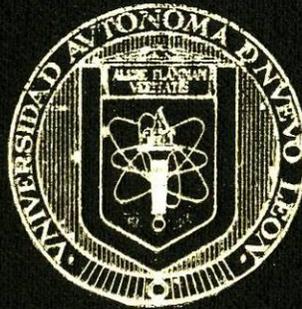


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EVALUACION DE CUATRO CEPAS DE Rhizobium phaseoli
EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) BAJO
CONDICIONES DE HIDROPONIA"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTAN:

MAXIMILIANO ESPINOSA EGUIA
PILAR PERALES RUBIO

MARIN, N. L.

JULIO DE 1988

T

SB327

E85

c.1



1080062536

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EVALUACION DE CUATRO CEPAS DE Rhizobium phaseoli
EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) BAJO
CONDICIONES DE HIDROPONIA"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTAN:

MAXIMILIANO ESPINOSA EGUIA
PILAR PERALES RUBIO

afm
9272

MARIN, N. L.

JULIO DE 1988

T
SB 327
E85

040.635
FA6
1988
C.5



Biblioteca Central
Misma Solidaridad

F. Tesis



FONDO
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

"Evaluación de cuatro cepas de Rhizobium phaseoli en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) bajo condiciones de hidroponia"

Tesis aceptada y aprobada como requisito parcial para optar por el título de INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA, elaborada por MAXIMILIANO ESPINOSA EGUIA y PILAR PERALES RUBIO.

COMITE SUPERVISOR DE TESIS

ING. RONALD J. LECEA JUAREZ

Ph.D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ A.

ING. CECILIO ESCAREÑO RDZ.

Marín, N.L.

Julio de 1988

DEDICATORIA

A DIOS:

Por darme la satisfacción de
haber culminado mis estudios.

A MIS PADRES:

Sr. Armando Espinosa Guadián
Sra. Eusebia Eguia de Espinosa

Con todo mi amor, respeto y
agradecimiento, a sus esfuerzos
y sacrificios que hicieron posible
la culminación de mi carrera.

Que dios los bendiga.

A MIS HERMANOS:

Rosalva

Armando

Carlos

Juan Francisco

Miguel Angel

José Alejandro

Martín Santos

María Hilaria

Con el cariño y estimación

de siempre.

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR:

A MIS PADRES:

Sr. Mariano Perales Rendón

Sra. Angelina Rubio Reyna

A quienes con respeto, amor y cariño me permito ofrecer este trabajo, en eterno agradecimiento por el amor, apoyo y comprensión que siempre me han brindado, y por sus incalculables esfuerzos para el logro de la culminación de mi carrera profesional.

Gracias por todo.

A MIS HERMANOS:

Raúl

Luis Horacio

Ma. Leticia

Nelly A.

Nohemí

Maribel

Con el cariño y afecto de siempre por el apoyo y ayuda que me brindaron durante mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ronald Jorge Lecea Juárez

Por la dedicación y asesoría brindada para llevar a cabo este trabajo.

A los Maestros:

Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Ing. Cecilio Escareño Rodríguez

Por su ayuda en la revisión del presente trabajo y su amistada brindada a lo largo de la carrera.

A mis maestros y amigos, con quienes compartí mi carrera universitaria, así como a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo de tesis.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.	1
II. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1. Origen de <u>Phaseolus vulgaris</u> L.	3
2.2. Importancia del cultivo del frijol.	4
2.3. Clasificación.	5
2.3.1. Taxonómica.	5
2.3.2. Morfológica.	6
2.4. Exigencias ecológicas del frijol.	9
2.4.1. Temperatura.	9
2.4.2. Fotoperíodo.	10
2.4.3. Humedad.	11
2.4.4. Suelos.	11
2.5. El Nitrógeno.	11
2.5.1. Ciclo del Nitrógeno.	12
2.5.2. Formas de Nitrógeno disponible por las plantas.	13
2.5.3. Mineralización.	15
2.5.4. Amonificación.	16
2.5.5. Nitrificación.	17
2.5.6. Desnitrificación.	18
2.6. Conocimientos generales sobre la bacteria <u>Rhizobium</u> sp.	19
2.6.1. Descripción general de <u>Rhizobium</u>	19
2.6.2. Taxonomía.	20
2.6.3. Clasificación de <u>Rhizobium</u>	20
2.7. Fijación Simbiótica del Nitrógeno.	21
2.7.1. Relación planta-bacteria.	21

	Página
2.7.2. Formación del nódulo	22
2.7.3. Cantidad de nitrógeno fijado por <u>Rhizobium</u>	23
2.8. Hidroponia.	23
2.8.1. Definición del concepto.	23
2.8.2. Importancia de la hidroponia.	24
2.8.3. Ventajas de la hidroponia.	26
2.8.4. Desventajas de la hidroponia.	27
2.8.5. Soluciones nutritivas.	28
2.8.6. Cultivos más recomendables en la hi- droponia.	29
III. MATERIALES Y METODOS.	31
3.1. Localización del Sitio Experimental.	31
3.2. Materiales utilizados.	31
3.3. Solución patrón.	32
3.4. Solución Nutritiva Utilizada.	33
3.5. Características Agronómicas de la Variedad "Selección #4".	33
3.6. Descripción del Diseño Experimental.	35
3.7. Metodología	36
3.7.1. Siembra.	36
3.7.2. Inoculación.	36
3.7.3. Trasplante.	37
3.7.4. Aireación.	37
3.7.5. Vigilancia.	37
3.7.6. Variables evaluadas.	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	42
V. CONCLUSIONES.	46

	Página
VI. RECOMENDACIONES.	47
VII. RESUMEN.	48
VIII. BIBLIOGRAFIA.	51
IX. APENDICE.	54

INDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

Cuadro		Página
1	Análisis de varianza para el peso de la planta (g). Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	55
2	Análisis de varianza para altura de planta (cm). Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	55
3	Análisis de varianza para concentración de Cobre en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	56
4	Análisis de varianza para concentración de Hierro en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	56
5	Análisis de varianza para concentración de Manganeso en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	57
6	Análisis de varianza para concentración de Zinc en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	57

7	Análisis de varianza para concentración de <u>Cal</u> <u>cio</u> en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidróponia.	58
8	Análisis de varianza para concentración de <u>Mag</u> <u>nesio</u> en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidróponia.	58
9	Análisis de varianza para concentración de <u>Po</u> <u>tasio</u> en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	59
10	Análisis de varianza para concentración de <u>So</u> <u>dio</u> en la planta. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	59
11	Análisis de varianza para concentración de <u>Mo</u> <u>libdeno</u> en la planta. Evaluación de cuatro ce- pas de <u>Rhizobium phaseoli</u> en el cultivo del frijol bajo condiciones de hidroponia.	60
12	Análisis de varianza para cantidad de <u>Nitróge</u> <u>no</u> fijado. Evaluación de cuatro cepas de <u>Rhi</u> <u>zobium phaseoli</u> en el cultivo de frijol bajo condiciones de hidroponia.	60
13	Comparación Múltiple de medias de tratamien- tos para la variable peso de la planta.	61
14	Comparación Múltiple de medias de tratamien- tos para la variable concentración de Potasio	62

Cuadro Página

15	Comparación Múltiple de medias de tratamientos para la variable Nitrógeno fijado.	63
16	Concentración de resultados para la media, mínima, máxima, rango y coeficiente de variación para las variables estudiadas.	64

Tabla

1	Determinación del Nitrógeno total (tejido), por el método Kjendhal.	65
2	Determinación del Nitrógeno absorbido por la planta.	66
3	Determinación del Nitrógeno fijado por la planta.	67
4	Nitrógeno disponible para el siguiente ciclo..	68
5	Clasificación de los grupos de inoculación de las asociaciones <u>Rhizobium</u> -leguminosa.	69

Figura

1	Ciclo del Nitrógeno.	70
---	------------------------------	----

I. INTRODUCCION

México es uno de los principales países productores de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), debido a que la semilla de dicha leguminosa forma parte esencial en la dieta alimenticia de pueblo mexicano junto con el maíz.

Por tal razón, este cultivo como todos los que de alguna forma son benéficos para el hombre, es estudiado desde el punto de vista agronómico, tendiente a incrementar el rendimiento por unidad de superficie.

El frijol común en México se siembra desde el nivel del mar hasta alturas de 2,500 msnm, cubriendo una superficie aproximada de dos millones de hectáreas con características ecológicas, económicas y sociales muy diferentes. A pesar de esto, México en cierto grado es un país importador de esta leguminosa en los últimos años, después de haber sido uno de los principales exportadores de frijol en América Latina en 1960.

Los cultivos en general requieren de elementos nutricionales como el nitrógeno para elevar la producción. La fijación de nitrógeno por medios biológicos es una de las alternativas con que pudiera contar el hombre en el futuro, como en sustituto o las aplicaciones de elementos nitrogenados.

Las asociaciones simbióticas entre bacterias del género Rhizobium y raíces de plantas leguminosas con nódulos

efectivos son capaces de fijar de 200 a 400 kg de nitrógeno por hectárea en un ciclo de cultivo (20).

La importancia de estudiar la relación planta-bacteria es justificada tomando en cuenta el ahorro que se pudiera tener anualmente por concepto de fertilizantes nitrogenados para frijol, como también el ahorro de energéticos (ya que la escasez de éstos se vislumbra en un futuro no muy lejano) necesarios en la fabricación de estos productos nitrogenados.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son los que a continuación se indican:

1. Obtener la menor combinación bacteria-planta en cuanto a fijación de nitrógeno.
2. Cuantificar la concentración de cada uno de los elementos: Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, K, Ca, Mo y Na en la planta y su efecto en la fijación del nitrógeno.
3. Obtener la cantidad de nitrógeno disponible por ciclo de cultivo.

La hipótesis correspondiente es la siguiente: Existe diferencia entre las cepas de Rhizobium phaseoli para el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en cuanto al peso de la planta, altura de la planta, concentración de Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, K, Ca, Mo y Na.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen de (Phaseolus vulgaris L.)

La especie Phaseolus vulgaris L. fue considerada por Linnaeus (1753) como de origen asiático, señalando la India como posible centro de diversificación. Posteriormente, De Candolle (1886), basándose en los escritos griegos sobre el cultivo de la leguminosa, consideró que P. vulgaris L. procedía de Asia Occidental.

Más tarde Vavilov, de acuerdo con Bucasov (1931), después de haber estudiado numerosas variedades de frijol recolectadas en México, Guatemala, Colombia, Perú, Chile y Bolivia, dedujeron que el área México-Guatemala era el centro de mayor diversificación de la especie Phaseolus vulgaris L.

En México, se han encontrado restos arqueológicos del frijol común, en la región de Ocampo, Tamaulipas y en la Cueva de Coxcatlán, situada en el Valle de Tehuacán, Puebla (25).

El frijol común se cultiva en todos los estados del país, desde el nivel del mar hasta los 2,400 msnm. En forma silvestre, se localiza principalmente a ambos lados de la sierra madre occidental, desde Oaxaca hasta Sinaloa y Durango en una franja de transición ecológica situada entre los 500 y 1,800 msnm, localizándose la mayor frecuencia a una al

tura de 1,200 msnm, también se han localizado formas silvestres en Chiapas.

Desde el punto de vista comercial, en los últimos años en México se habla de grandes grupos o tipos de frijol, tomando en cuenta fundamentalmente el color, forma y tamaño de la semilla. Los tipos más comunes son: Canario, Negro Tropical (Tipo Jamapa), Negro Arriveño (tipo Negro Querétaro), Bayo Gordo, Azufrado, Garbancillo, Flor de Mayo, Pinto Nacional (Americano), Ojo de Cabra, Cacahuate y Alubia principalmente (16).

2.2. Importancia del Cultivo del Frijol

A nivel nacional, el frijol se considera una de los cultivos más importantes en razón de la superficie dedicada a su producción, la cantidad de grano que se consume y por la actividad económica que genera.

El cultivo del frijol se practica en toda la República Mexicana; sin embargo, existen regiones que destacan por la superficie destinada a su producción y por la cantidad de grano, que aportan al consumo nacional, tal es el caso de los Estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Tamaulipas.

El frijol común es uno de los granos que se consume en grandes cantidades y ha sido hasta la actualidad la principal fuente de proteína de la gran mayoría de los mexicanos,

principalmente en el medio rural (16).

En la actualidad el frijol es uno de los cultivos más importantes de México, ya que de acuerdo con datos estadísticos de 1962, ocupa el segundo lugar en importancia como alimento básico, después del maíz y el sexto lugar por el valor de la producción nacional, a continuación del maíz, algodón, trigo, caña de azúcar y café (21).

2.3. Clasificación

2.3.1. Taxonomía

Burkat 1952, citado por Navarro 1983, clasifica al Phaseolus vulgaris L. de la manera siguiente (16):

Orden	Rosales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Phaseolinae
Género	Phaseolus
Especie	Phaseolus vulgaris L.

Principales especies:

- Phaseolus vulgaris L. (frijol común)
- Phaseolus occineus L. (frijol ayocote)
- Phaseolus lunatus L. (frijol lima)
- Phaseolus acutifolius Gray (trijol Tepary)

La especie más importante desde el punto de vista agrícola es Phaseolus vulgaris L. o frijol común, judía, alubia, abichuela, porotos, etc. (21, 22).

2.3.2. Morfológica

Raíz

Presenta una raíz típica o pivotante ramificado en su origen, en la que después se notan nudosidades bacterianas que fijan el Nitrógeno atmosférico. Pueden alcanzar una profundidad de 1 a 2 metros (22).

Tallo

El tallo joven es herbáceo y semileñoso al final del ciclo; es una sucesión de nudos y entrenudos donde se insertan las hojas, el color es variable, verde, rosa o morado, glabro o pubescente, determinado si termina en inflorescencia o indeterminado si su yema apical es vegetativa. El tallo es variable en longitud y ramificación, lo que depende del número de nudos y entrenudos. Las variedades de crecimiento determinado por lo general tienen de cinco a siete nudos y son erectas de tipo arbustivo, las de crecimiento indeterminado varían de 12 a 20 entrenudos y las trepadoras propias para asociación, pueden tener hasta 39 nudos y una altura de guía de 154 a 326 cm.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) maneja cuatro tipos de hábito de crecimiento:

- Tipo I Determinaro arbustivo
- Tipo II Indeterminado arbustivo
- Tipo III Indeterminado postrado
- Tipo IV Indeterminado trepador

El Prgrama de Frijol y la Unidad de Recursos Genéticos del INIA, utiliza la siguiente clasificación:

- Tipo 1 Determinado erecto
- Tipo 2 Indeterminado, guía corta, erecto
- Tipo 3 Indeterminado, guía corta, postrado
- Tipo 4 Indeterminado, guía intermedia, semivoluble
- Tipo 5 Indeterminado, guía muy desarrollada y trepador

Ramas

Nacen en las axilas de las hojas, es decir, entre el tallo y la inserción de la hoja; puede ser primaria si desarrolla del tallo principal, secundaria si desarrollan de una axila de una rama primaria y terciaria, si provienen de una rama secundaria

Hojas

Son de dos tipos: simples y compuestas, insertadas a los nudos de los tallos y ramas mediante el pecíolo. Los cotiledones (hojas seminales) constituyen el primer par de hojas, proveen de sustancias de reserva a la planta en las primeras fases de crecimiento. El segundo par de hojas o

primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo son simples, opuestas y cordadas. A partir del tercer nudo, desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas de tres folíolos, un pecíolo y un raquis.

Flores

Una inflorescencia de racimo, la cual puede ser terminal como sucede en las variedades de hábito determinado o lateral, en las indeterminadas.

La inflorescencia consta de pedúnculo, raquis, brácteas y botones florales.

La flor es papilionada, de simetría bilateral, pedicelada. El caliz es gamocépalo, campanulado, con cinco dientes triangulares. La corola es pentámera, con pétalos diferentes morfológicamente, la corola puede ser blanca, rosada o de color púrpura. La flor consta de 10 estambres, 9 de los cuales son adultos y están soldados por su base formando un tubo alrededor del ovario y un estambre libre localizado frente al estandarte. El pistilo o gineceo es supero con estilo encurvado y estigma lateral terminal.

Fruto y Semilla

El fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina; las semillas se unen a los valvas en forma alterna sobre la sutura placentar. Las vainas generalmente son glabras, de epidermis cerosa y de color verde rosado o púrpura, unifor-

mes o con rayas, dehiscentes o indehiscentes.

La semilla proviene de un óvulo campilótropo, carece de endospermo y consta de testa y embrión. La semilla de frijol presenta un amplia variación en tamaño, color y forma, dando origen así a numerosas variedades solamente por este carácter (16).

2.4. Exigencias Ecológicas del Frijol

Las exigencias ecológicas se refieren a las condiciones ambientales (de clima y suelo) que una determinada especie o cultivo necesita para completar en forma total su ciclo biológico.

2.4.1. Temperatura

Ramírez (1981) citado por Pedroza (1985) menciona que el frijol común (Phaseolus vulgaris L.) para su germinación requieren temperaturas mayores de 8°C; con humedad apropiada y con temperaturas entre 20 y 30°C, el frijol germina en dos o tres días después de la siembra.

La temperatura óptima general para la floración del frijol es alrededor de 15°C, a temperaturas mayores de 26-30°C con deficit de humedad, generalmente las plantas abortan una considerable cantidad de flores, esto último ocurre muy comúnmente en el ciclo temprano en la región al coincidir la floración con altas temperaturas. La temperatura óptima para maduración de frutos es alrededor de 20°C.

Con temperaturas menores a las arriba mencionadas, el desarrollo normal de cultivo puede ser afectado al retrasar el desarrollo, asimismo se debe evitar que el ciclo vegetativo conocido con la época de heladas de cada región en que se vaya a cultivar.

El frijol es muy sensible al frío y únicamente puede desarrollarse a temperaturas superiores a los 16°C, por ser una planta más propia de ser cultivada en climas templados, secos y ligeramente calurosos, que en los fríos o relativamente fríos. También puede perjudicarle un excesivo calor, evitando la fecundación floral y que amarre el fruto (18).

2.4.2. Fotoperíodo

El cultivo del frijol se clasifica dentro de las plantas que requieren una corta duración del período de luz, aunque el efecto del fotoperíodo sobre la floración no es importante, ya que la mayoría de las variedades que existen actualmente son indiferentes a éste.

Algunos genotipos, si se cultivan en lugares de día largo se ven afectados en forma indirecta en el rendimiento, ya que se provoca un abundante desarrollo vegetativo, disminuyendo el reproductivo.

En lo que se refiere a la intensidad de la luz necesaria para la planta, ésta tendrá que ser adecuada ya que tiene un efecto indirecto en la fotosíntesis y la respiración; el equilibrio de los anteriores procesos implican la existencia

cia adecuada de la fotosíntesis (8).

2.4.3. Humedad

Bajo condiciones de temporal para un rendimiento óptimo de Phaseolus vulgaris L. en general requiere alrededor de 600 mm de precipitación pluvial durante su ciclo o bien auxiliarse con agua de riego, cuya cantidad a suministrar al igual que cuando se establece bajo condiciones de riego normal, dependerá del tipo de suelo y la cantidad de precipitación pluvial que se presenten (27).

2.4.4. Suelos

El frijol prospera bien en suelos fértiles de estructura media, como el granco limo-arcilloso; los suelos deben ser profundos y bien drenados con un pH entre 5.5 y 6.5 o mayores, pero el problema con pH's alcalinos puede ser la indisponibilidad por forma no asimilable y no por cantidad de fierro, Zinc y otros micronutrientes.

Los suelos con alto contenido de materia orgánica pueden favorecer el excesivo crecimiento vegetativo de la planta en perjuicio de la producción de semillas y/o vainas.

2.5. El Nitrógeno

El Nitrógeno es uno de los constituyentes principales de la materia viva y es nutriente esencial para los vegetales que lo asimilan en forma de iones de nitrato y amonio.

Es un elemento mundialmente deficiente en el suelo, ya que por lo general existe escasamente y es removido en grandes cantidades por los cultivos, además de perderse con facilidad en el suelo, por lixiviación, erosión y volatilización.

En el suelo el nitrógeno sufre una serie de reacciones bioquímicas sucesivas complejas reversibles y que en conjunto constituyen el llamado "Ciclo del Nitrógeno", fenómeno que ha sido estudiado extensamente durante los últimos años conociéndose muchos aspectos, pero no sabiéndose con certeza otros (7).

2.5.1. Ciclo del Nitrógeno

Los elementos químicos utilizados por las plantas pasan a través de un ciclo de cambios químicos mientras son absorbidos, utilizados y restaurados a una forma en la que puedan otra vez ser absorbidos.

El Ciclo del Nitrógeno (Figura 1) en el que las bacterias desempeñan varios papeles importantes, es un ciclo interesante y delicadamente balanceado.

Los pasos principales en el ciclo del nitrógeno, según Cronquist (1977) son los que a continuación se indican:

1. Los nitratos son absorbidos por las plantas y utilizados en la manufactura de proteínas y otros compuestos orgánicos nitrogenados. Algunas de las proteínas producidas por las plantas son consumidas por los animales

y utilizadas en la formación de sus propias proteínas.

2. Proteínas, animales y vegetales (y otros compuestos nitrogenados) y desechos nitrogenados son utilizados como fuente de alimento para bacterias y hongos de la descomposición, dando como resultado la formación de amoníaco y compuestos de amonio.
3. Estos compuestos amoniados son oxidados a nitritos por nitrosomas y otras bacterias.
4. Los nitritos son oxidados a nitratos por nitrobacter y otras bacterias.

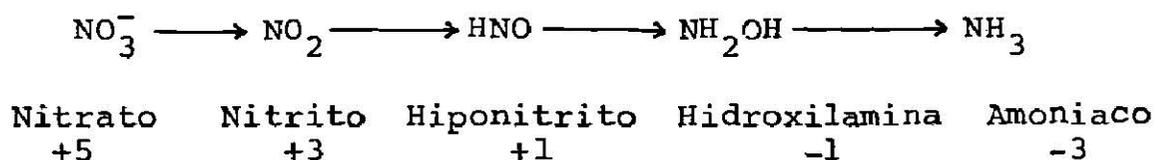
2.5.2. Formas de Nitrógeno disponible por las plantas

Las formas de nitrógeno que se encuentran a disposición de la planta pueden distribuirse en cuatro grandes grupos:

1. Nitrógeno en forma de nitrato
2. Nitrógeno en forma de amoniacal
3. Nitrógeno en forma orgánica
4. Nitrógeno molecular.

Nitrógeno en forma de Nitrato y amoniacal. Las raíces de la mayor parte de las plantas superiores absorben nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3^-). Sin embargo, el nitrógeno en esta forma no puede ser directamente empleada por la planta, sino que debe ser reducido hasta amoníaco antes de que pueda ser incorporado a los compuestos nitrogenados de la planta.

La secuencia de la reducción de NO_3^- en NH_4 se realiza como sigue:



El Nitrógeno en forma de nitrato, es una forma inorgánica producto de la descomposición de las proteínas gracias al proceso de nitrificación. Mientras que el nitrógeno en forma amoniacal (NH_4^+) es producto de la reducción del amoníaco, que es un compuesto intermedio del proceso de nitrificación y que se produce específicamente en una fase llamada amonización.

Nitrógeno en forma orgánica. Como fuente nitrogenada para su crecimiento, muchas plantas pueden utilizar también Nitrógeno orgánico, además de nitrógeno inorgánico. Muchos de los aminoácidos y de las aminas suministrarían así nitrógeno aprovechable para el crecimiento de la planta. Asimismo, la urea representa una buena fuente de nitrógeno orgánico. Gran parte del nitrógeno del suelo se encuentra en forma orgánica, básicamente en forma de proteínas. La degradación de las proteínas libera aminoácidos libres que, a su vez, son oxidados hasta el nivel de nitrato antes de ser absorbidos por la planta, o bien, dichos aminoácidos pueden ser empleados directamente por el vegetal.

Nitrógeno molecular (N_2). La fuente de-nitrógeno más abundante existe en la tierra es la atmósfera, que lo contiene en forma molecular. Sin embargo, solo relativamente pocas plantas son capaces de asimilar o "fijar" nitrógeno a partir de esta abundantísima y corresponden exclusivamente a plantas inferiores, tales como cierto grupo de bacterias de algas azules. El empleo directo de nitrógeno molecular se denomina fijación asimbiótica de nitrógeno y la utilización indirecta de nitrógeno molecular se llama fijación simbiótica de nitrógeno (6).

En esta forma de nitrógeno, es donde intervienen las bacterias del género Rhizobium sp.

2.5.3. Mineralización

La conversión de nitrógeno orgánico al estado inorgánico, más móvil se conoce como mineralización del Nitrógeno, un proceso análogo a la liberación de CO_2 a partir de los materiales carbonados en el que ambas transformaciones dan como resultado la liberación de los elementos en formas inorgánicas. Los dos procesos también están relacionados por el hecho de que son el único mecanismo de regenerar el nutriente en una forma útil para el desarrollo de las plantas verdes. Como consecuencia en la mineralización se produce amonio y nitrato y desaparece el nitrógeno orgánico. Estos productos delimitan dos procesos microbiológicos distintos Amonificación y Nitrificación, término que usualmente se

adapta para referirse a la oxidación del amonio a nitrato (1).

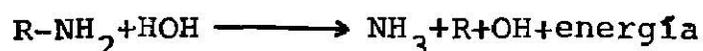
La transformación probablemente solo puede tener lugar a través de las etapas siguientes:



y hasta donde alcanzan nuestros conocimientos estas transformaciones son realizadas predominantemente en el suelo por microorganismos (23).

2.5.4. Amonificación

Las aminas y los aminoácidos así liberados son utilizados ulteriormente por otros grupos de organismos heterótrofos con la liberación de compuestos amoniacales. Esta etapa se denomina amonificación y se representa como sigue:



El amoniaco así liberado sufre destinos diversos en el suelo:

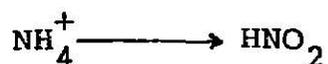
1. Puede ser convertido a nitritos y nitratos por el proceso de nitrificación.
2. Puede ser absorbido directamente por las plantas superiores.
3. Puede ser utilizado por los organismos heterótrofos en ulteriores descomposiciones de los residuos carbonados orgánicos.

4. Puede ser fijado en una forma no utilizable biológicamente en los tramados de ciertos tipos de arcilla minerales en expansión.

2.5.5. Nitrificación

El fenómeno de la nitrificación en el suelo es un proceso biológico muy importante, ya que de él depende el que las plantas dispongan de suministros adecuados de Nitrógeno en forma de nitratos, que es la forma nitrogenada que más fácilmente absorben las plantas. La nitrificación es el proceso por el cual el amonio es convertido a nitratos. Este proceso es efectuado, su mayor parte por bacterias clasificadas como organismos autótrofos, porque la energía para la síntesis de sus componentes orgánicos la derivan de la oxidación de sales inorgánicas simples y el carbono del CO_2 de la atmósfera que los rodea. Generalmente se considera que la nitrificación tiene lugar en dos etapas distintas estrechamente relacionadas, llamadas nitrificación y nitratación.

Primero, el ión amonio es convertido a nitritos principalmente por bacterias del género Nitrosomonas. La reacción puede representarse así:



El segundo paso es llevado a cabo por un grupo de organismos de los cuales el más importante es Nitrobacter sp.



El proceso de nitrificación en el suelo es afectado por muchos factores ecológicas, entre los cuales están los siguientes: pH, aireación, humedad del suelo, temperatura del suelo, contenido de nutrientes, materia orgánica, abundancia de ión amonio, capacidad de intercambio de cationes, efecto de la fuente de nitrógeno agregado y población de microorganismos nitrificantes (23).

2.5.6. Desnitrificación

La desnitrificación es el proceso mediante el cual el nitrato es reducido a nitrógeno gaseoso u óxidos de nitrógeno por bacterias y hongos capaces de utilizar el nitrato como fuente de oxígeno (17). Este proceso lo realizan bacterias anaerobicas, que toman el oxígeno que necesitan para su respiración de los nitratos, reemplazando así el oxígeno que falta en el suelo (11).

La función de las bacterias desnitrificantes es llevar a cabo la reducción de nitratos ($-\text{NO}_3$) a nitritos ($-\text{NO}_2$) y la liberación de amoniaco libre (NH_3) y a veces del nitrógeno gaseoso libre, como pasos finales en la descomposición microbiana de la materia orgánica inerte. Varios organismos anaerobios del suelo utilizan nitratos como aceptores de hidrógeno y por esto, se reducen de nitratos a nitritos. Las proteínas y otros componentes nitrogenados orgánicos se descomponen en aminoácidos y los grupos amino ($-\text{NH}_2$) se desprende

den en forma de amoníaco (NH_3) (4).

2.6. Conocimientos Generales sobre la Bacteria Rhizobium sp.

2.6.1. Descripción general de Rhizobium

Bergey (1957), citado por Pérez (1980) afirma que la familia Rhizobiaceae está formada de tres diferentes géneros: Rhizobium Agrobacterium y Chromobacterium. El nombre de esta familia, está formado de dos raíces griegas "Rhiza" = raíz y "bios" = vida. Estos microorganismos son bacilos Gram-negativos, de tamaño medio y se encuentran en casi to dos los suelos. Cuando son jóvenes poseen flagelas por lo que tienen capacidad de movimiento (20).

Se describe a Rhizobium como una bacteria aerobia, ca paz de producir nódulos en las diferentes raíces de las le guminosas, son gram-negativas, miden de 0.5 a 0.9 de ancho por 1.2 a 3. micras de largo, son móviles cuando jóvenes comúnmente cambian a forma bacteroidales en un cultivo arti ficial que contiene alcaloides o glucósidos, o debido a un incremento en la acidez, o bien durante la simbiosis dentro del nódulo. La temperatura óptima en que viven es de 25°C. Es una bacteria de tipo heterotrófica.

Los bacilos de Rhizobium, tienen de dos a cinco flage los pétricos sobre la superficie y uno de ellos subpolar, en la mayoría de los casos. Los flagelos peritricos se despren den fácilmente lo que no sucede con flagelo subpolar (20).

2.6.2. Taxonomía

Reino:	Vegetal
Subreino	Thalophita
Orden	Eubacteriales
Familia	Rhizobiaceae
División	Schizophita
Clase	Chizomycetes
Género	Rhizobium
Especie	Leguminosarum, phaseoli, trifolii, lupini, japonicum y meliloti (24).

2.6.3. Clasificación de Rhizobium

Pérez (1980) menciona que un concepto generalmente aceptado para la clasificación del género Rhizobium es la de grupos de inoculación cruzada, dicha agrupación se refiere solamente a la relación organismo-planta, sin tomar en cuenta las características individuales de la bacteria. Se define como grupo de inoculación cruzada a las leguminosas que pueden ser inoculadas por un mismo Rhizobium y en consecuencia, una especie del género Rhizobium está formada por todas las cepas que nodulan a un grupo de inoculación cruzada.

Se reconocen seis grupos de inoculación cruzada, basados en el supuesto de que todas las cepas que forman un grupo, podrían infectar todas las especies de plantas dentro del grupo y nunca fuera de él. Se considera que cada espe-

cie de *Rhizobium* infecta a diferentes especies de leguminosas de cada grupo (23).

Stevenson F.J. citado por Tisdale (1982), emite un esquema de clasificación de las asociaciones *Rhizobiu*-leguminosa, el cual se muestra en la Tabla 5.

2.7. Fijación Simbiótica de Nitrógeno

2.7.1. Relación Planta-Bacteria

Russell (1959) afirma que la mayor parte de las leguminosas tienen nódulos en sus raíces cuando se desarrollan en condiciones naturales, nódulos que son el asiento del principal proceso de fijación del nitrógeno de importancia agrícola en las regiones templadas y probablemente también en las tropicales. Estos nódulos contienen bacterias viviendo simbióticamente con la planta; las hojas de la planta suministran los carbohidratos y las bacterias el nitrógeno para el organismo combinado (23, 22, 3).

Ni la leguminosa ni el *Rhizobium* solos puede fijar nitrógeno; pero la interacción entre los dos lleva al desarrollo de la capacidad fijadora de nitrógeno. Las leguminosas y el *Rhizobium* pueden proliferar en ausencia de otro, tanto en la naturaleza como en el laboratorio, de tal modo que la asociación entre los dos no es obligada (2).

Los nódulos necesitan también un adecuado suministro de calcio y fosfato, así como de molibdeno para fijar nitró

geno. Las bacterias de los nódulos necesitan una fuente de energía si han de fijar nitrógeno, estimando las necesidades en unos 20 kg de carbohidratos por cada kilogramo de nitrógeno o aproximadamente 80 Kcal por gramo de nitrógeno fijado. Este suministro de carbohidratos a los nódulos tiene la consecuencia de que la respiración de una raíz nodulada será mucho más elevada que la de una raíz normal (23).

El molibdeno es esencial para el proceso de fijación de nitrógeno, a pesar de ser requerido por cantidades insignificantes, este micronutriente es necesario en las reacciones enzimáticas, por las cuales el nitrógeno queda fijado (3).

2.7.2. Formación del Nodulo

En la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico realizado por *Rhizobium* ocurre previamente la formación de nódulos en la raíz.

En el desarrollo de la estructura nodular, el paso inicial involucra la liberación de productos de excreción vegetal que son estimulantes para las bacterias dentro de la zona radicular (1, 17).

Solo una pequeña parte de los pelos radicales infestados desarrollan nódulos, siendo alrededor de un 5% de las infecciones las que los producen. En la raíz siempre hay un pequeño número de células tetraploides, las cuales al ser infestadas son estimuladas a dividirse, produciendo así

nódulos de aspectos tumoral (2).

El nódulo maduro fijador de N_2 es rojo, color que resulta de la producción de una proteína que contiene hierro parecida a la hemoglobina denominada leghemoglobina; capaz de tomar y ceder oxígeno molecular (2, 26).

No todos los nódulos formados son capaces de llevar a cabo la fijación simbiótica de N_2 , por lo que la capacidad relativa de la asociación planta-bacteria para asimilar la N_2 se conoce como efectividad (1).

2.7.3. Cantidad de Nitrógeno fijado por Rhizobium

El nitrógeno fijado anualmente por las bacterias de las leguminosas, depende de la naturaleza del suelo, de la especie, de la planta y otros factores. Algunos nódulos llegan a fijar 280 kg de nitrógeno por hectárea al año, pero generalmente la cantidad media es de unos 90 kg/ha/año (30).

Bukman y Brody (1977) afirman que la condición del suelo sobre todo la aireación, drenaje, humedad y cantidad de calcio activo, son de primordial importancia en relación a la cantidad de nitrógeno fijado por las bacterias.

2.8. Hidroponia

2.8.1. Definición del concepto

El término hidroponia deriva de los vocablos griegos "hydro" o "hedor", que significa agua y "ponos", equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como "tra

bajo del agua" o "actividad del agua".

Se puede definir a la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución (25, 9).

2.8.2. Importancia de la Hidroponia

La hidriponia, considerada como un sistema de producción agrícola, tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones (ecológicas, económicas y sociales) y para diversos usos.

Para producir alimentos en zonas áridas; donde las fuentes de agua son limitadas, dado que con la hidroponia es posible recircular el agua y evitar su pérdida por evaporación, se considera que casi solo se pierde la que se transpira.

Para producir en regiones tropicales; bajo condiciones de clima cálido-seco, el cultivo de hidroponia resulta económico, por no requerir gastos en invernadero ni estructuras semejantes.

Para producir bajo condiciones de clima templado y

frío; donde con el sistema de hidróponia podemos obtener varias cosechas al año, aumentar el rendimiento y cosechas fuera de estación.

Para producir en lugares donde el agua tiene un alto contenido de sales; es posible hacer la solución nutritiva añadiendo solo aquellas sales que hacen falta para balancear las.

Para producir en aquellos lugares en donde no es posible la agricultura normal, debido a limitantes de suelo, tales como salinidad, erosión, pedregosidad, rocosidad, arcilla, tepetate, con pendientes fuertes, etc.

Para producir hortalizas en las ciudades, se pueden obtener hortalizas en azoteas, jardines, patios, terrazas, etc.

Para producir flores y plantas ornamentales, plantas medicinales y aceites esenciales de alta calidad.

Para realizar investigaciones fisiológicas. En la investigación de problemas nutricionales en el suelo, los cuales pueden afectar el resultado, lo cual se evita con la hidroponia.

Para realizar investigaciones ecológicas. Con el sistema hidropónico, toda la variación debido a los factores hedáficos puede ser prácticamente eliminada, así como mantener los factores climáticos constantes, los cuales pueden afectar el rendimiento.

2.8.3. Ventajas de la Hidroponia

Otro gran atractivo de la hidroponia es la reducción de los requisitos del agua. En el campo se requiere de 30 a 100 veces más agua para cultivar hortalizas o pastos de similar calidad. por lo que la hidroponia es ideal para las áreas desérticas resulta más económico usar la luz del sol.

El resultado final es muy satisfactorio. Las hortalizas son de apariencia uniforme y perfecta, debido a la creación de un ambiente ideal que no puede existir en la naturaleza (12).

Sánchez (1983) nos proporciona las siguientes ventajas del sistema hidropónico:

1. Balance ideal de aire, agua y nutrientes
2. Humedad uniforme
3. Excelente drenaje
4. Permite una mayor densidad de población
5. Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutrimento
6. Perfecto control del pH
7. No depende tanto de los fenómenos meteorológicos
8. Más alto rendimiento por unidad de superficie
9. Mayor calidad del producto
10. Mayor precocidad en los cultivos
11. Se pueden producir varias cosechas al año
12. Se requiere mucho menor cantidad de espacio para producir el mismo rendimiento que en el suelo.

13. Gran ahorro en el consumo de agua
14. Reducción de los costos de producción
15. Se puede utilizar agua con alto contenido de sales
16. Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión.

Además de las anteriores, Fuller (1974) cita las siguientes ventajas:

17. La renovación frecuente de las soluciones hidropónicas impiden acumulación de productos de descomposición orgánica tóxicos, que pueden producirse en los suelos.
18. Las condiciones son relativamente desfavorables para el desarrollo de bacterias, hongos superiores y otros organismos, susceptibles de causar enfermedades de las plantas de cultivo.
19. No crecen en los cultivos malas hierbas.

2.8.4. Desventajas de la Hidroponia

1. Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica.
2. A nivel comercial el gasto inicial es relativamente alto.
3. Se requiere cuidado con los detalles como el de no mezclar correctamente la solución nutritiva, usar tubería o depósitos galvanizados, lo que ocasiona toxicidad por

Zinc, darle demasiada o muy poca pendiente a las camas provocando asfixia en las raices por humedad constante, el no mantener el pH de la solución dentro de cierto rango, no analizar el agua utilizada para preparar la solución etc.

4. Se necesita conocer y manejar la especie que se cùltiva en el sistema (25).

2.8.5. Soluciones Nutritivas

Las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en las dosis convenientes (9).

Las soluciones nutritivas son exclusivamente de compuestos inorgánicos. Los principales son: Nitrato de Calcio, Nitrato de Potasio, Fosfato de Potasio o de Amonio, Sulfato de Magnesio y los microelementos Fe, Cu, Mg, Zn, B y Mo en forma inorgánicas.

Las autoridades británicas recomiendan las siguientes concentraciones en la solución nutritiva:

Nitrógeno	150-220 ppm	Cobre	0.1
Fósforo	50	Zinc	0.1
Potasio	300-500	Boro	0.2
Calcio	150-300	Molibdeno	0.05
Magnesio	50	Sodio	250
Hierro	3- 12	Cloro	400
Manganeso	1		

El Nitrógeno debe ser solo en forma de nitrato y la concentración de Hierro debe ser más alta al comienzo de la estación (13).

2.8.6. Cultivos más recomendables en la Hidroponia

Con un manejo correcto es posible efectuar con éxito el cultivo hidropónico de casi todas las plantas ornamentales, así como de numerosas hortalizas. Por motivos económicos encuentra esta nueva técnica solamente aplicación en cultivo muy contados y especiales.

1. Floricultura

Géneros y especies más recomendables:

Antharium andreanum

A. scherzerianum

Asparagus sprengeri

A. plumosus

Chrysanthemum indicum (crisantemos)

Dianthus coryophyllus (clavel)

Freesia y Freesias híbridas

Gerbera jamesonii

Gladiolus sp. (gladiolo)

Lathyrus odoratus (guisante de olor)

Fam. Orquidaceae Cattleya sp.

Dendrobium sp.

Phalaenopsis sp.

Paphiopedilum sp.

Oncidium sp.

Cymbidium sp.

2. Horticultura

Para las instalaciones de cultivos hidropónicos en invernadero, las hortalizas de fruto, como tomate y pepino, tienen una especial importancia. Otras especies hortícolas como lechuga, colirrábano o rábano.

Penningsfeld (1960) encontró en unos ensayos similares en los cuales solo se estudiaron los tipos de sustratos y no la forma de cultivo (repicado o en maceta) que el pepino, coliflor, col roja y apio que provenían del sustrato de turba produjeron una vez trasplantados en el campo, mucho más cosecha, aunque los resultados comparativos con los que provenían de tierra normal no fueron significativos.

3. Cultivos Especiales

Viveros de arbustos. Se utilizan numerosas especies de coníferas. Las variedades de Rododendros (Rh. "Cunninghoms White", Rh. Catawbiense, Rh. Roseum elegans").

El cultivo de fresas var. Senga Sengana y algunas otras especies de importancia económica (25).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del Sitio Experimental

El presente trabajo se realizó durante los meses de Septiembre-Noviembre de 1987, en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual se encuentra localizado en el municipio de Marín, N.L. sobre la carretera Zuazua-Marín en el kilómetro 17, siendo sus coordenadas geográficas 25°53' Latitud-Norte y 100°03' Longitud Oeste, con una altitud de 367 msnm.

3.2. Materiales

En el presente experimento se utilizaron los siguientes materiales:

Material biológico

- Cepas de bacterias Rhizobium phaseoli

T₁ = Cepa 14

T₂ = Cepa 167

T₃ = Cepa 138

T₄ = Cepa FM 121

T₅ = Testigo (sin cepa)

- Semilla de frijol "Selección 4 Delicias 71

Material instrumental

- 20 Frascos de 3 lt cada uno, de vidrio oscuro

- Solución nutritiva
- Hielo seco
- Charola de propagación
- Perlita
- Cuatro motores (bombas de aireación)
- Agua destilada
- Manguera de 4 mm de diámetro
- Vasos de precipitados
- Pipetas
- Molino Wiley de acero inoxidable
- Kjendhal
- Espectrofotómetro
- Estacas

3.3. Solución Patrón

Nombre del reactivo	Fórmula	g/lt
A. Fosfato ácido de Amonio	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	23
B. Nitrato de Amonio	NH_4NO_3	40
C. Nitrato de Calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	189
D. Cloruro de Calcio	CaCl_2	29
E. Nitrato de Potasio	KNO_3	121
F. Sulfato de Potasio	K_2SO_4	87
G. Microelementos:		
1. Acido bórico	H_3BO_3	0.72
2. Sulfato de cobre (cristales)	$\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.02
3. Sulfato ferroso (cristales)	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.70
4. Cloruro de manganeso (cristales)	$\text{MnCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.45

5. Sulfato de Zinc (cristales)	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	0.06
6. Acido molibdico (85% MoO)	$HMoO \cdot H_2O$	0.01

NOTA: Los microelementos se disuelven uno tras otro y el $Fe SO_4$ al final

3.4. Solución Nutritiva Utilizada

Las cantidades que enseguida se mencionan son para preparar un litro de solución nutritiva

Fuentes	ml/lit de agua destilada
A	5
B	5
C	2
D	1
E	1
F	1
G	1

3.5. Características Agronómicas de la Variedad Selección 4

La variedad de frijol "Selección 4" posee las características siguientes:

- Semilla obtenida por selección individual de la variedad comercial Delicias 71.
- La planta es de tipo semiguía o guía corta (crecimiento semideterminado postrado).
- Su ciclo vegetativo es de 95-100 días.

- d). Días a floración 55.
- e). Flor de color blanca
- f). Semilla pequeña de color café claro con manchas café oscuro.
- g). Se recomienda sembrarla en terrenos nivelados, ya que la acumulación de agua en las partes bajas del terreno provoca que las plantas se tornen cloróticas.
- h). La densidad de siembra de 30 kg/ha, con surcos de una separación de 80 cm.
- i). Esta variedad es resistente a enfermedades como por ejemplo tizón común y plagas como la chicharrita
- j). La humedad para almacenar la semilla más adecuada es de 10 a 12%.
- k). La semilla debe estar seca antes de ser encostalada para evitar el desarrollo de hongos
- l). La protección de la semilla para evitar plagas en el almacén principalmente contra gorgojos. Se hace fumigando el local, utilizando para ello una mezcla de Arazán y Clordano.
- m). El rendimiento promedio (\bar{X}) bajo condiciones de riego es de 969 kg/ha, y en temporal el rendimiento es de 656 kg/ha.
- n). Algunas zonas del estado donde se siembra bajo riego son: Cerralvo, General Bravo, General Terán, Marín, Mina, Montemorelos, Zuazua.
- o). Algunas zonas del estado donde se siembra en temporal son: Anáhuac, Dr. González, Los Herrera, Salinas Victoria.

3.6. Descripción del Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado en este trabajo de investigación fue un diseño completamente al azar, constando de cinco tratamientos con cuatro repeticiones, con lo cual se generaron 20 unidades experimentales.

El modelo estadístico corresponde al diseño completamente al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, s \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = Es el valor observado de la variable bajo estudio en el tratamiento i de la repetición j

M = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} - Es el error aleatorio que surge por el efecto conjunto de todos los factores no controlados por el diseño y que causan heterogeneidad en el experimento.

Los tratamientos son los que a continuación se indican cepas de Rhizobium phaseoli

T_1 : Cepa 14

T_2 : Cepa 167

T_3 : Cepa 138

T_4 : Cepa FM 121

T_5 : Sin cepa (testigo)

3.7. Metodología

El desarrollo del cultivo del frijol se llevó a cabo utilizando la técnica de hidroponia (solución nutritiva), lo que nos permite tener un control cuantitativo de los nutrientes proporcionados a la planta, donde se probaron cuatro cepas diferentes de Rhizobium phaseoli y un testigo, el cual no fue inoculado con la bacteria, obteniéndose un total de cinco tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento, resultando un total de 20 observaciones.

3.7.1. Siembra

Dado que es imposible que la germinación se lleve a cabo directamente en la solución nutritiva, la siembra se llevó a cabo el 14 de Septiembre de 1987, colocando la semilla en charolas germinadoras, utilizando perlita como sustrato, posterior a esto se mantuvo húmedo el medio para favorecer la germinación, presentándose ésta a los cuatro días después de la siembra.

Quince días después de la siembra las plántulas alcanzaron una altura de 10-15 cm, óptimas para efectuar el trasplante.

3.7.2. Inoculación

Una vez obtenidas las plántulas para el trasplante, se procedió a inocular las bacterias en el sistema radicular de la planta. Inoculando con la cepa correspondiente a cada

tratamiento. Dicha inoculación se realizó poniendo en contacto directo las cepas con la raíz de la plántula, usando aproximadamente 100 mg por plántula, siendo suficiente para que la infección se lleve a cabo.

3.7.3. Trasplanta

El trasplante se realizó 15 días después de la siembra, después de haberse llevado a cabo la inoculación. Colocando las plántulas en los frascos que contenían la solución nutritiva donde completarían su ciclo biológico.

3.7.4. Aireación

Esta se logró colocando bombas eléctricas de aireación con ayuda de mangueras de 4 mm de diámetro introducidas a cada uno de los frascos que proporcionaban la oxigenación del sistema radicular.

3.7.5. Vigilancia

Durante el desarrollo del cultivo, se vigiló continuamente el funcionamiento de las bombas para mantener una buena oxigenación del sistema radicular y con esto, evitar que la planta muriese por ahogamiento.

Además, se estuvo vigilando también que no les faltara solución nutritiva a las plantas, por lo que se les estuvo aforando los frascos cada vez que fue necesario, siendo esto aproximadamente cada semana.

Dos semanas después del trasplante, fue necesario el

estacado, ya que la variedad de frijol "Selección 4" es de hábito de crecimiento de tipo semiguía o guía corta y para tener un buen manejo de éstas en los frascos se colocaron estacas de madera aprox. de 80 cm de altura, sujetas a los frascos, las cuales sirvieron de sostén para las guías que trepaban.

3.7.6. Variables evaluadas

El registro de datos en el experimento se llevó a cabo solo hasta floración, ya que en el invernadero por falta de control de la temperatura, llegando a tener temperaturas mayores de 30°C, provocando la caída de las flores.

Las variables bajo estudio fueron:

X01: Peso fresco de la planta (g)

X02: Altura de la planta (cm)

X03: Concentración de cobre en la planta (mg)

X04: Concentración de fierro en la planta (mg)

X05: Concentración de Manganeso en la planta (mg)

X06: Concentración de Zinc en la planta (mg)

X07: Concentración de Calcio en la planta (mg)

X08: Concentración de Magnesio en la planta (mg)

X09: Concentración de Potasio en la planta (mg)

X10: Concentración de Sodio en la planta (mg)

X11: Concentración de Molibdeno en la planta (mg)

X12: Nitrógeno fijado por la planta (mg)

Para el peso fresco de la planta (X01) se extrajeron todas las plantas y se dejaron escurrir y posteriormente se pesaron en una balanza analítica con todo y raíz.

Para la variable altura de la planta (X02) se midió desde el cuello de ésta hasta la inserción de la guía más alta con el tallo.

Para la variable X03 y X11 que corresponden a concentración de cobre, fierro, manganeso, zing, calcio, magnesio, potasio, sodio y molibdeno respectivamente. Estas variables se determinaron por medio de un análisis de tejido vegetal, de la siguiente manera:

1. Preparación de la muestra

La muestra fresca de tejidos vegetales se dejó secar a temperatura ambiente. Posteriormente es molida en un molino Wiley de acero inoxidable, utilizando un tamiz de 20 mesh o de 40 mesh.

2. Incineración o digestión de las muestras

Procedimiento de incineración en seco

Pesar 1 g de muestra de tejido vegetal dentro de un recipiente de evaporación, ya sea un crisol Gooch o un frasco pyrex Erlenmeyer de 50 ml, e incinerar de seis a diez horas en la mufla a una temperatura de 475 a 500°C. Enfriar y humedecer con agua destilada y luego agregar aproximadamente 2 ml de HCl concentrado. Evaporar muy lentamente en baño maría o en una plancha caliente. Uti-

lizando el dispensador múltiple agregar 25 ml de solución 1N HCl y luego filtrar.

3. Procedimiento analítico

- a. Tomar 1 ml de la alicuota del filtrado y agregar 24 ml de agua destilada.
- b. Para determinación de Ca, tomar 2 ml de la alicuota de la dilución (1) y agregar 8 ml de H₂O destilada y 10 ml de solución de lantano al 1%. Analizar utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica.
- c. Para la determinación de Mg, K y Na, tomar 1 ml de la alicuota de la dilución (1) y agregar 9 ml de solución de lantano al 1%, 15 ml de agua destilada. Analizar por medio de absorción atómica.
- d. Para determinación de Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, se utiliza el filtrado original, analizar estos elementos por medio de absorción atómica.

En lo que respecta a la variable nitrógeno fijado por la planta (X12), se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$N \text{ fijado} = N \text{ total (tejido)} - N \text{ absorbido}$$

Donde:

N_{total} (tejido): Este se determinó por el método Kjendhal, donde se obtuvieron los valores en porcentaje y posteriormente estos fueron transformados a miligramos (mg)

Tabla 1.

N absorbido: Es el nitrógeno absorbido de la solución nutritiva por la planta.

La solución nutritiva aportó por cada litro 123 ppm de nitrógeno, por lo tanto el volúmen de agua que hay en la planta nos proporciona las ppm absorbidas (1 ppm = 1 mg) Tabla 2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo para cada una de las variables analizadas, con sus análisis de varianza y su respectiva prueba de comparación de medias (Tukey) para las variables que resulten significativas.

Peso de la Planta

El análisis de varianza correspondiente a dicha variable se reporta en el Cuadro 1, en el cual se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, se obtuvo un C.V. de 36.29%.

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 3 (cepas 138) fue el que reportó un mayor incremento en el peso promedio de la planta 62.15 g, siendo estadísticamente igual a los tratamientos 2 (cepa 167), 4 (cepa FM 121), 1 (cepa 14) y diferente estadísticamente al tratamiento 5 (testigo) que fue el más bajo en un peso promedio de planta de 19.10 g (Cuadro 13).

Altura de Planta

Refiriéndose a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, resultado un C.V. de 33.40% (Cuadro 2).

Concentración de Cobre en la Planta

Con respecto a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, reportando un C.V. de 71.27% (Cuadro 3).

Concentración de Fierro en la Planta

En el análisis de varianza correspondiente a esta variable analizada, no mostró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, el C.V. para esta variable bajo estudio fue de 25.12% (Cuadro 4).

Concentración de Manganeso en la Planta

En base al análisis de varianza correspondiente a esta variable, no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, reportando un C.V. de 40.47% (Cuadro 5).

Concentración de Zinc en la Planta

Refiriéndose a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, resultado un C.V. de 31.13% (Cuadro 6).

Concentración de Calcio en la Planta

En el análisis de varianza correspondiente a esta variable, no presentó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, obteniéndose un C.V. de 17.71% (Cuadro 7).

Concentración de Magnesio en la Planta

En base al análisis de varianza correspondiente a esta variable, no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, reportando un C.V. de 32.76% (Cuadro 8).

Concentración de Potasio en la Planta

Con respecto a esta variable analizada en el análisis de varianza se encontró diferencia altamente significativa entre tratamiento, con un C.V. de 6.52% (Cuadro 9).

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 3 (cepa 138) fue el que reportó una mayor concentración de Potasio en la planta de 25.31 mg, siendo estadísticamente igual a los tratamientos 4 (cepa FM-121), 5 (testigo), 2 (cepa 167) y diferente estadísticamente al tratamiento 1 (cepa 14), que fue el más bajo con 19.42 mg (Cuadro 14).

Concentración de Sodio en la Planta

En el análisis de varianza correspondiente a esta variable no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, resultado un C.V. de 40.42% (Cuadro 10).

Concentración de Molibdeno en la Planta

Refiriéndose a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, reportando un C.V. de 28.30% (Cuadro 11).

Nitrógeno Fijado por la Planta (mg)

Con respecto a esta variable analizada, el análisis de varianza reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, resultado un C.V. de 37.21% (Cuadro 12).

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 3 (cepa 138), fue el que reportó una mayor fijación de nitrógeno por planta, de 289.14 mg, siendo estadísticamente igual a los tratamientos 2 (cepa 167), 4 (cepa FM-121) y 1 (cepa 14), y además diferente estadísticamente al tratamiento 5 correspondiente al testigo, que fue el más bajo con 93.68 mg de nitrógeno fijado por planta (Cuadro 15).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos e hipótesis planteadas en el presente trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

La mejor combinación planta-bacteria en cuanto a cantidad de nitrógeno fijado, resultó ser el tratamiento 3, que corresponde a la cepa 138. con 289.14 mg/planta. Dicha cepa también fue la que reportó un mayor incremento en el peso promedio de la planta con 62.15 g.

En cuanto a la evaluación de la concentración de los elementos Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Mg, K, Ca y Na en la planta y su efecto en la fijación de nitrógeno, no se encontró diferencia entre tratamientos, a excepción del potasio donde se encontró diferencia altamente significativa, siendo también el tratamiento 3 (cepa 138) el de mayor concentración de 25.31 mg/planta. Por lo tanto, el tratamiento que obtuvo la mayor fijación de nitrógeno fue el que reportó un mayor incremento en el peso de la planta y además el de mayor concentración de potasio.

Ahora con respecto a la cantidad de nitrógeno disponible para el siguiente ciclo y tomando en cuenta que solo el 2% del nitrógeno fijado se libera y queda disponible para el ciclo siguiente, se concluye que el tratamiento 3 (cepa 138) fue el que mayor cantidad de nitrógeno fijó por lo tanto, es el que mayor cantidad liberará (Tabla 4).

VI. RECOMENDACIONES

- En virtud de que en el presente trabajo solo se estudió una variedad de frijol (Selección 4), se hace necesario realizar ensayos con un mayor número de variedades.
- Probar mismas cepas y misma variedad; solo que ahora bajo condiciones de campo, en diferentes localidades y ciclos.
- En posteriores evaluaciones, comparar las cepas de buen comportamiento de este trabajo con otras cepas también con buen comportamiento de otros trabajos y con esto, poder recomendar una determinada cepa bacteriana para la región.
- Continuar realizando investigación auxiliándose con la técnica del cultivo de semihidroponia y tratar de mejorarlo hasta lograr una verdadera hidroponia.

VII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero dentro de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicada en el municipio de Marín, N.L. en el período comprendido de Septiembre-Noviembre de 1987.

Se trabajó con el cultivo del frijol bajo la técnica de hidroponia (semihidroponia); donde se compararon cuatro cepas bacterianas de Rhizobium phaseoli con respecto a la cantidad de nitrógeno fijado.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Encontrar la mejor combinación planta-bacteria con respecto a cantidad de nitrógeno fijado.
2. Evaluar en la planta las concentraciones de los elementos Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Mg, K, Ca y Na en la planta y su efecto en la fijación de nitrógeno.
3. Determinar la cantidad de nitrógeno disponible para el ciclo siguiente.

Conforme a los objetivos planteados, las hipótesis formuladas es la siguiente:

Existe diferencia entre las cepas de Rhizobium phaseoli para frijol en cuanto a peso de la planta, altura de la planta, concentración de Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Mg, K, Ca y Na en la planta y cantidad de nitrógeno fijado.

Las variables estudiadas fueron:

- X01 : Peso de la planta (g)
- X02 : Altura de la planta (cm)
- X03 : Concentración de cobre en la planta (mg)
- X04 : Concentración de fierro en la planta (mg)
- X05 : Concentración de Manganeso en la planta (mg)
- X06 : Concentración de Zinc en la planta (mg)
- X07 : Concentración de Calcio en la planta (mg)
- X08 : Concentración de Magnesio en la planta (mg)
- X09 : Concentración de Potasio en la planta (mg)
- X10 : Concentración de Sodio en la planta (mg)
- X11 : Concentración de Molibdeno en la planta (mg)
- X12 : Cantidad de nitrógeno fijado (mg)

El diseño experimental empleado fue un "completamente al azar", con cinco tratamientos (cuatro cepas y el testigo) con cuatro repeticiones, dando un total de 20 observaciones.

El material utilizado fue:

1. Cuatro cepas diferentes del género Rhizobium (de Fertimex)

Tratamiento	Cepa
1	14
2	167
3	138
4	FM-121
5	sin cepa (testigo)

2. Frijol variedad "Selección 4" (Delicias 71)
3. Frascos de vidrio oscuros (3 lt), bombas de aireación solución nutritiva, espectrofotómetro, molino Wiley, Kjendhal, charola germinadora, estacas, etc.

Una vez evaluadas las variables, se encontró que la me jo r combinación planta-bacteria resultó ser el tratamiento 2, correspondiente a la cepa 138, la cual obtuvo la mayor fijación de nitrógeno con 289.14 mg/planta y además también fue la que reportó un mayor incremento en el peso de la planta y mayor en concentración de potasio.

En cuanto a las variables restantes, no hubo diferencia significativa entre tratamientos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la Microbiología del suelo. 1a. ed. Editorial AGT México. pp. 243.
2. BROCK, T.D. 1978. Biología de los Microorganismos. 2a. ed. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 160-162, 441-444.
3. BUCKMAN, H.O.; N.C. BRODY. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1a. ed. Editorial Montaner y Simón. Barcelona, España. pp. 437-439.
4. BURDON, K.L.; P.R., WILLIAMS. 1976. Microbiología. Editorial Publicaciones Culturales, S.A. México, D.F. pp. 352-353.
5. CRONQUIST, A. 1977. Introducción a la Botánica. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. pp. 103-107.
6. DEVLIN, M.R. 1975. Fisiología Vegetal. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 296, 297, 299, 300, 302, 304.
7. ECHEGARAY, A.A.; T.E., ORTEGA. 1966. Movimiento y Nitrificación de Fertilizantes Nitrogenados en algunos Suelos de México. Agrociencia. Vol. 1. No. 1. 1966. C.P.E.N.A. Chapingo, México. pp. 116-117.
8. FULLER, H.J.; Z.B., CAROTHERS. 1974. Botánica. 5a. ed. Editorial Interamericana. México, D.F. pp. 86-87.
9. GONZALEZ, C.H.; ECHEGARAY, A.A. 1968. Nitrificación en algunos suelos de México. Agrociencia. Vol. 3. No. 1, 1968 C.P. E.N.A. México. pp. 129-130.
10. GROS, ANDRE. 1976. Abonos, guía práctica de la fertilización. 6a. ed. Editorial Mundiprensa. Madrid, España. pp. 127, 136.
11. "Hidroponia". Agricultura de las Américas. Kansas City USA. Vol. 29 No. 8 (Agosto, 1980) pp. 6-7.

12. "Hidroponia". Láminas Líquidas Alimentan Cultivos. Agricultura de las Américas. Kansas City , USA. Vol. 30 No. 12 (Diciembre, 1981). pp. 54-55.
13. JACKSON, R.M. y F., RAW. 1974. La vida en el suelo. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 62-63.
14. LEPIZ, I.R.; S.F., NAVARRO. 1983. Frijol en el Noreste de México. SARH, INIA, CIAP. Culiacán, Sinaloa. México.
15. MIRANDA, C.S. 1967. Origen de Phaseolus vulgaris L. frijol común. Agrociencia. Colegio de Postgraduados E.N.A. Chapingo, México. pp. 99-109.
16. PARKINSON, D. 1971. Biología del Suelo. Cap. 15. Editorial Omega, S.A. Barcelona, España.
17. PEDROZA, J.A. 1985. Adaptación y comportamiento de 64 cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris L.), evaluados en el esquema riego-seguía durante el ciclo primavera-verano de 1983. en Marín, N.L. Tesis profesional. Fac. de Agronomía, UANL. México.
18. PENNINGSFELD, F. y P., KURZMAN. Cultivos hidropónicos y en turba. Ediciones Mundi-Prensa. 1975. Madrid, España. pp. 310.
19. PEREZ, T.H. 1980. Algunos aspectos biológicos de la asociación simbiótica P. vulgaris - R. phaseoli. Tesis de Maestría. C.P. Chapingo, México, D.F. pp. 8.
20. ROBLES, S.R. 1982. Producción de granos y forrajes. 3a. ed. Editorial Limusa. México, D.F. pp. 553-556.
21. RUIZ, O.M.; R.D., NIETO. 1966. Tratado elemental de Botánica. 9a. ed. Editorial ECLALSA. México, D.F. pp. 318-323, 623.
22. RUSSELL, J.E. y R.F., WALTER. 1959. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Editorial Aguilar. Madrid, España. pp. 343, 382, 383.

23. SALLE, A.J. 1965. Bacteriología. 2a. ed. Editorial Gustavo Gil. Barcelona, España. pp. 684-703.
24. SANCHEZ, C.F.; R.E., ESCALANTE. 1983. Hidropónia. 2a. ed. Patronato Universitario. Chapingo, Edo. de México. p. 176.
25. SANCHEZ, M.A. 1964. Microbiología Agrícola. E.N.A. Colegio de Postgraduados. Serie de Apuntes No. 3. Chapingo, México.
26. S.E.P. 1982. Manual para Educación Agropecuaria, Frijol y Chicharo. Editorial Trillas. México.
27. TANNER, F.W. and F.W. TANNER Jr. 1948. Bacteriology. Editorial Jhon Willey and Sons. New York. USA. pp, 123-124.
28. TISDALE, L.S.; L.W. NELSON. 1982. Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. Editorial UTHEA. Barcelona, España. pp. 139-141.
29. WILSON, L.C.; E.W., LOMIS. 1968. Botánica. Editorial UTHEA. México, D.F. p. 231.

IX. APENDICE

Cuadro 1. Análisis de varianza para el peso de la planta.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	Fcal	F. teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	3838.413	959.603	4.199*	3.06	4.89
Error	15	3427.737	228.516			
Total	20	7266.149	382.429			

NS = No significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

$$C.V. = \frac{CME}{\bar{X}} \times 100$$

$$C.V. = 36.29\%$$

Cuadro 2. Análisis de varianza para altura de la planta

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	Fcal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamientos	4	55.500	13.875	0.220 NS	3.06	4.89
Error	15	944.250	62.950			
Total	20	999.750	52.618			

NS = No significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

$$C.V. = 33.40\%$$

Cuadro 3. Análisis de varianza para concentración de Cobre.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	3625.772	906.443	1.474 NS	3.06	4.89
Error	15	9227.429	615.162			
Total	20	12851.201	676.484			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 71.27%

** = Altamente significativo

Cuadro 4. Análisis de varianza para concentración de Fierro

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	191335.828	47833.957	1.233 NS	3.06	4.89
Error	15	581886.875	38792.457			
Total	20	773222.687	40695.930			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 25.12%

** = Altamente significativo

Cuadro 5. Análisis de varianza para concentración de Manganeso

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	110.829	27.707	0.850 NS	3.06	4.89
Error	15	489.237	32.616			
Total	20	600.066	31.582			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 40.47%

** = Altamente significativo

Cuadro 6. Análisis de varianza para concentración de Zinc.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamientos	4	415147.656	103786.914	1.285 NS	3.06	4.89
Error	15	1211758,375	80783.891			
Total	20	1626906.000	85626.633			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 31.13%

** = Altamente significativo

Cuadro 7. Análisis de varianza para concentración de Calcio.

F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	160928.094	40232.023	1.157 NS	3.06	4.89
Error	15	521524.406	34768.293			
Total	20	682452.500	35918.551			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 17.71%

** = Altamente significativo

Cuadro 8. Análisis de varianza para concentración de Magnesio.

F.V.	g.l.	SC.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	1124.381	281.095	2.249 NS	3.06	4.89
Error	15	1875.123	125.008			
Total	20	2999.504	157.869			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 32.76%

** = Altamente significativo

Cuadro 9. Análisis de varianza para concentración de Potasio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	89.183	22.296	9.469**	3.06	4.89
Error	15	35.318	2.355			
Total	20	124.501	6.553			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 6.52%

** = Altamente significativo

Cuadro 10. Análisis de varianza para concentración de Sodio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.teórica	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	14831.487	3707.872	1.135 NS	3.06	4.89
Error	15	48990.148	3266.010			
Total	20	63821.637	3359.033			

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 40.42%

** = Altamente significativo

Cuadro 11. Análisis de varianza para concentración de Molibdeno (Absorbancias).

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.tab.	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	0.0000172	0.0000043	1.791 NS	3.05	4.89
Error	15	0.0000375	0.0000024			
Total	20	0.0000529				

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 28.30%

** = Altamente significativo

Cuadro 12. Análisis de varianza para cantidad de Nitrógeno fijado (mg).

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F.tab.	
					.05	.01
Media	1					
Tratamiento	4	78726.4072	19681.6018	3.68*	3.05	4.89
Error	15	80293.85	5352.9233			
Total	20	159020.2572				

NS = No significativo

* = Significativo

C.V. = 37.21%

** = Altamente significativo

Cuadro 13. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable peso de planta (g).

Método Tukey

$$\text{Tukey} = S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{\text{CME}}{r}$$

$$= \frac{228.516}{4}$$

$$S\bar{y} = 7.55$$

$$q(\alpha, \beta, \gamma) = q(\alpha, \# \text{ Trat.}, \text{gl. E}).$$

$$q(.05, 5, 15) = 4.37$$

$$\text{DMSH} = (7.55)(4.37)$$

$$\text{DMSH} = 32.99$$

Tratamiento	\bar{X}
3	62.15 a
2	45.88 a b
4	42.85 a b
1	38.25 a b
5	19.10 b

Cuadro 14. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable Concentración de Potasio.

Método Tukey

$$\text{Tukey} = S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{\text{CME}}{r}$$

$$= \frac{2.355}{4}$$

$$= .767$$

$$q(\alpha, \beta, \gamma) = q(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$= q(.05, 5, 15)$$

$$q(\alpha, \beta, \gamma) = 4.37$$

$$\text{DMSH} = (.767)(4.37)$$

$$\text{DMSH} = 3.35$$

Tratamiento	\bar{X}
3	25.31 a
4	24.71 a
5	24.41 a
2	23.77 a
1	19.42 b

Cuadro 15. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable Nitrógeno fijado (mg).

Método Tukey

$$DMSH = S_{\bar{y}} \cdot q \alpha (\beta, \gamma)$$

$$= S_{\bar{y}} = \frac{CME}{r}$$

$$S_{\bar{y}} = \frac{5352.9233}{4}$$

$$S_{\bar{y}} = \underline{36.58}$$

$$q (\alpha, \beta, \gamma) = q \alpha (\# \text{ trat.}, \text{gl. E.}).$$

$$= q .05 (5, 15).$$

$$q (\alpha, \beta, \gamma) = \underline{4.37}$$

$$DMSH = (36.58) \cdot (4.37)$$

$$DMSH = 159.85$$

Tratamiento	\bar{X}
3	289.14 a
2	211.57 a b
4	206.40 a b
1	189.29 a b
5	93.68 b

Cuadro 16. Concentración de resultados para la media, mínima máxima, rango y coeficiente de variación para las variables estudiadas.

Variable	Media	Mínima	Máxima	Rango	C.V.
X01	41.645	6.200	77.400	71.200	36.29
X02	23.750	11.000	41.000	30.000	33.40
X03	34.803	7.240	123.280	116.040	71.27
X04	784.049	399.70	1158.150	758.390	25.12
X05	14.113	6.340	30.080	23.740	40.47
X06	912.936	372.070	1429.840	1057.770	31.13
X07	1052.811	569.870	1380.480	738.610	17.71
X08	34.119	5.720	62.690	56.970	32.76
X09	23.524	17.350	26.700	9.350	6.52
X10	141.371	54.080	299.780	245.700	40.42
X11	0.005	0.003	0.008	0.005	28.30
X12	196.617	30.39	395.83	365.44	37.21

NOTA: Los anteriores resultados de las variables X03 a X10 son en base a un litro de solución, las concentraciones reales en la planta se encuentran en función del peso de éstas.

La variable XII está dada en absorvancia.

Tabla 1. Determinación del nitrógeno total (tejido) por el método Kjendhal.

Tratamiento	Peso de la planta (g)		% de N Total (tejido)	Conversión a mg
T ₁ R ₁	19.9	x	0.64 ÷ 100% = 0.12736	= 127.36
T ₁ R ₂	33.7	x	0.50 ÷ 100% = 0.16850	= 168.50
T ₁ R ₃	77.4	x	0.40 ÷ 100% = 0.34056	= 340.056
T ₁ R ₄	22.0	x	0.49 ÷ 100% = 0.10780	= 107.80
T ₂ R ₁	44.2	x	0.43 ÷ 100% = 0.19006	= 190.06
T ₂ R ₂	62.4	x	0.50 ÷ 100% = 0.31200	= 312.
T ₂ R ₃	43.7	x	0.51 ÷ 100% = 0.22287	= 222.87
T ₂ R ₄	33.2	x	0.42 ÷ 100% = 0.13944	= 139.44
T ₃ R ₁	58.4	x	0.45 ÷ 100% = 0.26280	= 262.8
T ₃ R ₂	49.6	x	0.44 ÷ 100% = 0.21824	= 218.24
T ₃ R ₃	64.5	x	0.46 ÷ 100% = 0.29670	= 296.7
T ₃ R ₄	76.1	x	0.53 ÷ 100% = 0.40333	= 403.33
T ₄ R ₁	42.5	x	0.42 ÷ 100% = 0.17850	= 178.50
T ₄ R ₂	30.7	x	0.50 ÷ 100% = 0.15350	= 153.50
T ₄ R ₃	49.3	x	0.48 ÷ 100% = 0.23664	= 236.44
T ₄ R ₄	48.9	x	0.56 ÷ 100% = 0.27384	= 273.84
T ₅ R ₁	6.3	x	0.50 ÷ 100% = 0.31000	= 310.00
T ₅ R ₂	25.1	x	0.50 ÷ 100% = 0.13805	= 138.05
T ₅ R ₃	24.6	x	0.45 ÷ 100% = 0.11070	= 110.70
T ₅ R ₄	20.5	x	0.50 ÷ 100% = 0.10250	= 102.50

NOTA: 1 mg = 1 ppm

$$\text{mg de Nitrógeno} = \frac{(\text{Peso de la planta}) \cdot (\% \text{ N en la planta})}{100\%}$$

Tabla 2. Determinación de Nitrógeno absorbido por la planta.

Tratamiento	Peso fresco de la planta (g)	$H_2O/Planta$ (ml.)	Mg de Nitrógeno Absorbido
T ₁ R ₁	19.9 x 0.8	= 15.92	1.96
T ₁ R ₂	33.7 x 0.8	= 26.96	3.32
T ₁ R ₃	77.4 x 0.8	= 61.92	7.62
T ₁ R ₄	22.0 x 0.8	= 17.60	2.17
T ₂ R ₁	44.2 x 0.8	= 35.36	4.35
T ₂ R ₂	62.4 x 0.8	= 49.92	6.15
T ₂ R ₃	43.7 x 0.8	= 34.96	4.31
T ₂ R ₄	33.2 x 0.8	= 26.56	3.27
T ₃ R ₁	58.4 x 0.8	= 46.72	5.75
T ₃ R ₂	49.6 x 0.8	= 39.68	4.89
T ₃ R ₃	64.5 x 0.8	= 51.60	6.35
T ₃ R ₄	76.1 x 0.8	= 60.88	7.50
T ₄ R ₁	42.5 x 0.8	= 34.00	4.19
T ₄ R ₂	30.7 x 0.8	= 24.56	3.02
T ₄ R ₃	49.3 x 0.8	= 39.44	4.86
T ₄ R ₄	48.9 x 0.8	= 39.12	4.82
T ₅ R ₁	6.2 x 0.8	= 4.96	0.61
T ₅ R ₂	25.1 x 0.8	= 20.08	2.47
T ₅ R ₃	24.6 x 0.8	= 19.68	2.42
T ₅ R ₄	20.5 x 0.8	= 16.40	2.02

NOTA: 0.8 = 80% de H_2O en la planta

Para calcular mg de Nitrógeno absorbido, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{mg de N absorbido} = \frac{(\text{H}_2\text{O/planta, ml}) \cdot (123)}{1000 \text{ ml}}$$

Donde: 123 es la cantidad de mg aportados por la solución nutritiva por litro de H_2O .

Tabla 3. Determinación de Nitrógeno fijado por la planta.

Tratamiento	Nitrógeno del tejido (mg)	-	Nitrógeno absorbido o aplicado (mg)	=	Nitrógeno fijado (mg)
T ₁ R ₁	127.36	-	1.96	=	125.40
T ₁ R ₂	168.50	-	3.32	=	165.18
T ₁ R ₃	340.05	-	7.62	=	332.94
T ₁ R ₄	107.80	-	2.17	=	105.63
T ₂ R ₁	190.06	-	4.35	=	185.71
T ₂ R ₂	312.00	-	6.35	=	305.85
T ₂ R ₃	222.87	-	4.31	=	218.56
T ₂ R ₄	139.44	-	3.27	=	136.17
T ₃ R ₁	262.80	-	5.75	=	257.05
T ₃ R ₂	218.24	-	4.89	=	213.35
T ₃ R ₃	296.70	-	6.35	=	290.35
T ₃ R ₄	403.33	-	7.50	=	395.83
T ₄ R ₁	178.50	-	4.19	=	174.31
T ₄ R ₂	153.50	-	3.02	=	150.48
T ₄ R ₃	236.64	-	4.86	=	231.78
T ₄ R ₄	273.84	-	4.82	=	269.02
T ₅ R ₁	310.00	-	0.61	=	309.39
T ₅ R ₂	138.05	-	2.47	=	135.58
T ₅ R ₃	110.70	-	2.42	=	108.28
T ₅ R ₄	102.50	-	2.02	=	100.48

Tabla 4. Nitrógeno disponible para el siguiente ciclo de cultivo.

Tratamiento	Nitrógeno fijado (mg)	Nitrógeno Disp. para el sig. ciclo (mg)	kg/ha
T ₁ R ₁	125.40	2.508	0.3762
T ₁ R ₂	165.18	3.8036	0.4955
T ₁ R ₃	332.94	6.6588	0.9988
T ₁ R ₄	105.63	2.1126	0.3169
T ₂ R ₁	185.71	3.7142	0.5571
T ₂ R ₂	305.85	6.117	0.9175
T ₂ R ₃	218.56	4.3712	0.6557
T ₂ R ₄	136.17	2.7234	0.4085
T ₃ R ₁	257.05	5.141	0.7711
T ₃ R ₂	213.35	4.267	0.6400
T ₃ R ₃	290.35	5.807	0.8710
T ₃ R ₄	395.83	7.9166	1.1875
T ₄ R ₁	174.31	3.4862	0.5229
T ₄ R ₂	150.48	3.0096	0.4514
T ₄ R ₃	231.78	4.6356	0.6953
T ₄ R ₄	269.02	5.3804	0.8071
T ₅ R ₁	30.39	0.6078	0.0912
T ₅ R ₂	135.58	2.7116	0.4067
T ₅ R ₃	108.28	2.1656	0.3248
T ₅ R ₄	100.48	2.0096	0.3014

NOTA: Del Nitrógeno fijado, el 2% se liberó y queda disponible para el siguiente ciclo.

Tabla 5. Clasificación de los grupos de inoculación de las asociaciones *Rhizobium* leguminosa, emitido por Stevenson, citado por Tisdale (1982) (20).

<u>Especie de Rhizobium</u>	Grupo al que pueden inocu- lar.	Género huésped	Leguminosa incluida
R. meliloti	Alfalfa	Medicago Melilotus Trigonella Trifolium	Alfalfa Trébol dulce Fenogriego Trebol
R. trifolii	Trébol	Pisum	Chícharo
R. leguminosarum	Chícharo	Vicia Lanthyrus Lens	Haba Guisante dulce Lenteja
R. phaseoli	Frijol	Phaseolus	Frijol
R. lupini	Altramuz	Lupinus Orithopus	Altramuz Serradella
R. japonicum	Soya Guisante vacuno	Glycine Vigna Lespedeza Crotolaria Pueraria Arachis Phaseolus	Soya Cowpea Lespedeza Crotolaria Kudzu Cacahuate Frijol lima

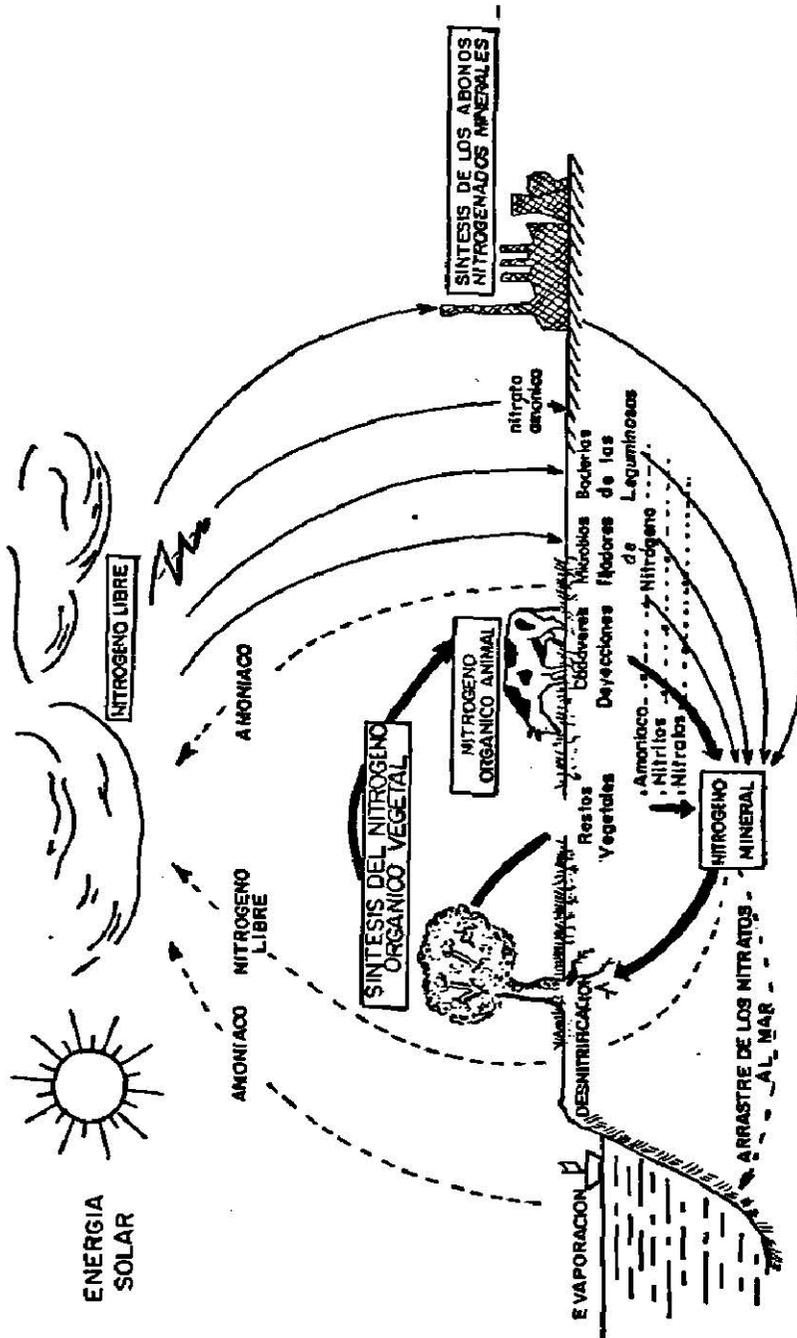


Figura 1. Características principales del ciclo del Nitrógeno (Gros, 1976).

62 172 6

