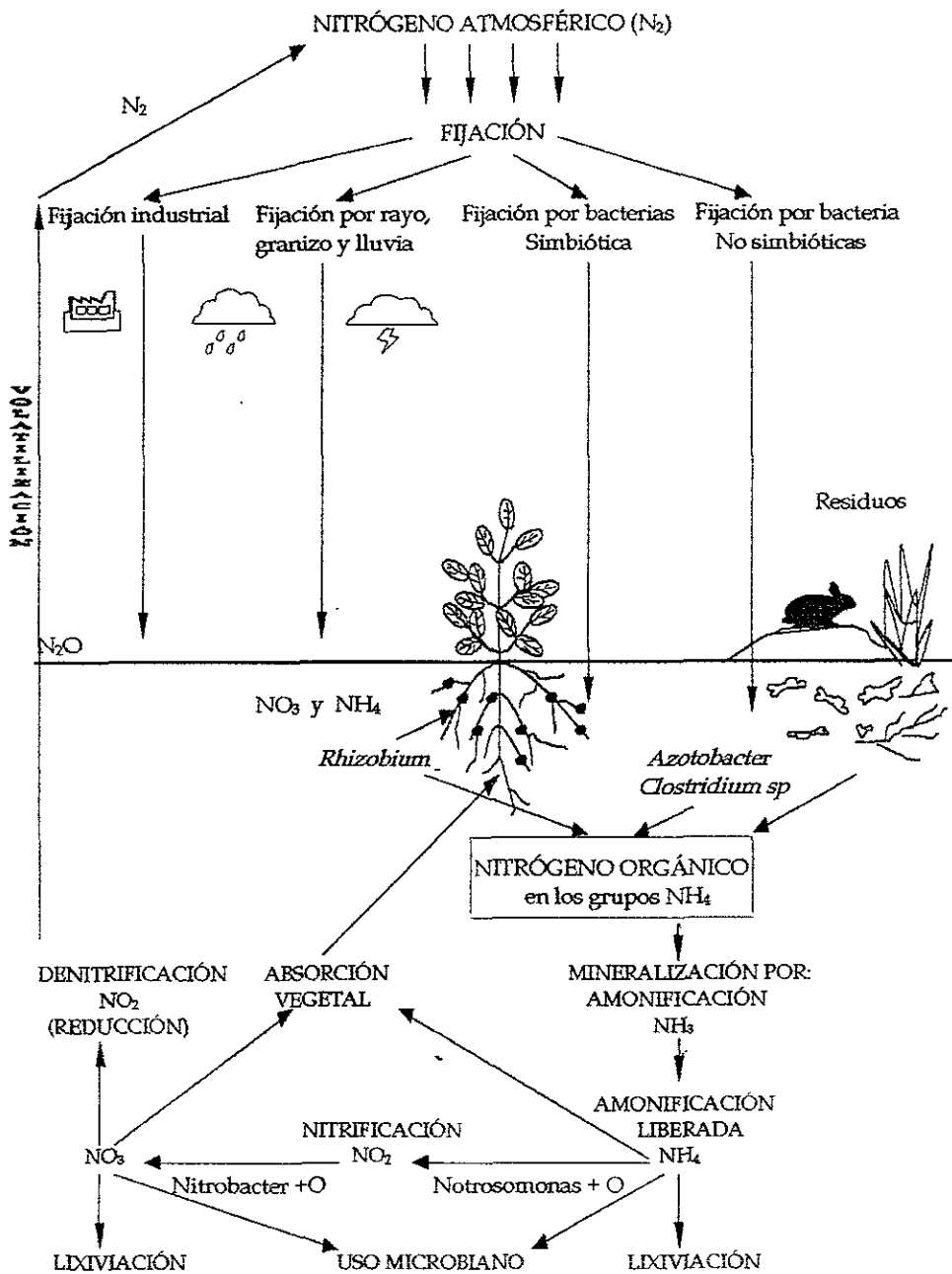


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en la naturaleza (Modificado de Porta et al, 1994).

En los dos primeros existe un número limitado de bacterias y algas que pueden llevar a cabo la reducción directa de nitrógeno a amonio (NH_4), en un proceso denominado fijación de nitrógeno.

De estos cuatro mecanismos, el primero, fijación simbiótica, ocupa un papel muy importante como fuente de nitrógeno, ya que este mecanismo es responsable de la mayor transformación de nitrógeno (N_2) en amonio (NH_4) (Castillo, 1999). Sin embargo, la cantidad de nitrógeno fijado puede variar dependiendo de la especie (Niftal, 1985)(Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de nitrógeno fijado por asociaciones leguminosa-*Rhizobium*.

| Nombre común | Nombre científico | N fijado |
|------------------------|-------------------------------|-----------|
| Leguminosas de grano | | kg/Ha/año |
| Haba | <i>Vicia faba</i> | 45 - 552 |
| Soya | <i>Glycine max</i> | 60 - 168 |
| Garbanzo | <i>Cicer arietinum</i> | 103 |
| Cacahuete | <i>Arachis hipogaea</i> | 72 - 124 |
| Chícharo | <i>Pisum sativum</i> | 52 - 77 |
| Frijol | <i>Phaseolus vulgaris</i> | 40 - 70 |
| Leguminosas forrajeras | | |
| Alfalfa | <i>Medicago sativa</i> | 229 - 290 |
| Leucaena | <i>Leucaena leucocephala</i> | 74 - 584 |
| Trébol subterráneo | <i>Trifolium subterraneum</i> | 207 |
| Trébol blanco | <i>Trifolium repens</i> | 128 |

Fuente: Niftal 1985.

Este razonamiento lo corrobora Corvera (1999), quien señala que todos los seres vivos son capaces de convertir el amoniaco en compuestos nitrogenados, pero solamente algunas bacterias son capaces de reducir el nitrógeno atmosférico a amoniaco. Este proceso de reducción del nitrógeno molecular por acción de microorganismos se conoce como fijación biológica de nitrógeno lo cual se lleva a cabo gracias a la acción de una enzima sensible al oxígeno llamada nitrogenasa.

2.2. Historia de las bacterias fijadoras de nitrógeno

Las relaciones entre las plantas y los microorganismos tienen una larga historia que se remonta por miles de años, cuando los vegetales iniciaron la conquista de la tierra firme. Las plantas más exitosas fueron aquellas que se asociaron con organismos con capacidad para fijar el abundante nitrógeno de la atmósfera. El intercambio biológico de estas especies, ha permitido que muchas plantas y organismos sobrevivan y evolucionen para dar forma al inmenso mundo vegetal que hoy conocemos.

Después de muchos siglos se descubrió que existen bacterias en los nódulos de las raíces de las leguminosas, y que estas viven en simbiosis con las raíces de la planta aportando a la misma y al suelo una gran cantidad de nitrógeno.

Aunque fue hasta 1837 en que Boussingault, Agrónomo y Químico francés que puso de manifiesto la capacidad que poseen las leguminosas para fijar nitrógeno libre de la atmósfera, así también, no fue hasta 1888 en que los fisiólogos alemanes Hellriegel y H. Willfarth, demostraron de manera indiscutible que solamente las leguminosas noduladas, son capaces de fijar N_2 atmosférico y que el lugar de la fijación se encuentra en los nódulos que resulta de la infección de las raíces por bacterias del suelo (Urbano, 1991).

El organismo causal responsable de la fijación de nitrógeno atmosférico fue aislado por primera vez por N.W. Beijerinck en 1888, quien lo llamó *Bacillus radicola*, que en la actualidad se le conoce como *Rhizobium* (Wild, 1992).

Frank y Cleon (1994), citan que dentro del reino vegetal las leguminosas representan la asociación nitro fijadora más importante en la agricultura y que hasta la fecha se han estudiado el 48% de los géneros de esta familia, de los cuales se ha comprobado que un 90% de éstas forman nódulos, y de ellas la cifra más elevada (80 a 90%) corresponde a las especies de la subfamilia *Papilionidae* (a la que pertenece el haba), intermedia (25%) para la *Mimosoideae* y frecuentemente sin nódulo las de las *Cesalpinoidea*.

En el proceso simbiótico leguminosa-*Rhizobium*, la planta huésped provee un hábitat de protección y carbohidratos para la bacteria a cambio de que ésta fije o

transforme el nitrógeno atmosférico en amonio (NH_4) que posteriormente la planta lo asimilará en forma de nitrógeno orgánico (Castillo, 1999).

El establecimiento de las asociaciones *Rhizobium*-leguminosa es muy específica y se da entre bacterias y leguminosas de especies particulares. Dentro de este marco, existen bacterias de amplio espectro de hospederos, las cuales nodulan a varias especies vegetales y las bacterias de espectro reducido, cuya infección está restringida a una sola especie o a unas cuantas (Castillos, 1999).

Numerosas investigaciones de infecciones han llevado a variar la clasificación del grupo de inoculación cruzada de las especies de *Rhizobium* en la edición de 1984 del *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Según Wild (1992) y Reyna (1999), las bacterias nodulares se dividen, en la actualidad, en dos géneros: el *Rhizobium*, que se caracteriza en nodular a las leguminosas de la zona templada y presentan crecimiento rápido, tienen un tiempo de generación de 2 a 4 horas y forman colonias entre 2 a 4 mm de diámetro en 3 a 5 días (con extracto de levadura y manitol); y un nuevo género, el *Bradyrhizobium*, que crece lentamente sobre extracto de levadura y manitol, tienen un tiempo de generación de 6 a 8 horas y forman colonias de 1 cm después de 7 a 10 días y cuyos miembros nodulan a las leguminosas de la zona tropical, aunque también pueden nodular algunas de la zona templada. El género *Rhizobium* tiene en la actualidad tres especies: *R. leguminosarum*, *R. loti* y *R. meliloti*. Dentro de la especie *R. leguminosarum* se reconocen tres biovars (variedades) denominadas *viceae*, *trifolii* y *phaseoli*. El género *Bradyrhizobium*, hasta ahora, solo tiene una sola especie, *B. japonicum*, y no se ha identificado biovars.

Aunque el sistema primitivo de clasificación basados en grupos de inoculación cruzada presentaba inconvenientes y contradicciones, no puede admitirse, sin más, que la nueva clasificación sea mejor o más clara. El cuadro 4, muestra en forma resumida, la relación entre las clasificaciones nueva y antigua, según Wild (1992).

Cuadro 4. Relación entre la nueva y antigua inoculación cruzada leguminosa – *Rhizobium*.

| Antiguas especies | Especies inoculadas | Nombre vulgar | Nuevas especies |
|-------------------------------|---|---|--|
| <i>R. leguminosarum</i> | <i>Pisum</i> <i>Lens</i> <i>Vicia</i> <i>Cicer</i> | Chícharo Lenteja Haba Veza Garbanzo | <i>R. leguminosarum</i> <i>R. leguminosarum</i> <i>Biovar viceae</i> <i>Biovar viceae</i> <i>Biovar viceae</i> |
| <i>R. phaseoli</i> | <i>Phaseolus</i> | Frijol | <i>Biovar phaseoli</i> |
| <i>R. trifolii</i> | <i>Trifolium</i> | Tréboles | <i>Biovar trifolii</i> |
| <i>R. meliloti</i> | <i>Melilotus</i> <i>Medicago</i> <i>Trigonella</i> | Meliloto Alfalfa Alholva | <i>R. meliloti</i> <i>R. meliloti</i> <i>R. meliloti</i> |
| <i>R. lupini</i> | <i>Lupinus</i> <i>Lotus</i> | Altramuz Loto | <i>Bradyrhizobium sp</i> <i>R. loti</i> |
| <i>R. japonicum</i> | <i>Glycine</i> | Soya | <i>Bradyrhizobium japonicum</i> |
| <i>Grupo tropical o caupí</i> | <i>Vigna</i> <i>Arachis</i> | Caupí Cacahuete | <i>Bradirrhizobium sp.</i> <i>Rhizobium sp.</i> |

Fuente: Wild, 1992.

2.3. Taxonomía y morfología del *Rhizobium leguminosarum* Frank

De acuerdo a Krieg, Noel et al (1984), basados en la clasificación dada en el *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, la clasificación es la siguiente:

Reino: Protista

División: Protophyta

Clase: Schizomicetes

Orden: Eubacteriales

Suborden: Eubacteriineae

Familia: Rhizobiaceae

Género: *Rhizobium*

Especie: *leguminosarum* Frank.

Azcon- Bieto (1993) y Reyna (1999), describen morfológicamente a este organismo como bacteria gram-negativa, aerobia, de forma normalmente bacilar, de 0.5 a 1.0 micras de ancho y de 1.2 a 3.0 micras de largo. No son formadoras de esporas. Son móviles por la presencia de un flagelo polar o subpolar, o de dos a seis flagelos peritricos. Su metabolismo es heterótrofo y puede utilizar una gran variedad de azúcares como fuente de carbono.

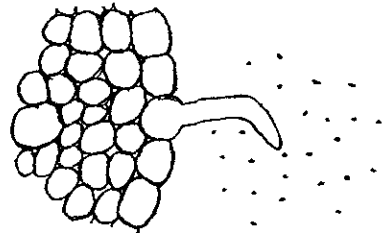
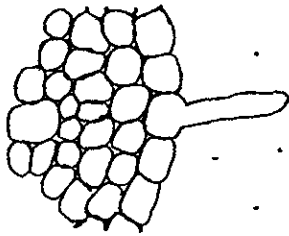
2.4. Proceso de infección y fijación de nitrógeno

Se ha observado que para que las plantas sean noduladas por las bacterias, éstas deben proceder del exterior (inoculación de la semilla) o estar presentes en el suelo. En ambos casos, las bacterias se deben establecer en las células de los tejidos de las raíces de la planta huésped.

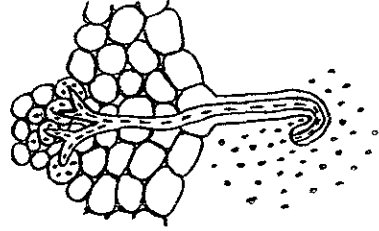
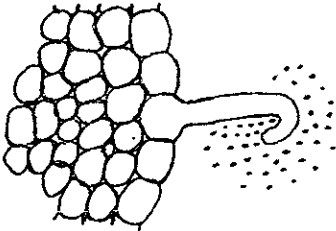
El proceso se caracteriza por el ataque de la bacteria a las raíces de la leguminosa, produciendo una infección que se manifiesta por la formación de nódulos. La planta controla el proceso de infección –resistiendo a la infección microbiana– realizándose en varias fases, que pueden caracterizarse como sigue, de acuerdo a Urbano (1991), Azcon-Bieto (1993) y Reyna (1999) (Figura 2):

2.4.1. Preinfección

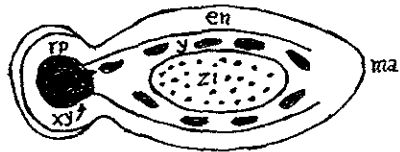
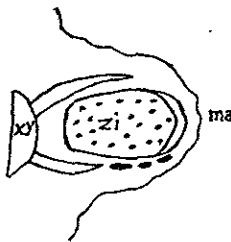
Es la modificación que ocurre en ambos simbios (planta y bacteria) antes de que se realice la infección propiamente dicha. En la raíz se multiplican rápidamente los rizobios presentes en la zona de la rizosfera motivado por la composición química de los exudados de la raíz de la leguminosa, tal es el caso de la secreción de la homoserina, azúcares, aminoácidos, enzimas y vitaminas, ya que estos son una excelente fuente de carbono y nitrógeno para *Rhizobium leguminosarum* Frank; las bacterias de *Rhizobium* son atraídas hacia la superficie radical mediante quimiotaxis o quimiotácticamente, así como por la presencia de corrientes eléctricas endógenas de las raíces.



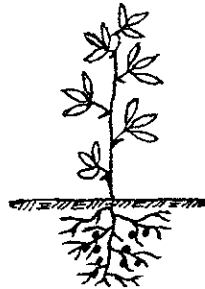
a) Preinfección y adhesión: Aglomeración de Rhizobias alrededor del pelo radical.



b) Infección: Curvatura del pelo radical; formación del cordón de infección que progresa hacia la célula basal.



c) Desarrollo y madurez nodular: División celular y formación del nódulo.



d) Planta infectada presenta nódulos bien desarrollados.

Zi: zona infectada; v: sistema vascular; en: endodermis del nódulo; ma: zona meristemática; rp: raíz primaria; xy: xilema.

Figura 2: Proceso infectivo de la bacteria y formación del nódulo. (Hopkins, W. G. 1999).

2.4.2. Adhesión

La adhesión de la bacteria a la raíz se debe a dos tipos de moléculas: lectinas y glicoproteínas sin actividad enzimática producidas por la planta, y polisacáridos de la pared celular de la bacteria; algunas sustancias son hormonas que inducen el crecimiento de las raíces de absorción.

2.4.3. Infección

La infección se lleva a cabo en los pelos de las raíces, las bacterias penetran a través de la pared celular, quedando envueltas en una estructura tubular, y es así como las bacterias invaden la planta huésped. A continuación se produce una deformación de los pelos radiculares que consiste en una curvatura más o menos pronunciada del pelo. En este retorcimiento quedan englobadas algunas bacterias que se alinean en forma de cordón, conocido como cordón de infección, que progresa hacia la célula basal del pelo absorbente.

2.4.4. Desarrollo y madurez nodular

El cordón o hilo de infección formado por las bacterias induce la proliferación y división de las células de la corteza, liberándose los bacteroides (*Rhizobios*) del hilo de infección en los tejidos corticales de la raíz y multiplicándose en el citoplasma de dichas células. La liberación de los bacteroides de los cordones de infección es un requisito esencial para la fijación de N_2 . La proliferación de las bacterias hace que la célula huésped comience a dividirse distribuyendo los bacteroides a las células hijas de las sucesivas divisiones. La repetida división celular empuja hacia fuera el parénquima, produciendo un embolsamiento o membrana envolvente de la raíz que conocemos como nódulo o simbiosoma rellenas de microbios. La membrana envolvente del nódulo contiene material de tres orígenes: cordón de infección, retículo endoplásmico y síntesis de novo de membrana por el aparato de Golgi.

Los nódulos radiculares de las leguminosas difieren en tamaño y forma, así como su eficiencia para fijar nitrógeno.

Por lo general, los bacteroides se encuentran en el citoplasma en grupos, cada uno rodeado por una membrana celular denominada membrana peribacteroidea. Entre esta membrana y el grupo de bacteroides, en el citosol, se encuentra una proteína conocida como leghemoglobina, que es un pigmento que colorea de rojo o rosa la zona afectada (la coloración se considera como un nódulo eficaz siempre y cuando esté grande y concentrado en la raíz principal). La naturaleza de este pigmento es parecido a la de la hemoglobina y por esta razón Virtanen en 1946 le denominó leghemoglobina.

La leghemoglobina le proporciona oxígeno a los bacteroides a tasas muy controladas para su respiración, pero demasiado oxígeno desactiva a la enzima que cataliza la fijación de nitrógeno.

De este modo, las leguminosas, las bacterias, y los nódulos, constituyen el sistema para éste tipo de fijación de nitrógeno.

A partir de aquí se inicia la fijación de nitrógeno atmosférico por los nódulos de las leguminosas

Las bacterias sufren profundas alteraciones morfológicas y fisiológicas. Estas formas adaptadas a la vida simbiótica, llamadas bacteroides, adquieren la capacidad de fijar nitrógeno molecular por la actividad nitrogenasa y determinados citocromos.

Para que una leguminosa fije eficientemente N_2 debe estar bien nodulada, tener tasas fotosintéticas y respiratorias elevadas, encontrarse en condiciones ambientales adecuadas y poseer un sistema vascular eficaz en el transporte de los productos de la fijación fuera del nódulo para su posterior distribución a otros tejidos de la planta.

La fijación biológica del N_2 (reducción) a amonio (NH_4) en los nódulos radicales se efectúa dentro de los bacteroides. La planta hospedante proporciona al bacteroide carbohidratos (fuente original de electrones y protones) que se forman primero en las hojas durante la fotosíntesis, y que después se traslocan hacia los nódulos radicales a través del floema. La leghemoglobina lleva oxígeno a los bacteroides a tasas muy controladas, ya que demasiado oxígeno desactiva a la enzima que cataliza la fijación de nitrógeno, pero se necesita cierta cantidad de oxígeno para la respiración del bacteroide.

La reducción de N_2 a amonio es catalizada por el complejo multienzimático nitrogenasa y requiere de Mg, ATP, un dador de electrones tipo ferredoxinas o flavodoxinas (agentes reductores) y una concentración baja de O_2 . En condiciones fisiológicas los electrones son utilizados para reducir N_2 a NH_4 y, en menor cuantía, H a H_2 . Sin embargo, la enzima puede catalizar la reducción de otros sustratos como acetileno, cianuro, azida, hidrazina, óxido nitroso y ciclopropeno.

La nitrogenasa de los bacteroides consta de dos proteínas distintas: una ferroproteína (Fe-proteína) (dinitrogenasa reductasa), que es reducida por el dador de electrones y que enlaza al complejo ATP-Mg; otra Ferromolibdoproteína (Fe-Mo-proteína) (dinitrogenasa), que es reducida por la Fe-proteína y que reduce a su vez al sustrato. Tanto hierro como molibdeno se reducen y después se oxidan cuando la nitrogenasa acepta electrones de la ferredoxina y los transfiere al N_2 para formar NH_4 . Como consecuencia inevitable de la actividad nitrogenasa se forma H_2 por reducción de H que es otro sustrato natural del enzima, lo que supone una merma de la eficiencia energética de la fijación de N_2 , pero algunas bacterias expresan actividad hidrogenasa, capaz de reciclar parcialmente o totalmente el H_2 desprendido.

El NH_3 (tal vez en forma de NH_4) se trasloca fuera de los bacteroides antes de que pueda ser metabolizado por completo y utilizado por la planta hospedante. En el citosol de las células que contienen bacteroides, el NH_4 asimilado se transforma en amidas o ureidos, estos compuestos son exportados desde los nódulos a la parte aérea de la planta por el xilema de la raíz y el tallo. Dichos compuestos se degradan (en gran parte en las hojas) para formar otra vez NH_4 , y el nitrógeno se incorpora rápidamente en aminoácidos, amidas y proteínas. Las leguminosas de origen templado como haba, chícharo, alfalfa y trébol, exportan el nitrógeno en forma de las amidas glutamina, asparagina y ácido glutámico. Las leguminosas de origen tropical y subtropical como la soya, judía y varias especies de frijol, exportan el nitrógeno en forma de los ureidos alantoina, ácido alantoico y citrulina. Una excepción es el cacahuate, una leguminosa tropical que exporta 4-metilglutamina.

Por lo tanto, la cantidad de nitrógeno fijado es directamente proporcional al volumen de los tejidos infectados, es decir, cuanto más numerosos y de mayor tamaño sean los nódulos mayor será la fijación de nitrógeno. Este nitrógeno fijado emigra rápidamente hacia las partes de la planta de mayor actividad vegetativa. Bastan algunas horas para que se realice la transferencia del nitrógeno fijado.

Se ha comprobado que los factores que favorecen la fotosíntesis, como son, valores elevados de humedad, temperatura, luz solar y niveles de CO₂, estimulan la fijación de nitrógeno. En consistencia a esto, la fijación de nitrógeno es máxima hacia el mediodía, debido a la rapidez con que ocurre la traslocación de azúcares de las hojas a los nódulos. Las horas del atardecer son momentos en que la respiración se realiza con rapidez y la corriente de transpiración ayuda a eliminar compuestos nitrogenados de las raíces y nódulos radicales.

El estudio de crecimiento también influye en la fijación de nitrógeno. La soya, chícharo, cacahuete - y se cree también que el haba- presentan tasas de fijación máxima después de la floración, cuando aumenta la demanda de nitrógeno en semillas y frutos en desarrollo. Estas especies como es común en leguminosas, tienen semillas muy ricas en proteínas. Cerca del 90% de la fijación de nitrógeno en estas especies se efectúa durante el periodo de desarrollo reproductivo, y como el 10% durante los dos primeros meses de crecimiento vegetativo. Esto es muy importante a que el rendimiento de un cultivo depende marcadamente de la disponibilidad de nitrógeno en las etapas críticas del desarrollo de las plantas.

2.4.5. Degeneración nodular o senescencia

Como se ha mencionado, la fijación de nitrógeno va estrechamente relacionado con la presencia de leghemoglobina. Se inicia el proceso cuando aparece ésta y concluye cuando desaparece. Por lo tanto, la pérdida o disminución en la capacidad fijadora de N₂ es una característica de la senescencia, tanto natural (envejecimiento) como inducida, de los nódulos.

La senescencia inducida por estrés es la caída de la respiración nodular como consecuencia de un aumento de la resistencia a la difusión de O_2 . Esta senescencia se debe por lo común a: déficit hídrico, inundación, baja temperatura, nitrógeno combinado (NO_3), salinidad, defoliación o menor suministro de fotosintetizados, y oscuridad continua.

Por otra parte, la senescencia natural es el proceso de destrucción nodular por muerte de las células infectadas y desaparición de la leghemoglobina. Hay una destrucción de la membrana envolvente y se liberan los bacteroides que pasan al suelo, adquiriendo de nuevo la forma de bacteria normal.

Urbano (1991) y Torres Cossio (1992), reportan que se ha comprobado que durante la emigración del nitrógeno fijado hacia las partes de la planta por el xilema, aparecen componentes nitrogenados en las excreciones radicales. En función de la cantidad de nitrógeno fijado es posible que hasta un 50% de éste aparezca en la rizosfera de la planta como consecuencia de su excreción. Tanto el nitrógeno transferido a otros órganos de la planta como el eliminado por excreción radicular, se encuentra en forma de aminoácidos o de amidas, especialmente asparagina. Una parte del nitrógeno fijado queda retenido en los nódulos y aparecerá en el suelo más tarde, cuando las raíces mueran y se descompongan. Este nitrógeno nodular se encuentra combinado en forma orgánica y necesitará, al igual que el nitrógeno excretado, el proceso de mineralización para poder ser absorbido por las plantas.

2.5. Factores que limitan la fijación simbiótica de nitrógeno

2.5.1. Relación leguminosa-*Rhizobium*

Se sabe que ni los *Rhizobium*, ni las leguminosas son capaces de fijar nitrógeno separadamente. El establecimiento de la asociación leguminosa-*Rhizobium* es muy específico y se da entre bacterias y leguminosas de especies particulares, por lo que se dividen en grupos de inoculación, de acuerdo a las especies en las que producen nódulos (Castillo, 1999)(Ver cuadro 3).

2.5.2. Humedad del suelo

No convienen excesos ni defectos de humedad del suelo. El óptimo se sitúa en niveles próximos a la capacidad de campo y el mínimo, a partir del 50 - 60% del agua utilizable (Urbano, 1991). La falta de agua en el suelo causa daños irreversibles en el nódulo y, un exceso de humedad limita la aireación, por lo que la planta desarrolla más espacios intercelulares (aerénquima) para contrarrestar, aparentemente, el déficit de oxígeno (Azcon- Bieto, 1993). Wild (1992), menciona que las bacterias de *Rhizobium* tienen escasa capacidad para soportar la desecación, y tienden a perecer más rápidamente en los suelos arenosos pobres en materia orgánica que en los que presentan altos contenidos en arcilla o en compuestos orgánicos.

2.5.3. Aireación

Puesto que los *Rhizobium* son aerobios y las raíces necesitan, asimismo, respirar, conviene un suelo mullido y bien aireado. Se señala que es necesario, al menos, una presión parcial de oxígeno del 40 - 50% (Urbano, 1991). Wild (1992), cita que las plantas de leguminosas que están bien noduladas necesitan más aporte de oxígeno a sus raíces.

2.5.4. pH del suelo

El óptimo se sitúa entre 6.5 y 7.2. Algunas especies, razas e, incluso, cepas de *Rhizobium*, están adaptadas para tolerar valores muy bajos de pH (3.5 a 4). En condiciones normales, valores de pH inferiores a 5 o superiores a 7.5, representan un fuerte obstáculo para la actividad fijadora de la simbiosis (Urbano, 1991).

2.5.5. Temperatura

La temperatura óptima es de alrededor de 24°C. Decae por debajo de 20°C y por encima de 30°C. El cultivo de leguminosas en épocas frías o excesivamente calurosas exige la utilización de mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados (Urbano, 1991 y Alexander, 1989).

2.5.6. Presencia de elementos nutritivos

La alimentación de las bacterias y de las leguminosas requiere la presencia de fósforo, calcio, azufre y magnesio, en el suelo. La falta de alguno de estos elementos en forma fácilmente asimilable, reduce, asimismo, la fijación (Urbano, 1991).

2.5.7. Presencia de determinados oligoelementos

Además de las necesidades que con carácter general están determinados para todos los oligoelementos esenciales, se han detectado acciones muy específicas correspondientes al molibdeno ya que es un componente esencial de la nitrogenasa y el cobalto es esencial para la formación de leghemoglobina. Así mismo, se ha comprobado cómo la carencia de boro perturba el funcionamiento del nódulo (Urbano, 1991 y Wild, 1992).

2.5.8. Agroquímicos

Muchos desinfectantes de la semilla son tóxicos para la bacteria de las leguminosas, aunque algunas tienen un alto grado de tolerancia si se toman ciertas prevenciones. Las semillas tratadas con insecticidas y fungicidas para protegerlas contra insectos y microorganismos del suelo durante la germinación y crecimiento de la planta se inoculan haciendo una pasta con el inoculante y mezclándolo lentamente con la semilla. Si las semillas se siembran en dos horas se puede efectuar la nodulación exitosa (Metcalfe, 1987). El mismo autor reporta que cuando se inoculan las semillas tratadas químicamente, los *Rhizobium* pueden ser afectados adversamente por los productos aplicados, en tal caso se recomienda inocular al suelo y no a la semilla. También menciona que los herbicidas son materiales tóxicos para la bacteria.

Alexander (1989), cita que los fertilizantes no deben entrar en contacto con la semilla inoculada de la leguminosa. Los fosfatos no son tan perjudiciales como el nitrógeno o el potasio. Si la concentración o cantidad de fertilizante aplicado en la hilera con la semilla no es suficiente para que afecte a la germinación, no será perjudicial a la bacteria de la leguminosa aplicada a la semilla. Corvera (1999) y Luna-Rodríguez (1995), mencionan que en un ambiente rico en nitrógeno combinado (nitrato, ureico, nitrato de

amonio y amídico) reduce en forma muy importante la nodulación y consecuentemente el proceso de fijación biológica de nitrógeno.

2.5.9. Presencia de bacteriófagos

En el suelo pueden existir virus, parásitos de los *rhizobios*, que originan su muerte. En estos casos, la posibilidad de infección se reduce mucho y el rendimiento nitro fijador es muy bajo. El empleo de cepas de *Rhizobium* resistentes y la inoculación con cultivos de *Rhizobium* jóvenes suelen ser los procedimientos de lucha contra el bacteriófago (Urbano, 1991).

2.6. Criterios de una buena cepa inoculante

Los principales criterios de una buena cepa inoculante son los siguientes (Revisado en Bliss y Hardarson, 1993):

- a) Fijación de N_2 efectivo sobre un rango de condiciones ambientales.
- b) Habilidad competitiva ante otras cepas.
- c) Habilidad de multiplicación en caldo y sobrevivencia en turba.
- d) Sobrevivencia en semillas peletizadas.
- e) Persistencia en el suelo.
- f) Habilidad para migrar en el suelo y colonizar a las raíces.
- g) Habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales adversas.
- h) Estabilidad de la cepa durante almacenaje.
- i) Nodulación y fijación de N_2 en presencia de nitrógeno del suelo.

2.7. Métodos de inoculación

Una de las alternativas para incrementar la producción de leguminosas es la utilización de inoculantes con microorganismos fijadores de nitrógeno como el *Rhizobium*.

Metcalfé (1987), indica que para que las plantas de las leguminosas tengan éxito, fijen nitrógeno atmosférico y mejoren los suelos, es necesario que tengan la clase eficaz

de bacterias nodulares en el suelo, y agrega que no hay forma de determinar si las bacterias específicas al nódulo se encuentran en el suelo.

Cuando la clase o cepa específica de la bacteria que forma los nódulos no está en condiciones adecuadas como calidad o cantidad o no está presente en el suelo, es necesario introducirla.

Actualmente ya se producen comercialmente cepas de *Rhizobium* como inoculantes efectivos para ciertos cultivos de leguminosas. Cerrato y Rodríguez (1993), reportan que la calidad de un inoculante se refleja en dos características, una cuantitativa, que consiste en el número de *Rhizobium* adecuado que debe tener el inoculante, y la otra cualitativamente, que es el tipo de cepa que contiene este inoculante, y que debe tener una fijación de nitrógeno eficaz, además de otros atributos ecológicos como son competencia y sobrevivencia en el suelo.

La inoculación de la semilla no es complicado, como podría pensarse, basta con la aplicación de las bacterias fijadoras de nitrógeno a la semilla o al suelo antes o en el momento de la siembra, con la cepa adecuada de *Rhizobium*.

El tipo más común que se vende comercialmente es el inoculante basado en la turba polvosa que se aplica a la semilla antes de la siembra.

Otra forma disponible son los cultivos líquidos, debiendo aplicarse con adherente químico, miel natural, miel de piloncillo o melaza.

Una más son los inoculantes granulares, estos se adicionan al suelo en bandas, sobre el surco, al momento de la siembra.

De esta manera la bacteria ayudará a la planta a obtener el nitrógeno que necesita, favoreciendo con esto mejores rendimientos, además permite reemplazar el uso de fertilizantes químicos que es un proceso contaminante y altamente consumidor de energía.

De acuerdo con Reyna (1999), muchas son las versiones sobre las bacterias nodulares que existen en el suelo después de haber utilizado inoculantes durante la siembra de alguna leguminosa, sin embargo es importante saber que la bacteria es sumamente delicada y un gran número de las que quedan en el suelo después de la

cosecha mueren antes de que sea tiempo de sembrar otra vez, y además la bacteria que llega a permanecer se dispersa ampliamente en el suelo y puede llegar a suceder que las raíces no la encuentre a tiempo para que realice su labor. En contraste, cuando se aplica el inoculante directamente sobre las semillas, millones de bacterias efectivas están inmediatamente disponibles para generar nódulos rápidamente.

2.8. Importancia agronómica

La importancia de la inoculación de las semillas, así como la asociación leguminosa-*Rhizobium*, radica en la capacidad potencial que presenta para suplir los fertilizantes nitrogenados, enriquece los suelos de este elemento, y por lo tanto, reduce los gastos de producción, tanto para cultivos forrajeros como alimenticios que tanta demanda hay en estos tiempos.

Cubero (1983), indica que la fijación de nitrógeno en las leguminosas tiene un gran interés agronómico porque es un medio económico de mantener o aumentar el contenido de nitrógeno del suelo.

Algunos investigadores, señalan que la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico a través de las leguminosas, es tal vez el factor esencial por el cual este elemento ingresa a la biosfera y es la causa fundamental para el mantenimiento de la fertilidad nitrogenada en la agricultura.

La fijación biológica de nitrógeno ha contribuido al desarrollo de la agricultura, ayudando el crecimiento adecuado de la leguminosa, sin necesidad de aplicar abonos nitrogenados al suelo.

La inoculación es tan importante que algunos investigadores han optado por llamar a los inoculantes como fertilizantes biológicos, que ayudan a la planta a obtener el nitrógeno que necesita, cuando lo necesita, favoreciendo con esto altos rendimientos.

La inoculación supone las siguientes ventajas:

- Aumenta el rendimiento de las cosechas
- Mejora la calidad de los productos cosechados

- Ayuda a la producción de materia orgánica que se usa como abono verde
- Incrementa la fertilidad del suelo
- Disminuye la demanda de las leguminosas sobre el nitrógeno del suelo
- Prevención del agotamiento del nitrógeno del suelo
- Se aprovechan los suelos de baja fertilidad
- Ahorro de fertilizantes nitrogenados

Por lo tanto, la utilización de esta técnica representa una alternativa económica y ecológicamente limpia frente a la fijación química. Además, la fijación biológica desempeña un papel muy importante en la economía del nitrógeno en la práctica agrícola, ya que la cantidad de nitrógeno disponible en la mayoría de los suelos cultivados es baja y en la actualidad no puede ser suplementada a escala mundial por la producción de fertilizantes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Caracterización de la zona

1.1. Ubicación geográfica:

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se encuentra ubicada en la cuenca del Valle de México, al norte de la cabecera del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (Figura 3).

El municipio de Cuautitlán Izcalli, se extiende aproximadamente entre los paralelos 19°37' y los 19°45' de latitud norte y entre los meridianos 99°07' y 99°14' de longitud oeste; limita al norte con los municipios de Tepotzotlán y Teoloyucan, al sur con los municipios de Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al este limita con los municipios de Cuautitlán México y Tultitlán, y al oeste con los municipios de Tepotzotlán y Nicolás Romero (INEGI, 1997 a).

La altitud media que se reporta para el municipio y para el área de estudio es de 2250 msnm (FAO-DETENAL, 1981).

1.2. Características climáticas.

De acuerdo al sistema de clasificación climática Köpen modificada por García (1987), el clima para la región de Cuautitlán corresponde al C(Wo)(W)b(i'') templado, siendo el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano, el invierno seco (menos del 5% de la precipitación anual) con verano largo y fresco, temperatura extremosa con respecto a su oscilación.

La temperatura media anual es de 15.7°C y se presenta con una oscilación media mensual de 6.5°C, siendo enero el mes más frío con 11.8°C en promedio, y junio el mes más caliente con una temperatura promedio de 18.3°C. La temperatura máxima es de 26.5°C durante el mes de abril seguido por mayo y junio; la mínima promedio es de 2.3°C en enero y 2.9°C en febrero, aunque se pueden presentar temperatura bajo cero durante las noches o al amanecer en estos meses.

ESTADO DE MÉXICO

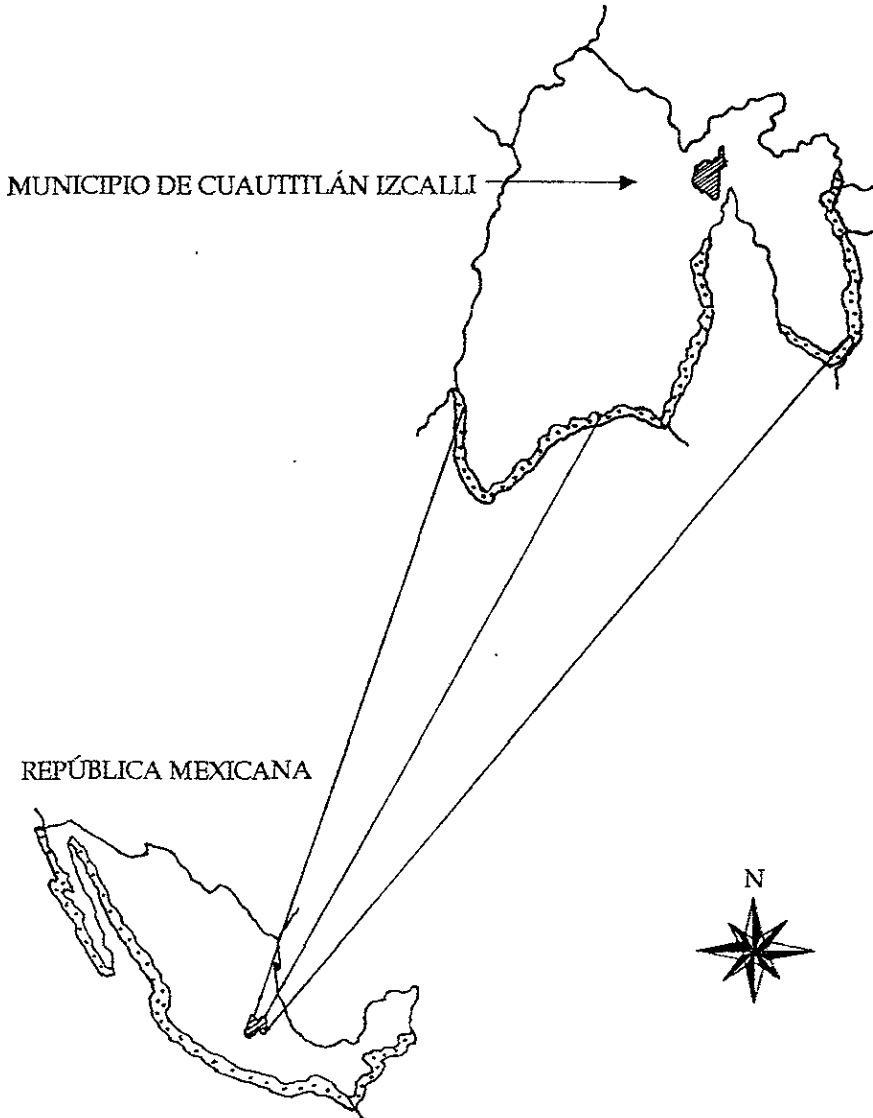


Figura 3: Ubicación geográfica donde se llevo a cabo el experimento

La zona presenta un régimen de lluvia de verano, concentrándose entre los meses de mayo a octubre, con invierno seco. La precipitación media anual es de 605 mm, siendo julio el mes más lluvioso con 128.9 mm y febrero el mes más seco con 3.8 mm. La probabilidad de lluvia de esta zona es menor al 50% por lo que es indispensable contar con riego.

En esta zona el promedio anual de días con heladas es de 64 y se considera alto, iniciándose generalmente la temporada de heladas en octubre y terminando en la primera quincena de abril, siendo más frecuente durante los meses de diciembre, enero y febrero. Pueden presentarse tempranas entre el 8 y 10 septiembre y heladas tardías hasta el mes de mayo. La frecuencia de granizadas en la zona es muy baja y se pueden presentar principalmente durante el verano.

El promedio de horas frío en esta zona oscila entre 800 y 820 al año; su mayor frecuencia se presenta en enero (238) y la menor en noviembre (170).

La constante térmica o grados calor en la zona es en promedio de 1,250° calor anualmente y su mayor concentración se obtiene en los meses de junio, julio y agosto.

1.3. Características agrológicas

Los suelos de la FES Cuautitlán, como la mayor para de los suelos de la zona, son de formación aluvial y se originaron a partir de depósitos de material ígneo, derivados de las partes altas que circundan la zona (Eje Neovolcánico), son suelos profundos con más de 1m de profundidad. En el cuadro 5 se pueden observar las características físicas y químicas del suelo donde se realizó el experimento.

De acuerdo a la clasificación FAO-DETENAL (1981), los suelos de la Facultas de Estudios Superiores Cuautitlán han sido clasificados como vertisoles pélicos, son suelos que presentan una textura fina, arcillosos, pesados y difíciles de manejar, por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan; forman grietas profundas y pueden ser impermeables al agua de riego o de lluvia.

Puede considerarse que estos suelos planos, profundos y arcillosos, como textura dominante, son de buena calidad agrícola y pueden ser explotados intensivamente sin

perder sus características físicas, químicas y biológicas, si se le dan las prácticas necesarias para su conservación.

Cuadro 5. Análisis de suelo del experimento realizado a una profundidad de 0-30 y 30-60 cm en la FES Cuautitlán, UNAM.

| Características físicas | Promedio |
|--|-------------------------|
| Arena (%) | 54.44 |
| Limo (%) | 24.00 |
| Arcilla (%) | 21.56 |
| Textura clasificación | Migajón-Arcillo-Arenoso |
| Elemento y características químicas | |
| PH | 6.90 |
| M.O. (%) | 1.38 |
| N (%) | 0.54 |
| P (ppm) | 2.00 |
| K (ppm) | 27.50 |
| Na (ppm) | 20.50 |
| Ca (meq/100g) | 12.60 |
| Mg (meq/100g) | 4.17 |
| C.I.T. (meq/100 g) | 13.75 |
| Espacio poroso (%) | 52.17 |
| Densidad real (g/cm ³) | 2.20 |
| Densidad aparente (g/cm ³) | 1.09 |

NOTA: El análisis fue realizado en el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Agrícola, FES Cuautitlán, UNAM.

2. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en la parcela Experimental perteneciente al Área de Invernaderos de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (Figura 4).

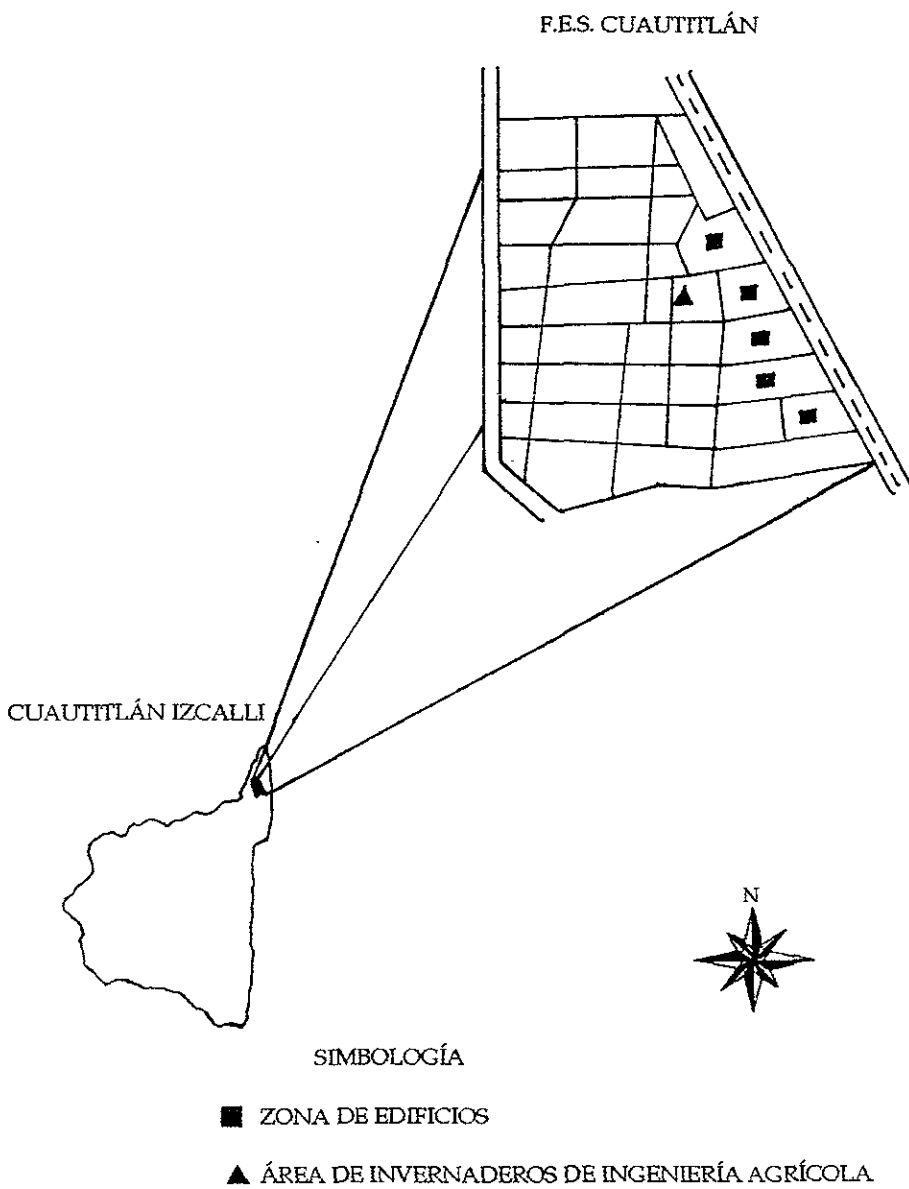


Figura 4: Localización de la parcela experimental en la FES Cuautitlán, UNAM. México.

3. Diseño experimental

Los factores estudiados fueron tres densidades de plantación: 108 891, 65 400 y 46 434 plantas por hectárea, la separación entre matas fue de 30, 50, 70 cm respectivamente y dos tratamientos de inoculación: semilla inoculada y semilla no inoculada; cada mata con tres plantas en promedio.

Los seis tratamientos se arreglaron mediante un diseño de Bloques Completamente al Azar con cuatro repeticiones, dando un total de 24 Unidades Experimentales. En la figura 5 se puede observar la distribución de los bloques y tratamientos en campo y en el cuadro 6 se presenta la relación de tratamientos evaluados en el presente trabajo.

Figura 5. Distribución de los tratamientos en campo

BLOQUE 1

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T4 50cm | T5 70cm | T3 50cm | T6 70cm | T2 30cm | T1 30cm |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

BLOQUE 2

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T6 70cm | T2 30cm | T5 70cm | T1 30cm | T4 50cm | T3 50cm |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

BLOQUE 3

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T5 70cm | T4 50cm | T1 30cm | T2 30cm | T3 50cm | T6 70cm |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

BLOQUE 4

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T2 30cm | T1 30cm | T4 50cm | T5 70cm | T6 70cm | T3 50cm |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

Cuadro 6. Relación de tratamientos de bloques completos al azar evaluados en la FES Cuautitlán Izcalli, México.

| Tratamientos | Factor densidad | Factor inóculo |
|--------------|-----------------|----------------|
| 1 | 108 891 = Alta | Con inóculo |
| 2 | 108 891 = Alta | Sin inóculo |
| 3 | 65 400 = Media | Con inóculo |
| 4 | 65 400 = Media | Sin inóculo |
| 5 | 46 434 = Baja | Con inóculo |
| 6 | 46 434 = Baja | Sin inóculo |

Una unidad experimental constó de 4 surcos, con separación de 92 cm, 6.5 m de longitud y 3.68 m de ancho, esto resultó que una unidad experimental tuvo 23.92 m²; la separación entre bloques fue de un surco (92 cm) y entre calles 1 m.

Considerando el total de las unidades experimentales tenemos: 23.92 m² X 24 unidades experimentales es igual a 574.08 m² de parcela útil.

4. Materiales

4.1. Semilla utilizada

El material empleado fue semilla de una variedad criolla de haba del Valle de Toluca, Estado de México, que es con la que comúnmente siembran los productores de Valles Altos, y que tienen un ciclo de 180 días aproximadamente.

4.2. Inoculante.

La bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank específica para el haba fue proporcionado por el Laboratorio de Microbiología Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

4.3. Otros materiales

| | | | |
|-------------|---------------|-----------|------------|
| Melaza | Cinta métrica | Palas | Aspersores |
| Charolas | Estacas | Tractor | Arpillas |
| Rafia | Azadones | Mangueras | Letreros |
| Computadora | | | |

5. Establecimiento y manejo del experimento

5.1. Preparación del terreno

Para el establecimiento del experimento se realizó un barbecho y un rastreo, posteriormente se surcó en el mismo mes de marzo.

5.2. Inoculación y siembra

La inoculación y siembra se realizó por la tarde del día 23 de abril, una vez que se ocultó el sol, para evitar que los rayos solares dañaran la bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank ya que esta es sensible a aquellos.

La inoculación se llevó a cabo de la siguiente manera:

En una charola de plástico se mezcló la melaza y el inóculo (líquido), en esta mezcla se colocó la semilla para su inoculación procediendo de inmediato a su siembra manual de acuerdo a la distancia correspondiente (30, 50 y 70 cm) a cada unidad experimental del bloque, depositando 3 semillas por golpe a una profundidad aproximada de 6 cm. Los surcos fueron de 92 cm de distancia entre uno y otro.

5.3. Labores culturales

Las labores que se dieron al cultivo durante el experimento fueron las que a continuación se mencionan:

a) Riego

Se dio el primer riego al momento de la siembra, ya que la bacteria requiere que el suelo tenga humedad, posteriormente se dieron riegos de auxilio con intervalo de 15

días, de acuerdo a observaciones realizadas en campo, esto hasta que se presentaron las primeras lluvias.

Cabe mencionar que las lluvias en este ciclo se retardaron más que en otros años.

b) Aporque

El primero se realizó a los 45 días después de la siembra, al tener la planta una altura de aproximadamente 40 cm. Cabe mencionar que esta se llevó a cabo con azadón.

c) Dehierbes

Esta actividad se realizó conforme se observó el crecimiento de la maleza de manera manual y con azadón. Donde las principales malezas fueron, chayotillo (*Sicyros angulata*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), coquillo (*Cyoeerus spp*), quelite (*Amaranthus spp*), malvas (*Malva parviflora*) y acahual (*Simsia amplexicaulis*).

d) Manejo de plagas y enfermedades

A lo largo del ciclo fue característico la ausencia de insectos dañinos, a excepto del frailecillo (*Macroductylus sp*) que se controló mecánicamente, y el pulgón negro (*Aphis fabae*) y el pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum*) los cuales fueron controlados con la solución agua-jabón-chile.

Como se observa el control fue mecánico y orgánico ya que en esta investigación se hizo con el propósito de no utilizar productos químicos.

Al final del experimento se pudo observar la presencia de algunas enfermedades como cenicilla (*Peronospora sp*) y mancha de chocolate (*Botrytis fabae*) las cuales no afectaron el rendimiento de manera significativa.

6. Variables a evaluar.

Con el propósito de interpretación estadística se tomaron en cuenta los siguientes datos:

6.1. Altura de planta

Esta variable se empezó a medir en cm; los datos se tomaron una vez por semana desde la emergencia, se midió desde la base del tallo al ápice principal de la planta, utilizando una regla graduada de madera.

Se aclara que la altura considerada fue el dato de la última tomada después de la emergencia.

6.2. Peso de cien granos.

Para estimar el peso de 100 granos de haba, se contaron y se pesaron 300 granos, posteriormente el peso se dividió entre 3.

6.3. Rendimiento de grano.

Se cosechó la parcela útil de cada tratamiento y se pesaron; así se obtuvo el rendimiento en cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones, extrapolando el valor a toneladas por hectárea.

7. Análisis estadístico.

Se hizo un análisis de varianza usando el programa estadístico computarizado S.A.S., así como la prueba de comparación de medias por el método Tukey al 0.05 de posibilidad para las variables evaluadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Altura de planta

El análisis de varianza para obtener información sobre esta variable mostró una diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) en todos los factores (tratamientos, densidad de población y la interacción: Inóculo X Densidad) excepto la inoculación, como se puede observar en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la altura de planta en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.).

| FV | GL | SC | CM | F cal | Pr > F |
|-------------|----|-------|-------|-------|-----------|
| Tratamiento | 5 | 0.215 | 0.043 | 20.99 | 0.0001 ** |
| Bloque | 3 | 0.108 | 0.036 | 17.51 | 0.0003 ** |
| Inóculo | 1 | 0.003 | 0.003 | 1.48 | 0.2512 NS |
| DDP | 2 | 0.175 | 0.088 | 42.81 | 0.0001 ** |
| INOC X DDP | 2 | 0.036 | 0.018 | 8.92 | 0.0060 ** |
| Error | 10 | 0.205 | 0.002 | | |
| TOTAL | 23 | .0558 | | | |

** = Altamente significativo; NS = No significativo.

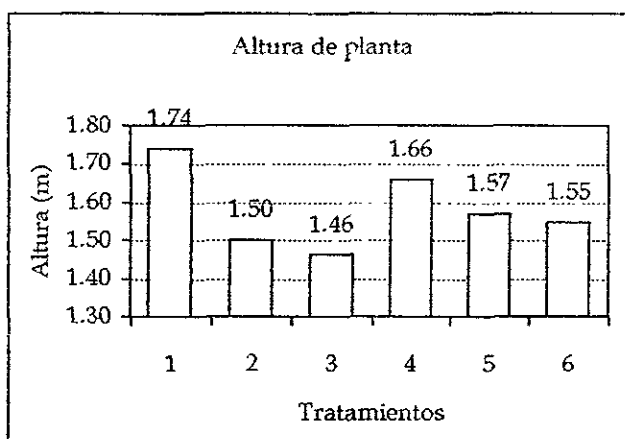
Sin embargo al efectuar la prueba de Tukey con una α de 0.05 cuyos resultados se muestran en el cuadro 8, nos indica que el tratamiento 1 es el de mayor altura pero que no existe diferencia con el tratamiento 4. Por otra parte, entre los tratamientos 4,5,6 y 2 no hay diferencias, sin embargo los tratamientos con mayor altura serían los tratamientos 1 y 4 con una altura de 1.75 m y 1.66 m respectivamente, en comparación con el tratamiento 3 con tan solo 1.46 m.

Cuadro 8. Cuadro de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$ para la variable altura de planta.

| Grupo Tukey | | Media | N | TRAT |
|-------------|-----|--------|---|------|
| | A | 1.7475 | 4 | 1 |
| B | A | 1.6600 | 4 | 4 |
| B | C | 1.5775 | 4 | 5 |
| B | C D | 1.5500 | 4 | 6 |
| | C D | 1.5075 | 4 | 2 |
| | D | 1.4650 | 4 | 3 |

El cuadro de Análisis de varianza (cuadro 7), corrobora los resultados, pues se encontró que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos en lo referente a la altura de planta, recuérdese que los tratamientos que tuvieron mayor altura fueron el T1 y T4 en comparación con los demás tratamientos, esto quiere decir que la densidad de población estaba influyendo de manera importante en el crecimiento de las plantas, la gráfica 1 y cuadro 9 muestran claramente la diferencia entre la densidad de población alta y la densidad de población baja, tanto inoculadas como sin inocular, lo que hace pensar que la altura de planta, al no aplicar nitrógeno, ésta depende de la densidad de población, haciendo así un mejor aprovechamiento del medio ambiente. Por lo contrario al usar la inoculación como fertilizante natural, se pudo observar gráficamente que la mayor densidad de población respondió positivamente entre la altura de planta y la inoculación con la bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank, lo cual no se presenta con el rendimiento de grano seco, como se verá más adelante en esta investigación.

Gráfica 1. Altura de haba (*Vicia faba* L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la F.E.S. Cuautitlán, Estado de México.



Cuadro 9. Promedio de los resultados finales de los datos de campo para cada tratamiento de los 4 bloques, en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en la F.E.S. Cuautitlán.

| TRATAMIENTOS | INOC DDP | ALTURA | CNG | TON/HA |
|--------------|----------|--------|--------|--------|
| 1 = | C , A | 1.75 | 140.00 | 3.724 |
| 2 = | C , M | 1.51 | 142.25 | 4.096 |
| 3 = | C , B | 1.47 | 138.75 | 4.038 |
| 4 = | S , A | 1.66 | 121.25 | 2.038 |
| 5 = | S , M | 1.58 | 138.75 | 4.063 |
| 6 = | S , B | 1.55 | 124.50 | 4.109 |

C = Con inóculo; S = Sin inóculo; A = Densidad Alta; M = Densidad Media;
B = Densidad Baja.

En cuanto al factor inóculo, el análisis de varianza (cuadro 7) no presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$), ya que el comportamiento de esta variable fue similar entre los tratamientos inoculados y sin inocular (cuadro 7 y cuadro 8). Sin embargo en la gráfica 1 y cuadro 9 se observa que los tratamientos con media y baja densidad inoculados presentaron antagonismo con los tratamientos media y baja sin inocular. Al respecto Aragón (1993), citado por Recinos (1995), encontró que al aplicar fertilizantes nitrogenados al suelo disminuyó la altura de planta en haba en comparación con los testigos.

Numéricamente los resultados expresaron que la presencia de las bacterias de *Rhizobium* así como la densidad alta de población contribuyeron para que el haba lograra un porte mayor de altura. En cambio los tratamientos inoculados con media y baja densidad de población mostraron un menor crecimiento o menor altura - en comparación con los no inoculados - debido en general a la menor competencia entre plantas, además sin duda, repercutió en que entre la planta y la bacteria trabajaran en conjunto para la fijación de nitrógeno y su almacenamiento en grano, lo que se reflejó en el peso de cien granos, que más adelante se analizará en esta misma investigación.

Cabe señalar que los tratamientos 1 y 4 que son los de alta densidad, tuvieron una altura mayor, esto repercutió en el peso de cien granos y en el rendimiento en grano, ya que estos mismos fueron los de menor peso en cien granos así mismo se vio disminuido el rendimiento (Cuadro 9).

Por otra parte, el factor densidad de población, de acuerdo con el análisis de varianza practicado, fue altamente significativo ($p < 0.01$) y aunque esto no fue significativo en la comparación de medias de Tukey con una α de 0.05, en el cuadro 9 y gráfica 1 se observa numéricamente que la densidad alta T1 y T4 fue 10% mayor que la densidad media y 12% mayor que la densidad baja. Esto coincide con Bidwell (1993), quien menciona que la competencia se da entre plantas por espacio para crecer y competir por agua, CO_2 , nutrientes y luz, esta última, la tolerancia a la sombra en plantas bajo competencia crea algunos mecanismos de defensa y uno de ellos es el evitar la sombra por lo que la necesidad primordial es alcanzar la mayor altura tan rápido

como sea posible, así también al reducir la distancia entre plantas Escalante (1982) y López Carmona (1990), quienes en diferentes estudios, reportan que disminuye el número de vainas por planta y se incrementa la altura de la misma, debido a la etiolación.

Cabe mencionar que en el experimento se observó que a mayor densidad se generó un microclima y conservó mayor tiempo la humedad, por lo que la altura de planta también dependió de la humedad aprovechable del suelo, lo cual se atribuyó al alargamiento existente de entrenudos, además se sabe que al haber demasiadas plantas se genera un microclima favoreciendo con esto la presencia de enfermedades fungosas que es una desventaja, pues disminuye el rendimiento y calidad del producto.

Por otra parte, al analizar la interacción entre el factor inóculo por densidad de población sobre esta variable, en el análisis de varianza (Cuadro 7) fue altamente significativo y se observó que tanto con inóculo y sin inóculo la mayor altura de planta se obtuvo con la densidad alta T1 y T4 con 1.74 m y 1.66 m respectivamente, en tanto que la menor altura de planta se presentó con las densidades bajas inoculadas y sin inocular con 1.46 m y 1.55 m respectivamente (T3 y T6), esto confirma que la altura de planta fue influenciada por la densidad de población y en menor grado por la inoculación con *Rhizobium*.

Además, la misma interacción obtenida en el análisis de varianza nos indicó antagonismo al aplicar inoculante en los tratamientos con densidades medias y bajas, en tanto que en el tratamiento 1 con una densidad alta, la inoculación representó un estímulo que favoreció una mayor altura (Gráfica 1).

El resultado obtenido a través de la interacción inóculo por densidad, concuerda con Sánchez (1994) y González (1997), quienes mencionan que la altura de planta, al no aplicar fertilizantes nitrogenados a las plantas, ésta depende de la densidad de población, aprovechando al máximo los factores del medio ambiente, que fue lo que ocurrió con los tratamientos 4,5 y 6 como se observa en el cuadro y en la gráfica, sin embargo en los tratamientos 1,2 y 3 se observó efecto directo del inoculante viéndose favorecida la altura con la densidad alta, en tanto que para las densidades media y baja

la altura fue considerablemente menor, incluso con las no inoculadas, pero esto se compensó de manera importante en el peso de cien granos y en el rendimiento.

2. Peso de cien granos.

En lo referente a este parámetro, el análisis de varianza (cuadro 10) practicado, mostró que no hubo efecto significativo ($p < 0.05$) en tratamientos, efectos principales (Inóculo y Densidad de siembra) ni interacción (Inóculo X Densidad) (Cuadro 10).

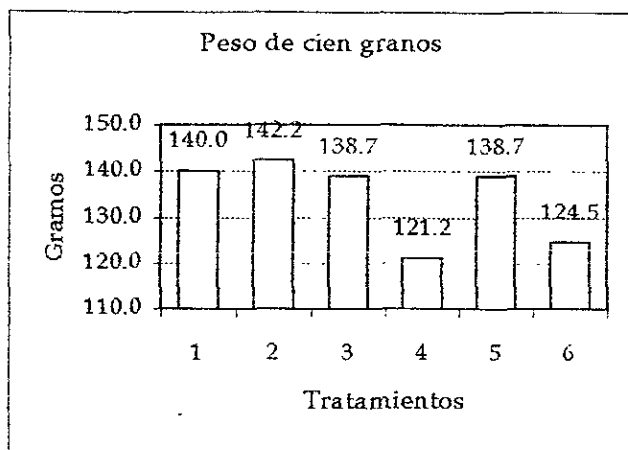
Cuadro 10. Análisis de varianza para peso de cien granos en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.).

| FV | GL | SC | CM | F cal | Pr > F |
|-------------|----|-----------|---------|-------|-----------|
| Tratamiento | 5 | 1,606.500 | 321.300 | 1.88 | 0.1841 NS |
| Bloque | 3 | 242.833 | 80.944 | 0.47 | 0.7067 NS |
| Inóculo | 1 | 888.167 | 888.167 | 5.21 | 0.0456 NS |
| DDP | 2 | 472.750 | 236.375 | 1.39 | 0.2941 NS |
| INOC X DDP | 2 | 245.583 | 122.792 | 0.72 | 0.5102 NS |
| Error | 10 | 1,704.667 | 170.467 | | |
| TOTAL | 23 | 5,160.500 | | | |

NS= No significativo

Aunque estadísticamente no se obtuvieron diferencias significativas, numéricamente se observa que el tratamiento que mejor resultado arrojó fue el T2 con un valor de 142.25 gramos en cien granos, este tratamiento fue seguido de los tratamientos 1, 3 y 5, sin embargo; el tratamiento 5 no fue inoculado (Cuadro 9 y gráfica 2).

Gráfica 2. Peso de cien granos de haba (*Vicia faba* L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la F.E.S. Cuautitlán, Estado de México.



Los tratamientos 1, 2 y 3, como se puede observar en el cuadro 9, son tratamientos inoculados y resultaron ser los que mayor peso y tamaño de grano tuvieron, lo que demuestra que es de calidad, por lo que se considera que la inoculación tuvo un efecto positivo para las distintas densidades de población. Este resultado concuerda con Hussein et al (1991), Monib (1994) y Sheikh y Zidany (1998), quienes en diferentes estudios con el cultivo de haba obtuvieron que al inocular la semilla de haba (*Vicia faba* L.) con *Rhizobium leguminosarum* Frank se incrementó significativamente el peso de cien granos así como la calidad del producto.

En general, los tratamientos inoculados se vieron ligeramente favorecidos en el incremento del peso de cien granos, en comparación con los tratamientos sin inocular, ya que una de las razones por las cuales las leguminosas son ricas en proteínas, es la fácil asimilación del nitrógeno fijado por simbiosis como resultado de la inoculación. Esto coincide con Allen (1953), quien indica que la inoculación hace que las plantas de las leguminosas tengan un alto contenido de nitrógeno viéndose beneficiadas las vainas y

calidad de las semillas, ya que una cantidad considerable de proteína se almacena en las semillas que es un índice para evaluar la calidad de un producto agrícola destinado a la alimentación. Lo anterior, lo corroboran Sheikh y Zidany (1997), quienes obtuvieron un incremento significativo del contenido de proteína y taninos en el grano de haba al utilizar inoculante (*Rhizobium leguminosarum*), siendo el resultado similar cuando usaron fertilizantes químicos y orgánicos, sin embargo los mismos autores consideran la inoculación de las semillas una fertilización barata, comparada con otro tipo de fertilizantes.

Hablando del componente de densidad de población, en general, se observó que a una densidad promedio de 65,400 plantas por hectárea (densidad media) se obtuvo el mayor peso de cien granos, numéricamente se puede comprobar que los tratamientos 2 y 5 alcanzaron los mejores pesos como se observa en el cuadro 9 y en la gráfica 2.

En la gráfica se puede observar que -en este parámetro- aunque la densidad de población es importante, fue la inoculación la que influyó notablemente. Esto quiere decir que el peso de cien granos dependió más de la inoculación de la semilla con la bacteria *Rhizobium leguminosarum* Frank, pues como ya se mencionó que el haba es una leguminosa y que al inocular con la bacteria específica, tiene la capacidad de fijar su propio nitrógeno que repercute en la calidad y peso de grano. Por otra parte, al analizar si existió interacción entre estos dos factores (Inóculo X Densidad) en el análisis de varianza (cuadro 10) denota que ésta no fue de forma significativa sobre el peso de cien granos.

3. Rendimiento en grano

Siendo la finalidad de estudio la mayor producción, se considera esta variable como la más importante, pues nos indica el mejor tratamiento para ser utilizado por los productores de haba en el Valle de Cuautitlán.

En esta variable el análisis de varianza (cuadro 11) nos indica que hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) en tratamientos y en densidad de población no así en inóculo y su interacción (Inóculo X Densidad).

Cuadro 11. Análisis de varianza para rendimiento en ton/ha en el experimento del efecto de la densidad e inoculación en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.).

| FV | GL | SC | CM | F cal | Pr > F |
|-------------|----|--------|-------|-------|-----------|
| Tratamiento | 5 | 29.641 | 5.928 | 3.59 | 0.0405 * |
| Bloque | 3 | 11.610 | 3.869 | 2.34 | 0.1345 NS |
| Inóculo | 1 | 2.961 | 2.961 | 1.79 | 0.2101 NS |
| DDP | 2 | 19.982 | 9.991 | 6.05 | 0.0189 * |
| INOC X DDP | 2 | 6.697 | 3.348 | 2.03 | 0.1822 NS |
| Error | 10 | 16.504 | 1.650 | | |
| TOTAL | 23 | 87.395 | | | |

* = Significativo; NS = No Significativo

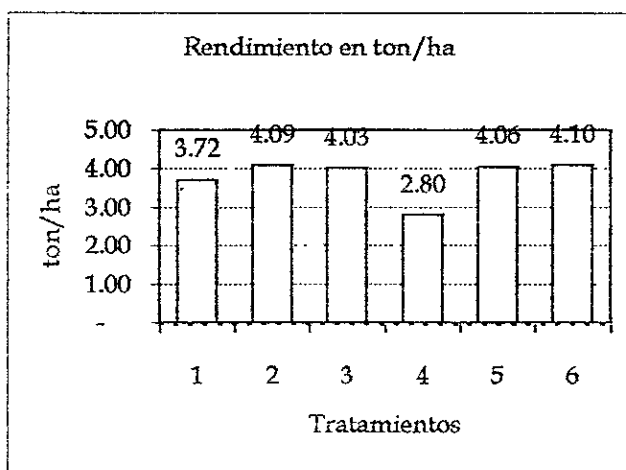
Sin embargo al efectuar la prueba de comparación de medias de Tukey con una α de 0.05 se detectaron que no hubo diferencias significativas en tratamientos, tal como se observa en el cuadro 12.

Cuadro 12. Cuadro de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$ para la variable rendimiento ton/Ha.

| Grupo Tukey | Media | N | TRAT |
|-------------|-------|---|------|
| A | 9.830 | 4 | 6 |
| A | 9.803 | 4 | 2 |
| A | 9.723 | 4 | 5 |
| A | 9.668 | 4 | 3 |
| A | 8.915 | 4 | 1 |
| A | 6.725 | 4 | 4 |

Debido a que los resultados estadísticos no expresaron diferencias significativas se hizo referencia a los resultados del cuadro de promedio de resultados (cuadro 9) y gráfica 3 para observar que tratamientos tendieron a ser mejores.

Gráfica 3. Rendimiento en grano ton/ha de haba (*Vicia faba* L.) bajo diferentes densidades de siembra e inoculación en una parcela de la F.E.S. Cuautitlán, Estado de México.



De acuerdo al cuadro 9 y gráfica 3, se puede notar que en general los tratamientos inoculados (T1, T2 y T3) tendieron a incrementar el rendimiento, sin embargo fueron poco diferentes a los tratamientos no inoculados (T4, T5 y T6), excepto los tratamientos 1 y 4, que son los de mayor densidad de población, en estos el tratamiento 1 -inoculado- tendió a incrementar en rendimiento en un 24.73% más que el tratamiento 4, lo que conlleva a pensar que el inóculo sí jugó un papel importante.

Respecto a los tratamientos 2 y 3, 5 y 6, los resultados fueron similares al aplicar o no inóculo. Comparando las densidades medias (T2 y T5) con y sin inóculo

respectivamente, resulta que T2 fue tan solo 0.73% superior que T5, no así en las densidades bajas T3 con inóculo y T6 sin inóculo, en donde T6 tendió a ser 1.7% mayor en rendimiento que T3. De lo anterior se podría pensar que resulta lo mismo usar o no el inóculo, no obstante es importante mencionar que aunque los tratamientos no inoculados obtuvieron un importante rendimiento su grano fue de tamaño menor que el de los tratamientos inoculados, así mismo el peso de cien granos fue menor en los tratamientos no inoculados, lo que resta calidad al producto, tanto visual como nutricional, ya que es sabido que los granos con mayor peso son los de mejor valor nutricional por la cantidad de nitrógeno que pudo obtener la planta para convertirlo en reservas nutricionales importantes, esto lo comprueba los experimentos realizados por Sheikh y Zidany (1997) en cultivo de haba quienes encontraron que la inoculación al igual que otros fertilizantes incrementaron el contenido de proteína y taninos.

Si bien los resultados estadísticos no mostraron los resultados esperados para la inoculación de semilla de haba, o sea un efecto altamente significativo o significativo creemos que pudo deberse a que la fertilidad del suelo donde se llevó a cabo el experimento se encontró con un excelente estado nutricional, ya que el elemento nitrógeno en los primeros 50 centímetros fue de muy rico al igual que la materia orgánica teniendo un porcentaje de medio rico y además, presentó un pH neutro, por lo que de esta manera no permitieron que el efecto de la bacteria de *Rhizobium* aplicado a la semilla de haba se expresara plenamente sobre el rendimiento como se hubiera esperado (ver cuadro 5).

Todo lo anterior influyó para que los tratamientos inoculados y sin inocular no tuvieran mucha diferencia en el rendimiento. Esto se corroboró con el buen desarrollo y sanidad de las plantas durante la fase experimental.

Los resultados del presente estudio coinciden con Corvera (1999) y Luna-Rodríguez et al (1995), en trabajos correspondientes mencionan que las leguminosas, sembradas en terrenos ricos en materia orgánica y suelos ricos en nitrógeno no responden a la inoculación con *Rhizobium*.

De acuerdo con lo antes dicho es probable que los resultados hayan sido influenciados por el excelente estado nutricional en que se encontraba el suelo, tal que los tratamientos sin inocular alcanzaran los mismos rendimientos que los tratamientos inoculados, por lo cual no se presentaron respuestas significativas a la inoculación, durante el periodo de tiempo en que se desarrolló el experimento. Esto confirma que la aplicación de este tipo de producto (*Rhizobium*) será de mayor utilidad cuando las condiciones de los suelos sean de menor fertilidad.

En la determinación de la mejor densidad de población en base al rendimiento final de grano, el cual es el objetivo principal de toda investigación, se pudo observar en esta investigación que, aunque la inoculación no fue significativa, fue la densidad de población la que influyó de manera significativa, esto es, que el rendimiento en grano dependió más de la densidad de población que del inóculo aplicado; en el cuadro 9 y la gráfica 3 se muestra cómo los tratamientos con mayor densidad (108,891 plantas/ha) tanto inoculados como sin inocular, son los que menor rendimiento en grano tuvieron, en cambio en los tratamientos con una densidad media y baja (65,400 plantas y 46,434 plantas/ha), el rendimiento se vio incrementado con inóculo y sin inóculo respectivamente.

En esta investigación, los mejores tratamientos fueron los que tuvieron la mayor distancia entre plantas como T2, T3, T5 y T6, dado que existe un incremento en la obtención del rendimiento. El efecto principal que al parecer está determinando mayores o menores rendimientos es el de la densidad de población y/o competencia. Esto concuerda con estudios realizados en cultivos de haba y chícharo por López Mendoza (1978) y Zenteno (1998), quienes indican que los procesos fisiológicos como la absorción de agua, de nutrientes minerales y su traslocación y fotosíntesis, influyen en el rendimiento final interviniendo de manera destacada la influencia de la densidad de población.

Tomando en cuenta otros aspectos que pudieron haber influido para este resultado, es que en las densidades altas de plantas en el terreno obligaron a una mayor competencia en estos tratamientos y seguramente esta se dio por la menor captación

de luz solar, pero también puede ser como lo señala López Mendoza (1978), que al haber una mayor competencia entre plantas de haba y a medida que la densidad aumenta es mayor la caída de las flores y de los frutos, esto se manifiesta en que haya un menor número de vainas en la planta y por ende el rendimiento se vea disminuido.

Por otro lado, en cuanto a bajas densidades, López Mendoza (1978), indica que en poblaciones de densidades bajas de haba no ocurre competencia, en cualquier estado de desarrollo de la planta, lo cual en esta investigación se cumple, ya que como se puede observar los tratamientos 2,3,5 y 6 son en los que mayor rendimiento se obtuvo.

Se puede decir que a mayor distanciamiento de plantas en el terreno propicia mejor penetración de la luz y mejor aireación, lo cual hace que se estimule altamente la producción en kilogramos por hectárea.

Sería conveniente recordar que el rendimiento agronómico es el peso seco del órgano de interés antropocéntrico por la planta o por unidad de superficie por tiempo, lo cual está en función del genotipo más la influencia del medio ambiente y la interacción de estos dos $[R=G+A+(GXA)]$ a través de los procesos fisiológicos de la planta (Torres Martínez, 1990). Lo cual explica aún más la importancia que tuvieron otros factores y no tan sólo la inoculación y la densidad de población.

La inoculación es de suma importancia para las plantas del cultivo de haba por tener la capacidad de fijar su propio nitrógeno y obtener mayor producción. Desafortunadamente en este trabajo no se vio como se esperaba, por lo que se recomienda continuar el experimento, como una alternativa de fertilización biológica en la producción de haba y sacarle mayor provecho. Tener en cuenta la estrecha relación que guarda entre sí la fijación simbiótica de nitrógeno, clima, suelo, enfermedades, plagas, genética y procesos fisiológicos en la planta, es un reto para la investigación. Por lo tanto convendría seguir probando la inoculación en haba.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

V. CONCLUSIONES

1. El uso de inoculante con *Rhizobium leguminosarum* Frank en la semilla de haba no fue significativo sobre el rendimiento, resultó tan solo un poco mejor que el obtenido por los tratamientos no inoculados.
2. Los tratamientos inoculados con *Rhizobium leguminosarum* Frank se vieron ligeramente favorecidos en el aumento del peso de cien granos, observándose mejor tamaño y calidad de grano contrario con los tratamientos no inoculados.
3. El factor determinante en la producción de haba fue la densidad de población, mostrándose un efecto estadísticamente significativo, con lo cual comprueba la hipótesis.
4. La distancia entre matas con la cual se obtuvieron mejores rendimientos fue de 50 cm (T2 y T5) con una densidad de población de 65 400 plantas/ha con o sin la aplicación del inoculante (*Rhizobium leguminosarum* Frank).
5. El tratamiento con mejor rendimiento fue el T6 (4.10 ton/ha) sin inocular con una densidad de población de 46 434 plantas/ha, pero su peso de cien granos resultó ser de los más bajos lo que supone un bajo contenido nutricional, así también el tamaño de grano fue menor viéndose disminuida su calidad en comparación con los tratamientos inoculados.
6. La densidad de población influyó en la altura de planta y en el rendimiento en grano, observándose que los tratamientos con alta densidad (T1y T4) con 108 891 plantas/ha mostraron mayor altura y menor rendimiento que los de media y baja densidad.
7. En esta investigación se comprobó que con manejo orgánico en el cultivo del haba se obtuvo en promedio rendimientos desde 2.038 ton/ha hasta 4.109 ton/ha superando en ambos casos la media nacional que es de 0.907 ton/ha.

VI. LITERATURA CONSULTADA.

- ALEXANDER, Martín. (1989). Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editores, S.A. México.
- ALLEN, O. N. (1953). Inoculación de las leguminosas II. Vol.9, Núm.6. Agricultura tropical, U.S.A.
- AZCON-BIETO J. y M. TALON. (1993). Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial McGraw Hill, España.
- BIDWELL, R.G.S. (1993). Fisiología vegetal. AGT Editores, S. A. México.
- BLISS AND HARDARSON (1993). Enhancement of biological nitrogen fixation of common Bean in Latin America. Plant and soil (152) Kliswer Academic Publishers. The Netherlands.
- BRINTNALL SIMPSON, B. Y CONNER OGARZALLY.M. (1986). Economic Botany. Editorial McGraw - Hill. U.S.A.
- CASTILLO Figa, Marcela. (1999). Mejoramiento de la simbiosis *Rhizobium meliloti* en Alfalfa a través de la aplicación específica de DNA (SDA) en el microsimbionte. Tesis de Maestría en Investigación Biomédica Básica. Centro de Investigación Sobre Fijación de Nitrógeno. UNAM. Cuernavaca, Morelos, México.
- CERRATO Y RODRÍGUEZ. (1993). Manual de agromicrobiología. Editorial Trillas, México.
- CISFN. (1992). Centro de Investigación Sobre Fijación de Nitrógeno. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- CORVERA Poiré, Adriana de la Concepción. (1999). Participación del gene *nolL* de *Rhizobium etli* en la acetilación de los factores de inoculación. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Sobre Fijación de Nitrógeno. UNAM. Cuernavaca, Morelos, México.
- COSTA J, G. C. (1981). Efecto de la densidad de población en la morfología, asignación de la materia seca y de la energía y eficiencia en la producción de semilla, en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Doctorado. C.P. Chapingo, México.

- CUBERO. (1983). Leguminosas de granos. Ediciones Mundi-Prensa, España.
- DELORIE RICHARD J. Y AHLGREN, H. (1986). Producción agrícola. Editorial C.E.C.S.A. México.
- DESOUKY, M.M. (1999) Response of faba bean to presowing seed treatments and to inoculation with local *Rhizobium leguminosarum* strain in upper Egypt. Agriculture and Environment for Developing Regions. Num.1, Vol.4, Krips Repro Bv. The Netherlands.
- ESCALANTE Estrada, E.(1982). Efecto de la densidad de población en el rendimiento en grano y sus componentes en dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.
- ESPINOZA, J. (1993). Apuntes de Economía Agrícola. FES Cuautitlán. Ingeniería Agrícola. UNAM. Cuautitlán, México.
- EVANS, L. T. (1983). Fisiología de los cultivos. Editorial EDIGRAF, Argentina.
- FAO-DETENAL. (1981). Carta geológica Cuautitlán. T. 14 - A29. Secretaría de Programación y Presupuesto, México
- FLORES Guevara, E. (1990). Efecto del Nitrógeno, fósforo y densidad de siembra en el rendimiento de trigo variedad Zacatecas en Santiago Tepolula, México. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.
- FRANK, B. S. Y CLEON W. R. (1994). Fisiología y bioquímica vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, México.
- FUENTES Yague, J. L. (1994). El suelo y los fertilizantes. 4a. Edición, Ediciones Mundi-Prensa, España.
- GARCÍA, Enriqueta. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. Edición. Dirección General de Publicaciones, UNAM. México.
- GONZÁLEZ Mejía, M. A. (1997). Evaluación de tres dosis de fertilización nitrogenada y tres densidades de siembra para la producción forrajera de coquiá (*Kochia stiparia* L. Schrad). Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.

- GUENKOV, Guenko. (1983). Fundamentos de la horticultura Cubana. Instituto Cubano del libro, La Habana Cuba.
- HANCOCK, James F. (1992). Plant evolution and the origin of crop species. Edit. Prentice-Hall, U.S.A.
- HOPKINS, WILLIAM G. (1999). Introduction to Plant Physiology. 2^a. Edición. Editorial John Wiley y Sons, U.S.A.
- HUSSEIN. A.H.A.; ABON ZEID, N.M. AND HASSAN, M.E. (1991). Effect of N,P, fertilizers, *Rhizobium* inoculation and seed fungicides on yield, yield components, nodulation and seed contents of faba bean. Egyptian Journal of Agricultural Research. 69:3. Egypt.
- IBARRA P., F., LÓPEZ S., E., DURÁN P., A. Y FRAIRE M., R. (1980). Densidad de población con arreglos topológicos en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Jamapa en la zona sur de Veracruz. En: Memoria del VIII Congreso Nacional de Fitogenética. Uruapan, Michoacán, México.
- INEGI, (1997). Cultivos anuales de México. VII Censo agropecuario, México.
- INEGI, (1997a). División territorial del Estado de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INIFAP, (1993). Guía para producir diversos cultivos hortícolas en la Costa de Ensenada (B.C.). SARH. Campo experimental Costa de Ensenada Baja California, México.
- KAY, Daysi E. (1979). Legumbres alimenticias. Editorial ACRIBIA, España.
- KOHASHI S. J. (1979). Fisiología en: Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Editor E. Mark Engleman. Rama de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- KRIEG R., NOEL R, et al. (1984). Bergey's Manual of Sistematic Bacteriology. Vol.II. Edit. Williams & Wilkins. U.S.A.
- LAGUNAS, C. A. (1983). Daño de malezas e incidencia de enfermedades de haba (*Vicia faba* L.) en unicultivo y asociado con maíz. Tesis de Maestro en Ciencias. Chapingo, México.

- LÓPEZ Carmona, L. (1990). Descripción varietal de 5 genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos densidades de siembra. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.
- LÓPEZ Herrera, E. (1992). Interacción de tolerancia a frío de selecciones de haba con humedad en el suelo. Tesis Ingeniero Agrónomo, UACH.
- LÓPEZ Mendoza, G. (1978). Distribución espacial, densidad de siembra y componentes del rendimiento en haba (*Vicia faba* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo, UACH.
- LUNA-RODRÍGUEZ, G; G. TSUZUKI-REYES Y R.M. RAMÍREZ-GAMA. (1995). Interacción *Bradyrhizobium japonicum* - *Glycine max* (L) Merril - suelo con diferentes dosis de nitrógeno. Simposio Universitario de Edafología, Facultad de Ciencias, UNAM.
- MAROTO Borrego, J.V. (1986). Horticultura herbácea especial. 2ª. Edición, Ediciones Mundi- Prensa, España.
- MÁRQUEZ Ramos, A. (1998): Alternativas agronómicas para la incorporación de pepinillos a la producción agrícola: Un diseño experimental en condiciones de manejo campesino, en Santiago Tlalpan, Municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.
- METCALFE Darrel, S. (1987). Producción de cosechas (Fundamentos y prácticas). Editorial LIMUSA, México.
- MONIB M., HIGAZY A., HASSAN M.E. AND RAGAB A.A. (1994) Possibility of magnifying broad bean productivity in fertile Nile Valley soils. *Annals of Agricultural Science* Cairo. 39:1. Egypt.
- NIFTAL. (1985). Inoculantes para leguminosa y su uso. Servicio de fertilizantes y nutrición de la FAO. Dirección de fomento de tierras y aguas. O.N.U. Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- NONNECKE, I. L. (1989). Vegetable production. Editorial Van Nostrand Reinhold, U.S.A.
- POEHLMAN, J.M. (1987). Mejoramiento de las cosechas. Editorial LIMUSA, México.
- PORTA, L. LÓPEZ - ACEVEDO, M. Y ROQUERO, C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa, España.

- RECINOS Arrevillaga, R. (1995). Efecto de tres niveles de labranza y fertilización sobre el rendimiento de haba (*Vicia faba* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo, UACH.
- REYNA Granados, M.A. (1999). Los inoculantes: su importancia en el desarrollo y cultivo de las leguminosas. *Industria de agroquímicos*. Año 3, Núm.7. México.
- RIVAS Medrano, P. (1988). Densidad de población y fertilización y su relación con el rendimiento y calidad de semilla en la variedad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bayo mecentral. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.
- ROBLES Sánchez, R. (1981). Producción de granos y forrajes. Editorial LIMUSA, 2ª. Edición, México.
- ROCHA Q., J. (1984). Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y sus componentes en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Flor de Mayo X-16441. Tesis Ingeniero Agrónomo, UACH.
- SAGAR. (1997). Anuario estadístico de producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Centro de estadística agropecuaria. México.
- SÁNCHEZ Arellano, J. G. (1994). Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de población sobre la calidad y producción forrajera potencial en *Kochia scoparia* (L). Schrad. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México.
- SHEIKH, E.A.E AND ZIDANY, A.A. (1997) Effect of *Rhizobium* inoculation, organic and chemical fertilizers on proximate composition, in vitro protein digestibility, tannin and sulfur content of faba beans. *Food chemistry*, 59:1. Sudan.
- SHEIKH, E.A.E. AND ZIDANY, A.A. (1998). Effects of *Rhizobium* inoculation, organic and chemical fertilizers on yield physical propertiers of faba bean seeds. *Agriculture and Enviroment for Developing Regions*. Num.6. Vol.3. Krips Repro Bv Dress. The Netherlands.
- TAMARO. (1987). Manual de horticuultura y fruticultura. Editorial Gustavo Gili, España.
- TERRANOVA. (1995). Enciclopedia agropecuaria. Tomo I. Terranova Editores. Colombia.
- TORRES Cossio, R. (1992). Fertilidad de suelos. FES Cuautitlán, UNAM.

TORRES Martínez, F. (1990). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de grano en avena desnuda (*Avena nuda*) variedad dorada en Chapingo, México. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.

URBANO Terrón, P. (1991). Tratado de fitotecnia general. Ediciones Mundi-Prensa, España.

WILD, Alan. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa, España.

ZENTENO Alcazar, C. (1998). Efecto de la densidad de población y aplicación de fitorreguladores sobre el rendimiento de chícharo (*Pisum sativum* L.) en la zona de Cuautitlán, Estado de México. Tesis Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM.

ANEXOS

DATOS DE CAMPO

| OBS | TRAT | BL | INOC | DDP | AP | CGN | RKG |
|-----|------|----|------|-----|------|-----|-------|
| 1 | 1 | 1 | C | A | 1.90 | 138 | 7.52 |
| 2 | 1 | 2 | C | A | 1.96 | 144 | 7.70 |
| 3 | 1 | 3 | C | A | 1.69 | 138 | 9.02 |
| 4 | 1 | 4 | C | A | 1.44 | 140 | 11.42 |
| 5 | 2 | 1 | C | M | 1.45 | 142 | 6.70 |
| 6 | 2 | 2 | C | M | 1.41 | 153 | 11.01 |
| 7 | 2 | 3 | C | M | 1.69 | 125 | 11.02 |
| 8 | 2 | 4 | C | M | 1.48 | 149 | 10.48 |
| 9 | 3 | 1 | C | B | 1.31 | 129 | 9.39 |
| 10 | 3 | 2 | C | B | 1.49 | 136 | 6.62 |
| 11 | 3 | 3 | C | B | 1.61 | 161 | 9.92 |
| 12 | 3 | 4 | C | B | 1.45 | 129 | 12.74 |
| 13 | 4 | 1 | S | A | 1.63 | 109 | 4.37 |
| 14 | 4 | 2 | S | A | 1.61 | 126 | 8.73 |
| 15 | 4 | 3 | S | A | 1.68 | 125 | 6.22 |
| 16 | 4 | 4 | S | A | 1.72 | 125 | 7.58 |
| 17 | 5 | 1 | S | M | 1.59 | 161 | 9.92 |
| 18 | 5 | 2 | S | M | 1.55 | 125 | 10.44 |
| 19 | 5 | 3 | S | M | 1.71 | 129 | 9.44 |
| 20 | 5 | 4 | S | M | 1.46 | 140 | 9.09 |
| 21 | 6 | 1 | S | B | 1.54 | 128 | 10.10 |
| 22 | 6 | 2 | S | B | 1.59 | 103 | 10.33 |
| 23 | 6 | 3 | S | B | 1.68 | 114 | 10.85 |
| 24 | 6 | 4 | S | B | 1.39 | 153 | 8.04 |

PROCESO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA

Información de clases y niveles

| Clases | Niveles | Valores |
|--------|---------|-------------|
| TRAT | 6 | 1 2 3 4 5 6 |
| BL | 4 | 1 2 3 4 |
| INOC | 2 | C S |
| DDP | 3 | A B M |

Numero de observaciones en el grupo de datos = 24

Variable dependiente: AP (altura de planta)

| Recurso | DF | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|-----------------|-------------|-------------------|------------------|------------|------------|
| Modelo | 13 | 0.53732083 | 0.04133237 | 20.19 | 0.0001 |
| Error | 10 | 0.02047500 | 0.00204750 | | |
| Total corregido | 23 | 0.55779583 | | | |
| | R-Cuadrados | C.V. | Raíz CME | | AP media |
| | 0.963293 | 2.855597 | 0.045249 | | 1.58458333 |

| Recurso | DF | Anova SS | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|----------|----|------------|------------------|------------|--------|
| TRAT | 5 | 0.21487083 | 0.04297417 | 20.99 | 0.0001 |
| BL | 3 | 0.10757917 | 0.03585972 | 17.51 | 0.0003 |
| INOC | 1 | 0.00303750 | 0.00303750 | 1.48 | 0.2512 |
| DDP | 2 | 0.17530833 | 0.08765417 | 42.81 | 0.0001 |
| INOC*DDP | 2 | 0.03652500 | 0.01826250 | 8.92 | 0.0060 |

Variable dependiente: CGN (peso de cien granos)

| Recurso | DF | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|-----------------|-------------|-------------------|------------------|------------|------------|
| Modelo | 13 | 3455.833333 | 265.833333 | 1.56 | 0.2435 |
| Error | 10 | 1704.666667 | 170.466667 | | |
| Total corregido | 23 | 5160.500000 | | | |
| | R-cuadrados | C.V. | Raíz CME | | CGN media |
| | 0.669670 | 9.725354 | 13.05629 | | 134.250000 |

| Recurso | DF | Anova SS | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|----------|----|-------------|------------------|------------|--------|
| TRAT | 5 | 1606.500000 | 321.300000 | 1.88 | 0.1841 |
| BL | 3 | 242.833333 | 80.944444 | 0.47 | 0.7067 |
| INOC | 1 | 888.166667 | 888.166667 | 5.21 | 0.0456 |
| DDP | 2 | 472.750000 | 236.375000 | 1.39 | 0.2941 |
| INOC*DDP | 2 | 245.583333 | 122.791667 | 0.72 | 0.5102 |

Variable dependiente: RKG (rendimiento en kilogramos)

| Recurso | DF | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|-----------------|-------------|-------------------|------------------|------------|------------|
| Modelo | 13 | 70.89078750 | 5.45313750 | 3.30 | 0.0027 |
| Error | 10 | 16.50450833 | 1.65045083 | | |
| Total corregido | 23 | 87.39529583 | | | |
| | R-cuadrados | C.V. | Raíz CME | | RKG media |
| | 0.811151 | 14.10143 | 1.284629 | | 9.11041667 |

| Recurso | DF | Anova SS | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|----------|----|-------------|------------------|------------|--------|
| TRAT | 5 | 29.64067083 | 5.92813417 | 3.59 | 0.0405 |
| BL | 3 | 11.60944583 | 3.86981528 | 2.34 | 0.1345 |
| INOC | 1 | 2.96103750 | 2.96103750 | 1.79 | 0.2101 |
| DDE | 2 | 19.98285833 | 9.99142917 | 6.05 | 0.0189 |
| INOC*DDP | 2 | 6.69677500 | 3.34838750 | 2.03 | 0.1822 |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD) para la variable: AP
 Alfa= 0.05 df= 10 CME= 0.002048
 Valor crítico del rango Studentizado= 4.912
 Diferencia mínima significativa = 0.1111
 Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | TRAT |
|-------------|--------|---|------|
| A | 1.7475 | 4 | 1 |
| B A | 1.6600 | 4 | 4 |
| B C | 1.5775 | 4 | 5 |
| B C D | 1.5500 | 4 | 6 |
| C D | 1.5075 | 4 | 2 |
| D | 1.4650 | 4 | 3 |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD) para la variable: CGN
 Alfa= 0.05 df= 10 CME= 170.4667
 Valor crítico del rango Studentizado = 4.912
 Diferencia mínima significativa = 32.066
 Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | TRAT |
|-------------|---------|---|------|
| A | 142.250 | 4 | 2 |
| A | 140.000 | 4 | 1 |
| A | 138.750 | 4 | 3 |
| A | 138.750 | 4 | 5 |
| A | 124.500 | 4 | 6 |
| A | 121.250 | 4 | 4 |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD) para la variable: RKG
 Alfa= 0.05 df= 10 CME= 1.650451
 Valor crítico del rango Studentizado = 4.912
 Diferencia mínima significativa = 3.1552
 Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | TRAT |
|-------------|-------|---|------|
| A | 9.830 | 4 | 6 |
| A | 9.803 | 4 | 2 |
| A | 9.723 | 4 | 5 |
| A | 9.668 | 4 | 3 |
| A | 8.915 | 4 | 1 |
| A | 6.725 | 4 | 4 |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD) para la variable: AP
 Alfa= 0.05 df= 10 CME= 0.002048
 Valor crítico del rango Studentizado = 3.151
 Diferencia mínima significativa = 0.0412
 Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | INOC |
|-------------|--------|----|------|
| A | 1.5958 | 12 | 5 |
| A | 1.5733 | 12 | C |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD)para la variable: CGN

Alfa= 0.05 df= 10 CME= 170.4667

Valor crítico del rango Studentizado = 3.151

Diferencia mínima significativa = 11.876

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | INOC |
|-------------|---------|----|------|
| A | 140.333 | 12 | C |
| B | 128.167 | 12 | S |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD)para la variable: RKG

Alfa= 0.05 df= 10 CME= 1.650451

Valor crítico del rango Studentizado = 3.151

Diferencia mínima significativa = 1.1686

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | INOC |
|-------------|-------|----|------|
| A | 9.462 | 12 | C |
| A | 8.759 | 12 | S |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD)para la variable: AP

Alfa= 0.05 df= 10 CME= 0.002048

Valor crítico del rango Studentizado = 3.877

Diferencia mínima significativa = 0.062

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | DDP |
|-------------|--------|---|-----|
| A | 1.7038 | 8 | A |
| B | 1.5425 | 8 | M |
| B | 1.5075 | 8 | B |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD)para la variable: CGN

Alfa= 0.05 df= 10 CME= 170.4667

Valor crítico del rango Studentizado = 3.877

Diferencia mínima significativa = 17.896

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | DDP |
|-------------|---------|---|-----|
| A | 140.500 | 8 | M |
| A | 131.625 | 8 | B |
| A | 130.625 | 8 | A |

Prueba del rango studentizado Tukey(HSD)para la variable: RKG

Alfa= 0.05 df= 10 CME= 1.650451

Valor crítico del rango Studentizado = 3.877

Diferencia mínima significativa = 1.7609

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Grupo Tukey | Media | N | DDP |
|-------------|-------|---|-----|
| A | 9.763 | 8 | M |
| A | 9.749 | 8 | B |
| B | 7.820 | 8 | A |