

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

DOMINGO GERARDO CASTILLO HERNANDEZ
JUAN ANTONIO LEJA MARTINEZ

MARIN, N. L.

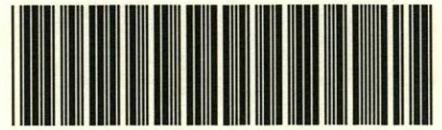
MARZO DE 1989

T

SB327

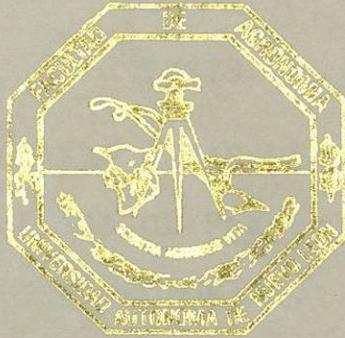
C38

c.1



1080061235

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

DOMINGO GERARDO CASTILLO HERNANDEZ
JUAN ANTONIO LEIJA MARTINEZ

MARIN, N. L.

MARZO DE 1989

327
8



Biblioteca Central
Maana Solidaridad
F. Tesis



BUREAU REPOSITORIES
UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

TESIS

"EVALUACION DE CUATRO CEPAS DE Rhizobium phaseoli
EN EL CULTIVO DEL FRIJOL Phaseolus vulgaris L. BA
JO CONDICIONES DE HIDROPONIA".

Elaborada por:

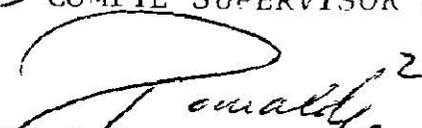
DOMINGO GERARDO CASTILLO HERNANDEZ

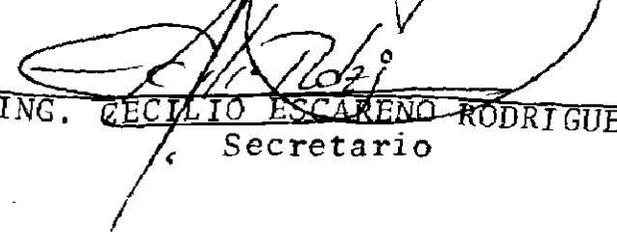
JUAN ANTONIO LEIJA MARTINEZ

Aceptada y aprobada como requisito parcial para optar
por el titulo de

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

> COMITE SUPERVISOR DE TESIS


ING. RONALD J. LECEA JUAREZ
Presidente


ING. CECILIO ESCARENO RODRIGUEZ
Secretario


ING. CARLOS S. LONGORIA GARZA
Vocal

MARIN, N.L.

MARZO DE 1989.

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR

A MIS PADRES:

Domingo Castillo Villanueva

Dolores Hernández de Castillo

Con amor, respeto y admiración por brindarme su invaluable atención y orientación para alcanzar la realización de mi meta.

A MIS HERMANOS:

José Raymundo

Jesús Alberto

Jaime

Rosa Elena

María Dolores

Elizabeth

Eduardo

Por su comprensión y apoyo durante mis estudios.

A LA MEMORIA DE MI ABUELO:

José Hernández Corona

Por la dicha de haberte tenido entre nosotros y a quien recuerdo con cariño.

A MI CUÑADA Y SOBRINA:

Sra. Flor Estela y Cyndi Carolina

A TODA MI FAMILIA:

Abuelos, tios(as), primos(as) y demás por su confianza y apoyo a todos "Gracias".

DEDICATORIA

A DIOS:

Por transmitirme la fé en la vida.

A MIS PADRES:

Sr. Fernando Leija Flores

Sra. Rosa María Martínez de Leija

Quienes en todo momento me han ofrecido su apoyo moral y económico para la culminación de mi carrera.

A MIS HERMANOS:

Margarita

Fernando

Alfonso

Victor Gerardo

Que han sido para mi un ejemplo en el estudio.

A MI ESPOSA:

Lic. María del Rosario Venzor Palomo

Por su gran cariño y confianza que siempre me ha brindado.

A TODOS MIS FAMILIARES.

AGRADECIMIENTOS

AL ING. RONALD JORGE LECEA JUAREZ.

Por su valiosa ayuda y asesoramiento mostrado en la realización del presente trabajo de investigación.

A LOS INGENIEROS CECILIO ESCAREÑO RODRIGUEZ Y CARLOS S. LONGORIA GARZA.

Por su colaboración en la revisión y sugerencias otorgadas en el presente escrito.

A mis amigos y compañeros de generación con quienes compartí la estancia en esta Facultad, lo cual siempre recordaré.

A todos los maestros y a la FAUANL por su gran labor al formar profesionistas día a día.

Al Sr. Jesús Mendoza De León Secretario General del S.R.T.P.R.M. (Delegación 2, Secc. 40) por el apoyo que siempre ha brindado al estudiante y profesionista.

A todas aquellas personas que de una u otra manera intervinieron en la realización del presente trabajo, a todos gracias.

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| I. INTRODUCCION..... | 1 |
| II. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Origen de <u>Phaseolus vulgaris</u> L..... | 4 |
| 2.2. Importancia del cultivo del frijol..... | 4 |
| 2.2.1. Mundial..... | 4 |
| 2.2.2. Nacional..... | 5 |
| 2.2.3. Regional y Local..... | 6 |
| 2.3. Clasificación..... | 9 |
| 2.3.1. Taxonómica..... | 9 |
| 2.3.2. Morfológica..... | 10 |
| 2.4. Exigencias ecológicas del frijol..... | 12 |
| 2.4.1. Temperatura..... | 12 |
| 2.4.2. Suelos..... | 13 |
| 2.4.3. Fotoperíodo..... | 14 |
| 2.4.4. Altitud..... | 14 |
| 2.4.5. Humedad..... | 14 |
| 2.5. El Nitrógeno..... | 15 |
| 2.5.1. Importancia en las plantas..... | 15 |
| 2.5.2. Formas de nitrógeno disponible para las plantas..... | 16 |
| 2.5.3. Ciclo del nitrógeno..... | 18 |
| 2.5.4. Etapas del ciclo del nitrógeno..... | 18 |
| 2.5.5. Mineralización de los compuestos nitro- genados..... | 19 |
| 2.5.6. Aminización..... | 19 |

| | Pág. |
|--|------|
| 2.5.7. Amonificación | 20 |
| 2.5.8. Nitrificación..... | 21 |
| 2.5.9. Desnitrificación..... | 21 |
| 2.6. Conocimientos generales sobre la bacteria Rhi- zobium..... | 22 |
| 2.6.1. Taxonomía..... | 22 |
| 2.6.2. Características generales de Rhizobium. | 23 |
| 2.6.3. Categorías..... | 25 |
| 2.6.4. Especificidad..... | 26 |
| 2.7. Fijación simbiótica de nitrógeno..... | 27 |
| 2.7.1. Relación planta-bacteria..... | 27 |
| 2.7.2. Influencia del medio ambiente en la fi- jación de nitrógeno..... | 28 |
| 2.7.3. Formación del nódulo..... | 32 |
| 2.8. Hidroponia..... | 33 |
| 2.8.1. Definición del concepto..... | 33 |
| 2.8.2. Origen..... | 34 |
| 2.8.3. Importancia de la hidroponia..... | 34 |
| 2.8.4. Ventajas de la hidroponia..... | 35 |
| 2.8.5. Desventajas de la hidroponia..... | 37 |
| 2.8.6. Soluciones nutritivas..... | 38 |
| 2.8.7. Acidez y alcalinidad de las soluciones. | 39 |
| 2.8.8. Cultivos recomendables en hidroponia... | 40 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 41 |
| 3.1. Localización del sitio experimental..... | 41 |
| 3.2. Materiales utilizados..... | 41 |
| 3.3. Solución nutritiva utilizada..... | 42 |

| | Pág. |
|---|------|
| 3.4. Descripción del diseño experimental..... | 43 |
| 3.5. Características agronómicas de la variedad Negro Jamapa..... | 44 |
| 3.6. Metodología..... | 44 |
| 3.6.1. Siembra..... | 45 |
| 3.6.2. Inoculación..... | 45 |
| 3.6.3. Aireación..... | 46 |
| 3.6.4. Vigilancia..... | 46 |
| 3.6.5. Variables evaluadas..... | 46 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION..... | 50 |
| V. CONCLUSIONES..... | 51 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 55 |
| VII. RESUMEN..... | 56 |
| VIII. BIBLIOGRAFIA..... | 59 |
| IX. ANEXO..... | 66 |

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

| CUADRO | Pág. |
|---|------|
| <u>Cuadros del texto:</u> | |
| 1 Principales países productores del frijol en el -- mundo..... | 7 |
| 2 Principales estados productores de frijol en Méxi- co..... | 8 |
| 3 Grupos de inoculación cruzada y asociaciones de -- Rhizobium-Leguminosa..... | 24 |
| <u>Cuadros del apéndice:</u> | |
| 4 Análisis de varianza para la altura de la planta.. | 67 |
| 5 Análisis de varianza para el peso de la planta.... | 67 |
| 6 Análisis de varianza para concentración de Fósforo | 68 |
| 7 Análisis de varianza para concentración de Pota- sio..... | 68 |
| 8 Análisis de varianza para concentración de Mag- nesio..... | 69 |
| 9 Análisis de varianza para concentración de Sodio.. | 69 |

| | Pág. |
|---|------|
| 10 Análisis de varianza para concentración de Hierro..... | 70 |
| 11 Análisis de varianza para concentración de Cobre..... | 70 |
| 12 Análisis de varianza para concentración de Zinc | 71 |
| 13 Análisis de varianza para concentración de Molibdeno..... | 71 |
| 14 Análisis de varianza para concentración de Manganeso..... | 72 |
| 15 Análisis de varianza para (mg) de N fijado por planta..... | 72 |
| 16 Concentración de resultados para la media, mínima, máxima, rango y coeficiente de variación para las variables estadísticas..... | 73 |
| 17 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Fósforo..... | 74 |
| 18 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Magnesio..... | 75 |

| | Pág. |
|--|------|
| 19 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Sodio..... | 76 |
| 20 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Hierro..... | 77 |
| 21 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Zinc..... | 78 |
| 22 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Molibdeno..... | 79 |

Tablas del apéndice:

| | |
|---|----|
| 1 Determinación del nitrógeno total (tejido vegetal), por el método Kjeldahl..... | 80 |
| 2 Determinación de nitrógeno absorbido por la planta. | 81 |
| 3 Determinación de nitrógeno fijado por la planta.... | 82 |

Figuras del apéndice:

| | |
|---|----|
| 1 Representación esquemática del ciclo del nitrógeno. | 83 |
| 2 Estudios en la formación de un nódulo radical..... | 84 |

I. INTRODUCCION

En México existe una gran diversidad de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en cuanto a forma, tamaño, color, sabor y hábito de crecimiento, cuya semilla de dicha planta forma parte esencial en la dieta alimenticia del pueblo mexicano desde los tiempos prehispánicos.

La importancia económica y social de los frijoles cultivados en México, se apoya en que según estadísticas actuales reportadas por la Dirección General de Economía Agrícola (D.G.E.A.), ocupa el segundo lugar como alimento básico después del maíz en la alimentación del mexicano. Sin embargo, México no ha podido lograr la autosuficiencia en este cultivo que es rico en proteína, lo que justifica como un buen sustituto de las proteínas de origen animal.

Es por ello necesario incrementar la investigación de este grano básico, que es el elemento nutricional especialmente en la población de escasos recursos económicos, superando las barreras que inciden en la baja producción de este grano.

Estos problemas se acentúan más en las regiones donde las limitantes suelo y agua hacen necesario implementar nueva tecnología que nos lleve a modificar los sistemas tradicionales del cultivo, donde sería factible incrementar al máximo el aprovechamiento del agua y el suelo mediante la utilización de nuevas metodologías.

Por otra parte la experiencia de las diversas disciplinas-

científicas, combinadas con instrumentos ha extendido el conocimiento acerca de los elementos nutritivos (macronutrientes y micronutrientes), su relación con las leguminosas de importancia agrícola y microorganismos del género *Rhizobium* que son capaces de formar una asociación simbiótica que fije nitrógeno atmosférico y que sustituirá las aplicaciones de elementos nitrogenados.

La importancia de estudiar la simbiosis planta-microorganismo reviste especial interés, ya que se aprovecharía una fuente inagotable de nitrógeno y la influencia de esta simbiosis en la absorción de nutrientes que son el alimento indispensable en el desarrollo de la vida vegetal.

Por tanto, los objetivos que se persiguen al realizar este trabajo de investigación son los siguientes:

- 1.- Evaluar las diferentes cepas de *Rhizobium phaseoli* recomendadas para el cultivo del frijol en base a las variables, fijación de nitrógeno por la planta y su influencia en altura de la planta y peso de la planta.
- 2.- Determinar la concentración de elementos nutritivos: P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mo y Mn presentes en el tejido vegetal y la influencia de las cepas bacterianas en la absorción de dichos elementos nutritivos.

De acuerdo a los objetivos que se persiguen, la hipótesis es la siguiente:

Existe diferencia entre las cepas de Rhizobium phaseoli - para el frijol (Phaseolus vulgaris L.) en cuanto a fijación de nitrógeno su influencia en la altura de la planta, peso de la planta y determinación en la concentración de elementos nutritivos P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mo y Mn presentes en el tejido vegetal.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen

El frijol llamado "etl" entre los antiguos mexicanos, era cultivado por estos últimos desde la época anterior a la conquista, los centros de origen de los diferentes tipos actuales de frijol han sido propuestos y discutidos por muchos autores.

La especie Phaseolus vulgaris L. fue considerada por ---- Linneo (1753) como de origen asiático, señalando a la India como posible centro de diversificación. Posteriormente De Cando lle (1866), basado en los escritos sobre el cultivo de la leguminosa "Phasiolos" consideró que Phaseolus vulgaris L. procedía de Asia Occidental; poco después, modificó su opinión cuando Wittmack encontró en las excavaciones de Ancona, Perú semillas de Phaseolus vulgaris L. junto con semillas de Phaseolus lunatus L. por lo que consideró ahora a América del Sur como centro de diversificación. Más tarde Vavilov, de acuerdo con Bucasov (1931), después de haber observado 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. (24).

2.2. Importancia del cultivo del frijol

2.2.1. Mundial

La superficie cultivada, reportada a nivel mundial en --- 1980 fue de 26,286 millones de hectáreas, las cuales produje--

ron 14.7 millones de toneladas de frijol.

El Cuadro 1 muestra los principales países productores de frijol en el mundo, se observa que el tercio de la producción mundial de frijol proviene de América Latina, superando a México en el Continente Americano, solamente por Brasil.

En cuanto a la superficie sembrada, en este mismo cuadro, México se sitúa en cuarto lugar a nivel mundial con respecto a las hectáreas cosechadas, superado solo por India, Brasil y China.

En cuanto a su rendimiento, México ocupa el vigésimo primer lugar con 551 kg/ha en promedio.

2.2.2. Nacional

Se reportó que la superficie cosechada de frijol en 1980 - fué de 1'771,978 hectáreas bajo condiciones de temporal y riego, con un rendimiento promedio de 638 kg/ha y una producción de 1'093,079 tons. Sin embargo, esta producción no fué suficiente debido a que el consumo nacional fué de 1'204,492 toneladas de frijol, y esto trajo como consecuencia la importación de 147,000 tons. de grano en 1982 para satisfacer la demanda de esta leguminosa a nivel nacional.

Los principales estados productores, así como la superficie cosechada, el rendimiento por hectárea y el valor de la producción se presentan en el Cuadro 2. Los estados de mayor superficie cosechada y producción obtenida de frijol son: Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit y Jalisco. Además --

los estados de Nayarit, Sinaloa y Chihuahua destacan por su alto rendimiento unitario (36).

2.2.3. Regional y Local

El estado de Nuevo León cuenta con una superficie total de 6'455,500 has de las cuales 322,680 has son cultivables y se cosechó una superficie total de 229,720 has, de éstas 137,889 fueron de riego y 91,831 bajo condiciones de temporal en 1983.

Estas superficies se siembran principalmente con cultivos como: maíz de grano, trigo, sorgo de grano, naranja y por último el frijol con una superficie de 9,587 has de las cuales 7,313 fueron bajo condiciones de temporal y 2,274 bajo condiciones de riego, con un rendimiento promedio global de 0.454 ton/ha.

En el distrito de riego 004 "Don Martín" Coahuila y Nuevo León, se siembra una superficie anual aproximada de 26,951 has dependiendo del volumen de agua almacenada.

En la presa "Venustiano Carranza" se cuenta con un número aproximado de 1903 usuarios. Los principales cultivos anuales que se siembran son: trigo, sorgo, maíz, frijol y cultivos forrajeros (plan de investigación del programa del frijol 1983).

De la superficie antes mencionada solamente se dedican alrededor de 1,500 a 2,000 has bajo condiciones de riego a esta leguminosa, con un rendimiento medio alcanzado de .8 tons/ha en la región de Anáhuac (distrito de riego 004) (36).

Cuadro 1. Principales países productores de frijol en el mundo SARH-DGEA, 1980.

| Continente y País | Sup. cos. miles de has. | % | Rend. kg/ha. | Rend. miles tons. | % |
|-------------------------|-------------------------------|--------|-----------------|-------------------------|--------|
| América | | | | | |
| México | 1,763 | 6.70 | 551 | 971 | 6.62 |
| Argentina | 205 | 0.78 | 1,146 | 235 | 1.60 |
| Brasil | 4,306 | 16.38 | 459 | 1,975 | 13.47 |
| Colombia | 118 | 0.45 | 695 | 82 | 0.56 |
| Chile | 111 | 0.42 | 757 | 84 | 0.57 |
| E.U.A. | 743 | 2.83 | 1,594 | 1,184 | 8.08 |
| Guatemala | 116 | 0.44 | 690 | 80 | 0.55 |
| Africa | | | | | |
| Burundi | 258 | 0.98 | 671 | 173 | 1.18 |
| Camerún | 154 | 0.58 | 636 | 98 | 0.67 |
| Ruanda | 216 | 0.82 | 815 | 176 | 1.20 |
| Tanzania | 300 | 1.14 | 500 | 150 | 1.02 |
| Uganda | 360 | 1.37 | 500 | 180 | 1.23 |
| Zaire | 166 | 0.63 | 566 | 94 | 0.64 |
| Asia | | | | | |
| Birmania | 312 | 1.19 | 593 | 185 | 1.26 |
| China | 4,152 | 15.83 | 806 | 3,355 | 22.88 |
| India | 8,700 | 35.10 | 322 | 2,800 | 19.09 |
| Iran | 94 | 0.36 | 1,064 | 100 | 0.68 |
| Japón | 95 | 0.36 | 1,716 | 163 | 1.11 |
| Tailandia | 425 | 1.62 | 647 | 875 | 1.88 |
| Turquía | 103 | 0.39 | 1,553 | 160 | 1.09 |
| Europa | | | | | |
| España | 128 | 0.49 | 633 | 81 | 0.55 |
| Italia | 49 | 0.19 | 1,673 | 82 | 0.56 |
| URSS | 50 | 0.19 | 1,800 | 90 | 0.61 |
| Yugoslavia | 149 | 0.57 | 1,074 | 160 | 1.09 |
| Resto del mundo | 3,203 | 12.19 | 540 | 1,731 | 11.81 |
| Total mundial | 26,286 | 100.00 | 558 | 14,664 | 100.00 |

SARH-DGEA. (1982) Economía Agrícola. La producción agropecuaria y forestal en el mundo y la participación de México. Vol. VI, #7. México, D.F. pp.69.

Cuadro 2. Principales estados productores de frijol en México, DARH-DGEA 1982.

| Cosecha | Sup. Cos. Has. | Rend. Ton/ha | Prod. Ton. | Valor miles de la cosecha |
|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|------------------------------|
| Zacatecas | 428,156 | 0.471 | 201,731 | 4'256,524.00 |
| Durango | 181,051 | 0.270 | 49,262 | 947,988.00 |
| Chihuahua | 165,751 | 0.334 | 55,324 | 1'173,286.00 |
| Sinaloa | 149,233 | 1.092 | 162,972 | 2'674,600.00 |
| Nayarit | 116,178 | 1.293 | 150,243 | 2'403,699.00 |
| Jalisco | 90,438 | 0.356 | 32,234 | 820,373.00 |
| Veracruz | 65,284 | 0.615 | 40,128 | 656,272.00 |
| Chiapas | 58,821 | 0.809 | 47,594 | 1'037,702.00 |
| Tamaulipas | 53,747 | 0.530 | 28,491 | 563,148.00 |
| San Luis Potosí | 51,032 | 0.533 | 27,189 | 488,734.00 |
| Puebla | 35,989 | 0.465 | 16,770 | 578,377.00 |
| Michoacán | 31,097 | 0.532 | 16,540 | 381,959.00 |
| Sub-total | 1'261,032 | | | |
| Otros | 450,946 | | | |
| Total | 1'711,978 | | | |

2.3. Clasificación del frijol

2.3.1. Taxonomía

De acuerdo con Burkat (1952), la clasificación taxonómica del frijol común Phaseolus vulgaris L. es la siguiente

| | |
|-------------|--------------------|
| Orden | Rosales |
| Familia | Leguminoseae |
| Sub familia | Papilionoideae |
| Tribu | Phaseoleae |
| Sub tribu | Phaseolinae |
| Género | <u>Phaseolus</u> |
| Especie | <u>vulgaris</u> L. |

El género Phaseolus, consta de 180 especies aproximadamente, de las cuáles 126 proceden del continente americano, 54 del sur de Asia y Oriente de África, 2 de Australia y 1 de Europa.

No obstante la gran variabilidad genética presente en este género, sobre todo en Mesoamérica, los investigadores actuales están de acuerdo en que es menor el número de especies de Phaseolus, ya que muchas de ellas son sinónimos y varias pertenecen en realidad a otros géneros como Vigna.

De las numerosas especies de frijol que existen en México, únicamente se han domesticado y cultivado cuatro: P. vulgaris L., P. coccineus L., P. lunatus L. y P. acutifolius Gray., siendo el P. vulgaris L. conocido como frijol común, el de mayor importancia agronómica y económica; ya que se cultiva en todos los estados del país (22).

2.3.2. Morfología

El frijol llamado también judía, alubía, habichuela, poroto, etc., es una planta herbácea y anual, la cuál presenta las siguientes características morfológicas:

Raíz.- El sistema radical está formado por la raíz primaria o principal que se desarrolla a partir de la radícula del embrión. Sobre esta y en disposición en forma de corona en la parte alta, se desarrollan las raíces secundarias, terciarias y otras subdivisiones. Aunque el sistema radicular presenta variaciones según las especies se le considera como fibroso con amplio desarrollo de las raíces secundarias.

Tallo.- El tallo joven es herbáceo y semileñoso al final del ciclo, de crecimiento determinado o indeterminado, es una sucesión de nudos y entrenudos donde se insertan las hojas y los diversos complejos axilares. El tallo o eje principal es de mayor diámetro que las ramas laterales, de color verde, rosa o morado, glabro o pubescente, determinado si termina en inflorescencia e indeterminado si su yema apical es vegetativa.

Ramas.- Las ramas provienen de yemas localizadas en las axilas de las hojas, es decir entre el tallo y la inserción de la hoja; pueden ser primarias si se desarrollan del tallo principal, secundarias si se 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 cotiledonares constituyen el primer par de hojas (hojas semina---

les). El segundo par de hojas y primer par de hojas verdaderas se desarrollan en el segundo nudo, son simples, opuestas y cordadas. A partir del tercer nudo, se desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas, de tres folíolos, un pecíolo y un raquis. El folíolo central es simétrico y acuminado y los dos laterales asimétricos y acuminados.

Flores.- Las flores se desarrollan en una inflorescencia en racimo, la cual puede ser terminal como sucede en las variedades de hábito determinado y lateral en las indeterminadas. La flor es papilionada de simetría bilateral pedicelada. La flor consta de 5 sépalos, 5 pétalos, 10 estambres y 1 pistilo; el cáliz es gamosépalo; los pétalos difieren morfológicamente y en conjunto forma la corola. El pétalo más grande, situado en la parte superior de la corola, se llama estandarte, y los dos pétalos laterales reciben el nombre de alas. En la parte inferior se encuentran los dos pétalos restantes, unidos por bordes laterales y formando la quilla.

Los estambres son diadelfos, y cada estambre consta de filamento y antera, 9 filamentos están soldados y el décimo libre. En el centro de la flor se encuentra el pistilo, que consta de ovario, estilo y estigma.

Fruto.- El fruto es el ovario fecundado y desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas. Las vainas generalmente son alargadas, de epidermis cerosa, de color verde rosado o púrpura, uniformes o con rayas, dehiscentes o indehiscentes. La dehiscencia se presenta en aquellas fibras

fuertes y texturas pergaminosa, en tanto que la indehiscencia es carnosa y sin fibras.

Semilla.- Las semillas nacen alternadamente sobre los márgenes de las 2 placentas de la parte ventral de la vaina y proviene de un óvulo camilótropo, carece de endospermo y consta de testa y embrión. La testa se deriva de los tegumentos del óvulo y su función es la de proteger al embrión. La semilla se une a la placenta a través del funículo, el cuál deja una cicatriz denominada hilo o hilum; aún lado del hilo se localiza el micrópilo y al otro lado el rafé. La semilla de frijol presenta una amplia variación en tamaño, color y forma dando origen así a numerosas variedades (30,32).

2.4. Exigencias ecológicas requeridas

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

2.4.1. Temperatura

El frijol común (Phaseolus vulgaris L.), para su germinación requiere temperaturas mayores de 8°C; con humedad apropiada y con temperaturas entre 20°C y 30°C, el frijol germina en dos o tres días después de la siembra.

La temperatura óptima para la floración del frijol es alrededor de 15°C, o temperaturas mayores de 26°C a 30°C y con déficit de humedad, generalmente las plantas abortan una conside-

rable cantidad de flores, esto último ocurre muy comunmente en el ciclo temprano en la región al coincidir la floración con -- las altas temperaturas. La temperatura óptima para maduración es alrededor de 20°C.

Con temperaturas menores a las arriba mencionadas, el desarrollo normal del cultivo puede verse afectado, así mismo se debe evitar que su ciclo vegetativo coincida con la época de heladas de cada región en que se vaya a cultivar (26).

Respecto al clima, 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 perjudicarlo un excesivo calor, evitando la fecundación floral y amarre del fruto.

2.4.2. Suelos

El frijol prospera bien en suelos fértiles de estructura media, como el franco limoso-arcilloso; los suelos deben ser -- profundos y bien drenados con un pH entre 5.5 y 6.5. Los suelos pesados son frecuentemente húmedos y fríos causando el crecimiento lento de la planta.

Los suelos con alto contenido de materia orgánica pueden favorecer el excesivo crecimiento vegetativo de la planta en -- perjuicio de la producción de semillas o vainas (38).

2.4.3. Fotoperíodo

El cultivo del frijol se clasifica dentro de los cultivos 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 este.

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 respecta a la intensidad de la luz necesaria para la planta, esta tendra que ser la adecuada ya que tiene un efecto indirecto en la fotosíntesis y respiración; el equili--- brio de los anteriores procesos implica la existencia adecuada de los fotosintatos para el buen desarrollo de la planta.

2.4.4. Altitud

El frijol común en México se siembra desde el nivel del -- mar hasta alturas de 2500 msnm, cubriendo una superficie aproximada de 2 millones de hectáreas con características ecológicas y sociales muy diferentes.

2.4.5. Humedad

Se puede producir bajo condiciones de temporal si existe una buena precipitación durante su ciclo vegetativo, tal como unos 600 mm, en los lugares donde no se alcanza se debe recurrir al riego (4).

2.5. El nitrógeno

2.5.1. Importancia en las plantas

De todos los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas el nitrógeno es el más importante y el que interviene en mayor cantidad, debido a las funciones bioquímicas con las que cumple (11).

La atmósfera contiene casi 78% de nitrógeno; sin embargo este nitrógeno no puede ser utilizado directamente por las plantas superiores, y requiere la previa combinación con hidrógeno o con oxígeno. Este elemento para ser absorbido por la mayoría de las plantas (excepto las leguminosas) debe estar en forma diferente que el nitrógeno molecular. Las formas más comunes asimiladas por las plantas son los iones de nitrato NO_3 y amonio NH_4 . La urea NH_2CONH_2 puede ser también absorbida por las plantas (40,41).

Independientemente de la forma absorbida, el nitrógeno es transformado en el interior de las plantas en bases nitrogenadas (-N-, -NH- ó -NH_2). De esta forma el nitrógeno interviene en la formación de aminoácidos, luego estos entran en la síntesis de prótidos y de proteínas vegetales (41).

Además, el nitrógeno se encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas y coenzimas. Las purinas y pirimidinas se encuentran en los ácidos nucleicos RNA y DNA esenciales para la síntesis de proteínas. El anillo de la porfirina se encuentra en compuestos tan importantes desde

el punto de vista metabólico, como las clorofilas y las enzimas del grupo de los citocromos, esenciales para la fotosíntesis y la respiración (12).

El nitrógeno da a las plantas ese color verde oscuro, gran desarrollo foliar, succulencia a la planta, así como un aumento de corpulencia a los granos. Las plantas que carecen de nitrógeno no están raquílicas; de color verde pálido y anémicas (46).

Sin embargo, una aportación en exceso de este elemento puede causar efectos negativos al cultivo como:

- 1.- El nitrógeno puede retardar la maduración al favorecer excesivamente el crecimiento vegetativo, que continúa verde más allá del tiempo normal de maduración.
- 2.- Puede debilitar la paja y favorecer el encamado.
- 3.- El nitrógeno puede bajar la calidad del cultivo. Esto es especialmente notable en ciertos granos y frutos.
- 4.- En ocasiones, pueden hacer disminuir la resistencia a enfermedades.

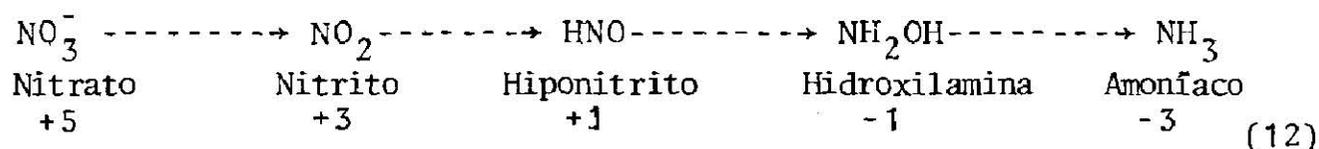
2.5.2. Formas de nitrógeno disponible para las plantas

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

- 1.- Nitrógeno en forma de nitrato
- 2.- Nitrógeno en forma 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 empleado directamente por la planta, si no que debe ser reducido hasta amoníaco, antes de que pueda ser incorporado a los compuestos nitrogenados en el tejido de la -- planta.

La secuencia de la reducción de nitrato en amonio es como sigue:



El nitrógeno en forma amoniacal (NH_4) es una forma inorgánica ya que es producto de la reducción del amoníaco, es un com puesto intermedio del proceso de nitrificación y que se produce específicamente en una fase llamada amonización (39).

Nitrógeno en forma orgánica.- Como fuente nitrogenada para su crecimiento muchas plantas pueden utilizar el nitrógeno en forma orgánica, además de nitrógeno inorgánico. Muchos de los aminoácidos y las aminos suministran así nitrógeno aprovecha ble para el crecimiento de la planta. Así mismo, la urea repre senta una buena fuente de nitrógeno orgánico, gran parte del ni trógeno del suelo se encuentra en forma orgánica, básicamente en forma de proteína. La degradación de las proteínas libera aminoácidos que a su vez son oxidados hasta el nivel de nitrato, antes de ser absorbido por la planta o bien, dichos aminoácidos pueden ser empleados directamente por la planta.

Nitrógeno molecular (N_2).- La fuente de nitrógeno más abundante existente en la tierra es la atmósfera; que lo contiene en forma molecular. Sin embargo, sólo relativamente pocas plantas son capaces de asimilar o fijar nitrógeno a partir de esta abundante reserva que corresponde exclusivamente a plantas inferiores, tales como a ciertos grupos de algas azules y algunas bacterias. 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.

En esta forma de nitrógeno es donde intervienen las bacterias del género Rhizobium sp. (7,12).

2.5.3. Ciclo del nitrógeno (Figura 1)

La cantidad de nitrógeno presente en las rocas es baja, y como la mayor parte de los compuestos de nitrógeno son solubles, volátiles o fácilmente degradables, el nitrógeno presenta poca tendencia a acumularse. En la naturaleza existen considerables entradas y salidas de nitrógeno acompañadas de muchas transformaciones complejas. Para devolver el nitrógeno a la cadena alimenticia, el amoníaco se convierte en nitrato que es la forma más estable de nitrógeno en el ecosistema (10).

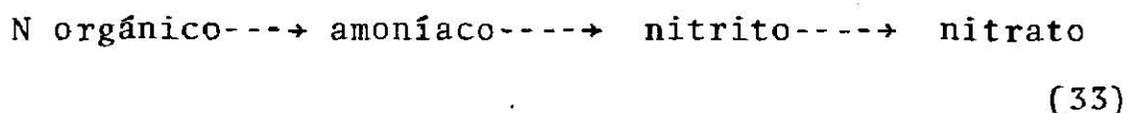
2.5.4. Etapas del ciclo del nitrógeno

Las plantas absorben la mayoría de su nitrógeno en forma de NO_3^- los cuales son utilizados en la manufactura de proteínas y compuestos orgánicos. Los animales al alimentarse de las plantas transforman estas proteínas vegetales a proteínas animales -

y desechos nitrogenados los cuales pasan nuevamente al suelo. La muerte de las plantas y animales en esta etapa son aprovechadas como fuente de alimento por bacterias y hongos de la descomposición, dando como resultado la formación de amoníaco y compuestos de amonio. Estos compuestos amoniados en una primera etapa son -- convertidos a nitritos por unas bacterias del suelo y en una siguiente etapa son convertidos a nitratos por unas bacterias diferentes a las de la primera etapa (31).

2.5.5. Mineralización de los compuestos nitrogenados

La mineralización del nitrógeno del suelo es el proceso -- por el cual el nitrógeno de los compuestos orgánicos se convierten en iones amonio inorgánicos y nitrato, y se produce etapa - por etapa, en tres reacciones esenciales: aminización, amonificación y nitrificación, son realizadas por microorganismos del suelo, presentándose la transformación siguiente:



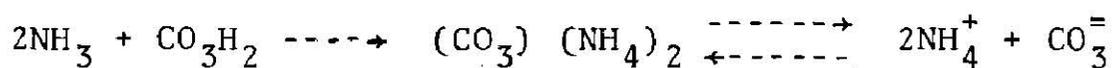
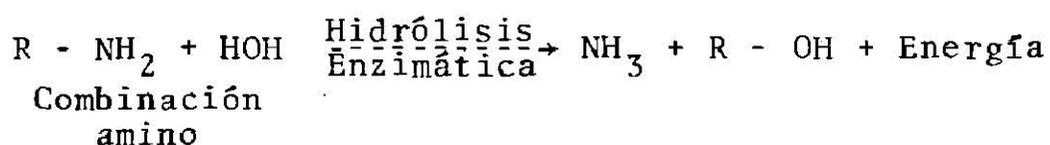
2.5.6. Aminización

Es una de las etapas finales en la descomposición de los materiales nitrogenados, que consiste en la descomposición hidrolítica de las proteínas y la liberación de aminas y aminoácidos. Esta función que realizan algunos de los organismos heterotrofos que incluyen numerosos grupos de bacterias y hongos se representa esquemáticamente como sigue:



2.5.7. Amonificación

Las aminas y aminoácidos así liberados son utilizados posteriormente por otros grupos de organismos heterotrofos como son las bacterias micrococcus ureae y Bacillus mycoides, así como algunos hongos con la respectiva liberación de compuestos amoniacales. Esta etapa se denomina amonificación y se representa como sigue:



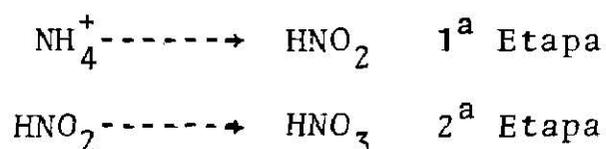
El amoniaco así liberado sufre diversos destinos en el suelo:

- 1.- Puede ser convertido a nitritos y nitratos en el proceso de nitrificación.
- 2.- Puede ser absorbido directamente por las plantas superiores, esto se logra mediante la reacción con el agua formando hidróxido de amonio, de tal forma que los iones amonio pueden ser utilizados directamente como fuente de nitrógeno.
- 3.- Puede ser fijado en una forma no utilizable biológicamente en ciertos tipos de arcilla en expansión.
- 4.- Puede escaparse el aire. (41).

2.5.8. Nitrificación

Es el proceso por el cual el amonio es convertido a nitratos. Este proceso es efectuado en su mayor parte por bacterias clasificadas como organismos autotrofos, porque la energía para la síntesis de sus compuestos orgánicos la derivan de la oxidación de sales inorgánicas simples y el carbono del CO_2 de la atmósfera que los rodea.

Bajo ciertas condiciones en el proceso de la nitrificación puede distinguirse dos etapas distintas estrechamente relacionadas, llamadas nitritación y nitratación.



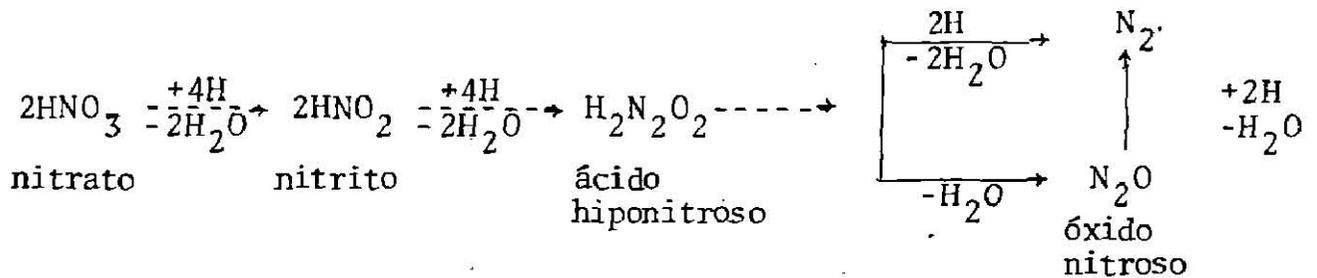
Los microorganismos responsables de la primera etapa pertenecen a cinco géneros de bacterias con diferentes especies: Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosocystis y Nitrosoglea. La segunda etapa es llevada a cabo por dos géneros de bacterias con varias especies: Nitrobacter y Nitrocystis de todos estos microorganismos los más frecuentes encontrados en el suelo son Nitrosomonas y Nitrobacter (13,14,15).

2.5.9. Desnitrificación

La desnitrificación es un proceso que involucra la reducción del nitrato a óxido nitroso y nitrógeno gaseoso, causando la pérdida del nitrógeno en suelos y aguas naturales que son deficientes en oxígeno. Los microorganismos responsables de este proceso son unas bacterias heterotroficas y autotrofas --

que en ausencia de oxígeno utilizan nitrato como un aceptor de electrón.

Proceso probable donde se realizan las pérdidas de N_2 es el siguiente:



Las bacterias más comunes que intervienen en este efecto nocivo desde el punto de vista de fertilidad del suelo son: -- Thiobacillus denitrificans, Micrococcus denitrificans, Pseudomonas denitrificans y Achoromobacter (25).

2.6. Conocimientos generales sobre la bacteria Rhizobium

2.6.1. Clasificación taxonómica

| | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|
| El <u>Rhizobium</u> pertenece al: | Reino | Vegetal |
| | Subreino | Thalophyta |
| | División | Schizophyta |
| | Clase | Schizomycetes |
| | Orden | Eubacteriales |
| | Familia | Rhizobiaceae |
| | Género | Rhizobium |

(44).

Un concepto generalmente aceptado para la clasificación del género Rhizobium sp. 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 sp. y en consecuencia una especie del género Rhizobium sp. esta 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 especie de Rhizobium sp. infecta a diferentes especies de leguminosas dentro de cada grupo.

Hay casi tantas cepas de bacterias radícolas como plantas sensibles hay que conjugar la pareja adecuada; la planta y el Rhizobium han de ser perfectamente compatibles (33).

Regularmente se reconocen seis grupos de inoculación cruzada: El grupo alfalfa, frijol de vaca, lupino, chícharo, trébol y soya.

2.6.2. Características generales del Rhizobium

Bergey (1957), afirma que la familia Rhizobiaceae está formada de tres diferentes géneros: Rhizobium, Agrobacterium y Chromobacterium. El nombre de esta familia, esta formada por-

las raíces griegas "Rhiza"=raíz y "bios"=vida.

Cuadro 3. Grupos de inoculación cruzada y asociaciones de Rhizobium-Leguminosa.

| Grupos de inoculación cruzada | Especie de <u>Rhizobium</u> | Género hospedero | Leguminosas incluídas |
|-------------------------------|---|--|--|
| Grupo de la alfalfa | <u>R. meliloti</u> | <u>Medicago</u> <u>Melilotus</u> <u>Trigonoella</u> | Alfalfa Trébol dulce Alholva |
| Grupo del trébol | <u>R. trifolii</u> <u>R. leguminosarum</u> | <u>Trifolium</u> <u>Pisum</u> <u>Vicia</u> <u>Lanthyrus</u> <u>Lens</u> | Tréboles Chícharo Haba Guisante dulce Lenteja |
| Grupo del frijol | <u>R. phaseoli</u> | <u>Phaseolus</u> | Frijol |
| Grupo del altramuz | <u>R. lupini</u> | <u>Lupinus</u> <u>Ornithopus</u> | Altramuz Serradela |
| Grupo de la soya | <u>R. japonicum</u> | <u>Glycine</u> <u>Vigna</u> <u>Lespedaza</u> <u>Crotalaria</u> <u>Pueraria</u> <u>Arachis</u> <u>Phaseolus</u> | Soya Caupí Trébol del japon Crotalaria Kudzú Cacahuate Frijol lima |

Estos microorganismos son bacilos de tamaño medio y se encuentran en casi todos los suelos (29).

Los rizobios son eubacterias, quimoorganotrofas, gram-negativas, no esporulentas, microaerofilicas, que miden de 0.5 a -- 0.9 de ancho por 1.2 a 3 micras de largo. La especie de Rhizobium tiene varias fases distintas a saber, una fase móvil en el suelo cuando jóvenes y una fase bacteroide en las nudosidades radicales, presentan forma típica de bastones cuando crecen en medios adecuados y activamente en los nódulos vigorosos, pero pueden adoptar formas de X, Y, T, Estrella, Pera, Racimos y Bas

tones vacuolados si crecen en condiciones desfavorables del medio o nódulo. Generalmente las bacterias se reproducen asexualmente por división sencilla (fisión), división del cuerpo progenitor en partes más o menos iguales (11,17,34).

El *Rhizobium* tiene de dos a cinco flagelos peritricos sobre la superficie y uno de ellos es subpolar, en la mayoría de los casos los flagelos peritricos se desprenden fácilmente, lo que no sucede con el flagelo subpolar (29).

La temperatura óptima en que viven es de 25°C. El pH en el que la mayoría de las bacterias del suelo crecen es alrededor de 7 y cuando el pH baja (ácido) el número de bacterias de crece (5).

Los miembros de este género *Rhizobium* se caracterizan por su capacidad para invadir los pelos radicales de las plantas leguminosas e incitar la producción de nódulos, donde las bacterias se encontrarán como simbiosis intracelulares involucrados en la fijación de nitrógeno molecular hacia formas combinadas utilizables por la planta hospedera (11).

2.6.3. Categorías del *Rhizobium*

Se dividen tomando en cuenta su velocidad de crecimiento, de esta forma, tenemos al grupo de crecimiento rápido en el cual se encuentran los cultivos de *R. melilotii*, *R. leguminosarum*, *R. trifolii* y *R. phaseoli* entre otros, los cuales producen turbidez en caldo o colonias visibles sobre medio sólido en 2-3 días a 28°C. El grupo de crecimiento lento, *R. japoni-*

cum, R. lupini y otras variedades requieren 5-8 días para obtener una cantidad igual de biomasa. El tiempo de duplicación de los cultivos de crecimiento rápido es de 3 horas y su velocidad específica de crecimiento es de 0.230/hora. Para los rizobios de crecimiento lento, el tiempo de duplicación es de 9 horas y su velocidad específica de crecimiento es de 0.077/hora (43).

2.6.4. Especificidad

La especificidad de la planta hospedera y la cepa bacteriana son muy importantes, ya que no todas las combinaciones de leguminosas y *Rhizobium* forman nódulos. En primer lugar existen más de 150 especies de leguminosas que no nodulan. Además, no hay ninguna cepa de *Rhizobium* que forme nódulos con todas las leguminosas. También puede existir cierta especificidad en la fijación de nitrógeno por la simbiosis leguminosa-*Rhizobium*, pero primero se tiene que dar el fenómeno de ineffectividad que es la capacidad para causar la formación de nódulos y luego el de efectividad, que es la capacidad para fijar nitrógeno en simbiosis.

La efectividad y la ineffectividad representan fenómenos que varían dentro de límites amplios, dependiendo de factores genéticos presentes tanto en la cepa bacteriana como en la planta hospedera; ocasionalmente las cepas nodulan ciertos hospederos pero son ineffectivos (5,11).

2.7. Fijación simbiótica de nitrógeno

2.7.1. Relación planta-bacteria

Ninguna planta superior ha desarrollado la capacidad de fijar nitrógeno por sí misma, pero existen simbioses que se asocian con los vegetales superiores y que pueden realizar la fijación de una manera muy activa. Una de las asociaciones simbióticas más interesantes e importantes es la que se da entre las leguminosas y las bacterias del género *Rhizobium*. La infección de las raíces de una de estas leguminosas con la cepa adecuada de *Rhizobium* conduce a la formación de nódulos radiculares que contienen bacterias viviendo simbióticamente con la planta (asociación benéfica para ambas); las bacterias encuentran en las raíces de las leguminosas los azúcares que necesitan. En cambio el nitrógeno gaseoso lo toman del aire del suelo que penetra en las raíces leguminosas, bien a través de los tejidos ó bien por los pelos absorbentes, tras su disolución en el agua que las plantas absorben. En presencia de azúcares y nitrógeno libre las bacterias sintetizan sus proteínas y fabrican también sales amoniacales que excretan, para posteriormente ser utilizadas por la planta leguminosa.

La asociación o simbiosis (vida conjunta) entre leguminosa y estas bacterias explica la riqueza en proteínas de los guisantes, judías, alfalfa, trébol, etc. y la posibilidad de desarrollo de estos cultivos en terrenos pobres en nitrógeno (8,21, 42).

Por otra parte la bacteria al invadir la planta inicialmente se comporta como un fitopatógeno invadiendo la raíz de las plántulas. Si la planta es invadida por la cepa adecuada de *Rhizobium*, la relación se convierte en un beneficio mutuo (simbiosis) en lugar de parasitismo. Es muy discutible si se trata de una simbiosis o de un parasitismo tolerado, pues si la infestación es masiva la leguminosa puede morir; desde el punto de vista agrícola es una simbiosis pues ni la leguminosa ni *Rhizobium*, viviendo aisladamente pueden fijar nitrógeno --- (31,42).

2.7.2. Influencia del medio ambiente en la fijación del nitrógeno

La relación planta-bacteria puede ser afectada por influencia del medio ambiente que nos modifique la fijación de nitrógeno y son de tres tipos: físicos, nutricionales y biológicos.

Factores físicos.- Ejemplos de estos factores son el aire, temperatura, humedad del suelo, luz y reacción del suelo.

Aire: Existen algunos indicios que el requerimiento de oxígeno no es el mismo para todos los tipos de rizobios, pero se afirma que en ausencia de este la leghemoglobina de los nódulos no se forma.

Temperatura: Una disminución de 5°C en la temperatura óptima del suelo ocasiona una reducción del 4.5% en la cantidad de nitrógeno fijado; en cambio cuando se aumenta en 4°C, la fi

vos más importantes que modifican la fijación de nitrógeno son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, manganeso, boro, molibdeno y cobalto.

Nitrógeno: Se ha observado que existe una gran influencia de cantidad de nitrógeno que se encuentra en el suelo, en la nodulación causada por *Rhizobium*. Cuando un cultivo se fertiliza con una fuente nitrogenada y se inocula simultáneamente, la cantidad de nitrógeno simbiótico fijado disminuye a medida que el nitrógeno disponible en el suelo ó el fertilizante nitrogenado aumenta.

Fósforo: Se ha encontrado que la densidad de los nódulos existentes en la raíz es fuertemente estimulada por el fósforo, así como también el tamaño de los mismos. Además de que el fósforo es importante en las primeras fases infectivas de la nodulación ya que le proporciona motilidad a los rizobios en su camino hacia el sistema radicular además de que mantiene el nivel de población rizobiana. En su papel de nutriente esencial, tiene influencia directa en las ganancias de nitrógeno y la producción de las leguminosas; en las respuestas de la fijación de nitrógeno y de los mecanismos de nodulación hacia la fertilización con fósforo, están asociados con el vigor y la salud del hospedero, más que ser reflejos de una estimulación específica de la simbiosis.

Potasio: Se ha encontrado que no hay estimulación en la fijación de nitrógeno por el fósforo si no existe en los suelos una adecuada cantidad de fósforo disponible.

Calcio: Este elemento tiene una marcada influencia en la reacción del suelo, de ahí su importancia en el desarrollo de la planta y sobrevivencia de los rizobios.

Azufre: El azufre al igual que el fósforo, es necesario para el suministro de energía en los nódulos y en su ausencia éstos permanecen pequeños y no fijan nitrógeno. La aplicación de azufre aumenta el contenido de nitrógeno en la planta así como su fijación.

Hierro: El hierro es esencial para la producción de la leghemoglobina presente en los nódulos y en otros compuestos en el proceso de maduración de los nódulos, ya que se cree que actúa como catalizador debido a los cambios de valencia (transportador).

Cobre: La planta necesita pequeñas cantidades de cobre para su buen desarrollo ya que cuando se es deficiente en este elemento, el metabolismo de los carbohidratos se altera además, de que se forma una menor cantidad de leghemoglobina. Otros de los efectos es un pobre síntesis de proteínas.

Cobalto: El cobalto forma parte de la vitamina B₁₂ ya que es indispensable en la síntesis de la leghemoglobina.

Boro: Aunque el boro no se ha encontrado que sea esencial para los rizobios, sí es necesario para un buen desarrollo para las plantas y en forma esporádica, para el buen desarrollo de la raíz. Cuando existe una deficiencia de boro, el tejido vascular de los nódulos se desarrolla en forma anormal afectando el aspecto bacteroide. Otro de los efectos que causa esta-

deficiencia es la acumulación de carbohidratos en la planta, - lo cual disminuye la fijación de nitrógeno.

Molibdeno: El molibdeno es conocido desde hace tiempo como requerido para la asimilación normal de nitrógeno en las -- plantas. Este elemento posee una doble función, en pequeñisimas cantidades es requerido para la reducción de nitratos a amoniacó y relativamente; para la fijación de nitrógeno por leguminosas [3,16,28,33].

Factores biológicos (microorganismos).- Diversos microorganismos del suelo pueden hacer fracasar la relación planta— bacteria ya que se ha comprobado que bacterias, actinomicetá-- ceas y hongos ejercen una acción antagónica con los rizobios, - incluyendo su establecimiento. Por otra parte, a semejanza de otras bacterias los rizobios son muy propensos a las infecciones de virus bacteriógrafos procedentes del suelo ya que invaden las nudosidades, penetrando al interior de las bacterias - multiplicándose y destruyendo a las bacterias (21,43).

2.7.3. Formación del nódulo

La fijación de nitrógeno está ligada específicamente a la simbiosis de la planta-bacteria, y a la formación del nódulo. - Pueden formarse nódulos en las plántulas de las leguminosas -- tanto a partir de Rhizohium procedentes de la superficie de se millas como del suelo. Una vez en el suelo las bacterias se - multiplican, estimuladas por la secreción de la planta huésped de materiales ricos, en energía, aminoácidos y factores de cre cimiento en la rizosfera.

Cuando la planta empieza a crecer las bacterias penetran en el pelo radical formandose el filamento de infección, que se extiende por la pared del pelo radical. Las bacteras debido a su multiplicación producen grandes cantidades de ácido indolacético (AIA) y otras auxinas, que provocan la deformación y curvatura de las raíces promoviendo la nodulación (8,45).

2.8. Hidroponia

2.8.1. Definición del concepto

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

Se ha dado este nombre al método de producir plantas prescindiendo del suelo que es su habitáculo natural.

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 se usa como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución nutritiva.

Además del término aquí expuesto se le han dado varios nombres tales como: cultivos sin suelo, cultivo en arena, cultivo en agua, cultivo en carbonilla, nutricultura, quimiocultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo y agricultura en tanque (23,35).

2.8.2. Origen

Su origen se remonta a la antigua Roma. También se cree que los aztecas la utilizaron antes de la llegada de los conquistadores españoles en el siglo XVI.

La hidroponia moderna nació en 1699 cuando experimentalmente se cultivaron plantas en agua, a fin de determinar los minerales necesarios para su desarrollo. No obstante, el cultivo hidropónico en gran escala es una innovación reciente (18).

2.8.3. Importancia de hidroponia

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

En la obtención de alimentos en áreas desérticas, donde el agua es la principal limitante y que puede ser utilizada en forma intensiva al grado de reciclar el agua evitando las pérdidas por evaporación considerando solo la que se pierde por transpiración de la planta.

Para producir en regiones tropicales; bajo condiciones de clima consideradas como invernaderos naturales, el cultivo de hidroponia resulta económico por no requerir gastos de invernadero donde obtendríamos cosechas todo el año.

Para producir bajo condiciones de clima templado y frío;-

donde con el sistema hidroponia obtendríamos varias cosechas - al año, aumentar el rendimiento y cosecha fuera de estación, - bajo condiciones de invernadero.

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 balancearlas.

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

Para producir hortalizas, flores y plantas ornamentales en azoteas, jardines, patios, terrazas de la ciudad.

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 edáficos puede ser prácticamente eliminada, así como mantener los factores climáticos constantes, los cuales pueden afectar el rendimiento (1,35).

2.8.4. Ventajas de la hidroponia

Uno de los atractivos más importantes en la hidroponia es la reducción en los requisitos de agua. En el campo se requiere de 30 a 100 veces más agua para cultivar hortalizas o pas-

tos de similar calidad, por lo que la hidroponia es ideal para las áreas desérticas.

Como resultado de mantener los niveles perfectos de humedad y la temperatura y haciendolos variar a intervalos similares a los del día y la noche, se obtienen resultados satisfactorios al obtener hortalizas de apariencia uniforme y perfecta, debido a la creación de ese ambiente ideal que no puede existir en la naturaleza (18).

Las ventajas de la hidroponia con respecto a cultivo bajo suelo son:

- 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.- Existe un control perfecto del pH.
- 7.- No depende tanto de fenómenos metereológicos.
- 8.- Más alto rendimiento por unidad de superficie.
- 9.- Mayor calidad de los productos.
- 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 en los costos de producción.

- 15.- Se puede utilizar agua con altos contenidos de sales.
- 16.- Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión.
- 17.- Las enfermedades e insectos del suelo son eliminados puesto que no tienen un medio que les permita vivir.
- 18.- La limpieza de malas hierbas queda eliminada totalmente.
- 19.- Los altos requerimientos de mano de obra quedan suprimidos. (20).

2.8.5. Desventajas de la hidroponia

- 1.- Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimientos técnicos combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica.
- 2.- El costo de la instalación cuando ésta es de orden comercial es elevado.
- 3.- El costo de la energía necesaria para mantener la temperatura, luz y humedad del ambiente hidropónico es elevado.
- 4.- 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 y darle demasiada o poca pendiente a las camas, provocando asfixia en las raíces 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.
- 5.- Se necesita conocer y manejar la especie que se cultiva en el sistema (20,35).

2.8.6. Soluciones nutritivas

Las investigaciones han mostrado que las plantas pueden prosperar en una variedad amplia de concentraciones de la solución nutritiva, ya que ésta constituye el fundamento de la hidroponía debido a que ésta tiene que ofrecer las mismas condiciones ambientales que le ofrece la naturaleza y si es posible facilitárselas superándolas como de hecho así ocurre, con lo cual las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal quedarán facilitadas.

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 tales como: hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y molibdeno en formas inorgánicas.

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

| | |
|-----------|-------------|
| Nitrógeno | 150-200 ppm |
| Fósforo | 50 " |
| Potasio | 300-500 " |
| Calcio | 150-500 " |
| Magnesio | 50 " |
| Hierro | 3- 12 " |
| Manganeso | 1 " |
| Cobre | 0.1 " |
| Zinc | 0.1 " |
| Boro | 0.2 " |

| | | |
|-----------|------|-----|
| Molibdeno | 0.05 | ppm |
| Sodio | 250 | " |
| Cloro | 400 | " |

El nitrógeno debe ser solo en forma de nitrato y la concentración del hierro debe ser más alta al comienzo de la estación (19).

2.8.7. Acidez y alcalinidad de las soluciones

Uno de los factores más importantes en química-cultura vegetal, es el de mantener la debida acidez o alcalinidad de la solución empleada de modo que satisfaga las exigencias de las diversas especies de plantas ya que a veces, el fracaso es debido a este factor, pero con un poco de atención puede ser remediado fácilmente.

Si nuestra solución nutritiva resulta demasiado ácida, -- puede corregirse añadiendo una sustancia alcalina y si resulta demasiado alcalina, puede corregirse añadiendo una sustancia - ácida.

Es recomendable no emplear soluciones para la producción- vegetal con pH menor que 4 ó mayor que 9, porque las primeras- son demasiado ácidas y las segundas demasiado alcalinas (20).

Cuadro de preferencia de pH para varios vegetales y frutas.

| <u>Nombre de la planta</u> | <u>pH</u> | <u>Nombre de la planta</u> | <u>pH</u> |
|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Frijol | 6-6.5 | Col de Brucelas | 6.5 |
| Col | 7.5 | Coliflor | 7.5 |
| Apio | 7.5 | Cucumbers | 6.0 |
| Planta huevo | 6.5 | Endivia | 6.5 |
| Ajo | 6.5 | Puerro | 6.5 |
| Lechuga | 7.0 | Perejil | 7.5 |
| Cebolla | 7.5 | Guisantes | 6.0 |
| Rábanos | 6.5 | Papa | 5.5 |
| Calabacita | 6.0 | Espinaca | 6.5 |
| Acelga | 6.5 | Fresas | 6.0 |
| Tomate | 6-6.4 | Berro | 6.8 |

(6).

2.8.8. Cultivos recomendables en hidroponia

En nuestro país se han cultivado con mucho éxito (C.P. Chapingo) hortalizas como: coliflor, col de brucelas, brócoli, --- acelgas, espinacas, apio, lechuga, jitomates, tomate de cáscara, berenjenas, melones, col, pepinos y diversos tipos de chiles (jalapeños y morrones). En floricultura se ha utilizado -- con buenos resultados en los cultivos de rosas, claveles, orquídeas, gladiolos y crisantemos (1).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental

Este trabajo fué realizado en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., en los meses de mayo a julio de 1988, que se encuentra localizado en el municipio de Marín, N.L. sobre la carretera Zuazua-Marín en el Km. 17, siendo sus coordenadas geográficas 25°53' Latitud Norte y 100°03' Longitud Oeste con una altitud de 367 msnm.

3.2. Materiales

Para este experimento se ocuparon los siguientes materiales:

Material biológico:

- Cepas de bacterias Rhizobium phaseoli

1.- FM 121

2.- Nitrobiol

3.- 138

4.- 171

- Semilla de frijol Negro Jamapa

Material instrumental:

- 20 frascos de 3,4 lt cada uno de vidrio oscuro

- Solución nutritiva

- Papel

- Ligas de amarre

- Charola de propagación

- Perlita
- 5 motores (bombas de aereación)
- Agua destilada
- Etiquetas de identificación
- Manguera de 4 mm de diámetro
- Molino de Wiley de acero inoxidable
- Kjeldahl
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Fotocolorímetro
- Estacas

3.3. Solución nutritiva utilizada

| <u>Nombre del reactivo</u> | <u>Fórmula</u> | <u>Gramos</u> |
|----------------------------|---|---------------|
| -Sulfato de amonio | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 0.750 |
| -Nitrato de calcio | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 65.100 |
| -Nitrato de potasio | KNO_3 | 31.200 |
| -Fosfato monopotásico | KH_2PO_4 | 21.300 |
| -Sulfato de magnesio | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 1.500 |
| -Acido bórico | H_3BO_3 | 0.720 |
| -Sulfato de manganeso | $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 0.375 |
| -Molibdato de amonio | $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.010 |
| -Sulfato de cobre | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 0.003 |
| -Sulfato de zinc | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.003 |

Nota: La fórmula mencionada es para 75 lt de agua y es utilizada en leguminosas (fuente: PENNINGSFELD, 1980).

3.4. Descripción del diseño experimental

El diseño experimental utilizado en este trabajo de investigación fué un diseño completamente al azar, constando de 5 tratamientos con 4 repeticiones, con lo cual se generaron 20 unidades experimentales.

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

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$$i=1,2,\dots,S$$

$$j=1,2,\dots,T$$

Donde:

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

μ = Media general.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

ϵ_{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.

A continuación se indican los tratamientos de las cepas de Rhizobium phaseoli.

T1: FM 121

T2: Nitrobiol

T3: 138

T4: 171

T5: Testigo (sin cepa bacteriana)

3.5. Características agronómicas de la variedad Negro Jamapa

La variedad del frijol negro jamapa posee las siguientes características:

- Color de hipocotilo morado.
- Color de flor morada.
- Color de grano negro ópaco.
- Hábito de crecimiento tipo II (indeterminado, guía corta --- erecto).
- Días a floración 50-65 días.
- Madurez fisiológica 100-110 días.
- Peso de 100 semillas de 20-25 gr .
- Rendimiento bajo riego 800-1800 kg/ha.
- Fecha de siembra del 15 de julio al 15 de agosto.
- Susceptible a chicharrita, mosquita blanca y gusano del follaje.
- Tiene un amplio rango de adaptación, se le considera un testigo internacional.
- Densidad de siembra 40-50 kg/ha.
- Se recomienda sembrar a una distancia entre surcos de 75 cm. y entre plantas de 5 cm.
- Comunmente se ven afectados por deficiencias de fierro (Fe)- que se corrigen con sulfato ferroso Heptahidratado del 2-5%.

3.6. Metodología

Para el desarrollo del frijol se utilizó la técnica de -- hidroponia, lo que nos permite tener un control cuantitativo --

de los nutrientes proporcionados a la planta, donde se probaron cuatro diferentes cepas de Rhizobium phaseoli y un testigo, el cual no fue inoculado con la bacteria, obteniéndose un total de 5 tratamientos con 4 repeticiones, resultando un total de 20 observaciones.

3.6.1. Siembra

La siembra se llevó a cabo en el invernadero, el 13 de mayo de 1988, colocando las semillas en una charola de propagación y utilizando perlita como medio de propagación, manteniéndose húmedo el medio para facilitar la germinación, presentándose esta a los 3 días después de la siembra.

Doce días después de la siembra las plántulas alcanzaron una altura de 10-15 cm, ideal para efectuar el trasplante al lugar definitivo (garrafón).

3.6.2. Inoculación

Las cepas de Rhizobium que se usaron fueron proporcionadas por el Proyecto de "Fijación Biológica de Nitrógeno" al cual pertenece este trabajo. La inoculación se llevó a cabo una vez obtenida las plántulas para el trasplante. Dicha inoculación se realizó poniendo en contacto las cepas con la raíz de la plántula, usando aproximadamente menos de 0.5 gr de cepa-Rhizobiana por plántula.

3.6.3. Aireación

Esta se logró colocando 5 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.

3.6.4. Vigilancia

Durante el desarrollo del cultivo se vigiló continuamente el funcionamiento de los motores de las bombas eléctricas con el fin de que la oxigenación no se suspendiera y la planta muriese por ahogamiento. Además, se estuvo vigilando a efecto de que no le faltara solución nutritiva a las plantas; por lo que se realizó el aforo de los frascos cada vez que fue necesario, - esto ocurrió aproximadamente cada semana y media.

3.6.5. Variables evaluadas

El registro de datos en el experimento se llevó a cabo -- hasta la floración ya que en el invernadero, se carecía de un sistema de control de temperatura llegando a tener temperaturas mayores de 35°C que provocaban la caída de la flor.

Las variables bajo estudio fueron:

X01: Altura de la planta (cm).

X02: Peso de la planta (gr).

X03: Concentración de Fósforo en el tejido (mg).

X04: Concentración de Potasio en el tejido (mg).

X05: Concentración de Magnesio en el tejido (mg).

X06: Concentración de Sodio en el tejido (mg).

X07: Concentración de Hierro en el tejido (mg).

X08: Concentración de Cobre en el tejido (mg).

X09: Concentración de Zinc en el tejido (mg).

X10: Concentración de Molibdeno en el tejido (mg).

X11: Concentración de Manganeso en el tejido (mg).

X12: Nitrógeno fijado por la planta (mg).

Para la variable altura de la planta (X01).- se procedió a extraer las plantas del garrafón y posteriormente se tendieron en una mesa para el registro de su altura en cm , para lo cual se midió desde el cuello de la raíz hasta la punta de la guía de mayor tamaño del tallo.

Para la variable peso seco de la planta (X02).- se efectuó un secado de la planta en una estufa por espacio de 48 hr para después proceder a tomar su peso seco.

Para las variables X03 a X11.- que nos indican la concentración de Fósforo, Potasio, Magnesio, Sodio, Hierro, Cobre, Zinc, Molibdeno y Manganeso se efectuó un análisis de tejido vegetal de la siguiente manera con el fin de conocer la concentración de los elementos en la planta.

1.- Preparación de la muestra.

Una vez tomado el peso seco de la planta esta se molió en un molino Wiley, utilizando un tamiz de 40 mesh.

2.- Incineración o digestión de las muestras.

Procedimiento de incineración en seco.- Pesar 1 gr de muestra (tejido vegetal seco), dentro de un recipiente de evaporación, ya sea un crisol Gooch o un frasco Pyrex Erlenmeyer-

50 ml, e incinerar de 4 a 6 hr en una mufla a una temperatura de 550°C, transcurrido el tiempo se sacan las muestras y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se humedecen con unas gotas de agua destilada y luego agregar aproximadamente 2 ml de HCl concentrado. Evaporar muy lentamente a baño maría o en una plancha caliente el agregado. Enseguida agregar 25 ml de solución 1N de HCl y se procede al filtrado de las muestras (filtrado original).

3.- Procedimiento analítico.

Con el filtrado original de cada una de las muestras se procede a determinar directamente: Fierro, Cobre, Zinc, Molibdeno y Manganeso por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

Para determinar el Magnesio, Potasio y Sodio se toma 1 ml del filtrado original para cada muestra y se le agregan 24 ml de agua destilada. De esta dilución se toma 2 ml y se le agregan 10 ml de solución de lantano al 1%, 13 ml de agua destilada. Analizar con el espectrofotómetro de absorción atómica.

En la determinación del Fósforo se toma 1 ml del filtrado original para cada muestra, se lleva a un matraz volumétrico de aforación de 50 ml, agregar 10 ml de amarillo vanadato y aforar a 50 ml con agua destilada, se dejan reposar por espacio de 20-30 minutos. Leer en el fotocolorímetro o espectrofotómetro de sistemas.

En lo que respecta a la variable nitrógeno fijado por la planta (X12).- se determinó por medio de la siguiente fórmula:

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

Donde:

N total (tejido vegetal): Este se determinó por el método Kjeldahl, donde se obtuvieron valores en porcentaje y posteriormente estos fueron transformados a mg (Tabla 1).

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

La solución nutritiva aportó por cada litro 162.6 ppm de nitrógeno, por lo tanto el volumen de agua que hay en la planta nos proporciona las ppm absorbidas (Tabla 2).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En seguida se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo para cada una de las variables analizadas, con su respectivo análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey o DMSH) en aquellas variables que resultaron significativas.

Altura de la planta.

En el análisis de varianza correspondiente a esta variable analizada, no mostró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, siendo el C.V. para esta variable bajo estudio de 25.90% (Cuadro 4).

Peso de la planta.

Refiriendose a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, resultando con un C.V. de 46.42% (Cuadro 5).

Concentración de Fósforo en el tejido vegetal.

Con respecto a esta variable analizada, el análisis de varianza el cual se reporta en el Cuadro 6, se encontró diferencia estadísticamente significativa alta, entre tratamientos -- con un C.V. de 39.04%.

En la comparación de medias (Tukey), se encontró que el tratamiento 3 (cepa 138), fué la que reportó un mayor incremento en la concentración promedio de Fósforo en el tejido con --

9266.34 mg siendo estadísticamente igual al tratamiento 4 (cepa 171) y diferente estadísticamente a los tratamientos 2 (cepa Nitrobiol), 5 (testigo) y 1 (cepa FM 121), siendo esta última la que reportó la más baja concentración en el tejido con 3399.66 mg (Cuadro 17).

Concentración de Potasio en el tejido vegetal.

En base al análisis de varianza practicado a esta variable no reportó diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, obteniendo un C.V. de 18.35% (Cuadro 7).

Concentración de Magnesio en el tejido vegetal.

El análisis de varianza correspondiente a dicha variable se reporta en el Cuadro 8, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, obteniendo un C.V. de 42.61%.

En la comparación de medias (Tukey), se encontró que el tratamiento 3 (cepa 138) fué la que reportó un mayor incremento en la concentración promedio de Magnesio en el tejido con 8771.31 mg, siendo estadísticamente igual a los tratamientos 1 (cepa FM 121), 2 (cepa Nitobiol), 5 (testigo) y diferente estadísticamente al tratamiento 4 (cepa 171), que fue el que reportó la concentración más baja en el promedio de Magnesio con 2221.45 mg (Cuadro 18).

Concentración de Sodio en el tejido vegetal.

En base al análisis de varianza efectuado a esta variable

se encontró diferencia estadísticamente significativa alta entre tratamiento, resultando un C.V. de 24.03% (Cuadro 9).

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 3 (cepa 138), fué la que reportó un mayor incremento en la concentración promedio de Sodio en el tejido con 6615.77 mg siendo estadísticamente igual al tratamiento 2 (cepa Nitrobiol) y diferente estadísticamente a los tratamientos 5 (testigo), 1 (cepa FM 121) y 4 (cepa 171), siendo este último el que reportó la más baja concentración promedio con 2983.25 mg (Cuadro 19).

Concentración de Hierro en el tejido vegetal.

En lo referente a esta variable analizada, el análisis de varianza reportó una diferencia estadísticamente significativa alta, entre tratamientos reportando un C.V. de 10.00% (Cuadro 10).

En la comparación de medias (Tukey), se encontró que el tratamiento 4 (cepa 171) fué el que reportó un mayor incremento en la concentración promedio en el tejido con 3023.02 mg -- siendo estadísticamente diferente a los tratamientos 1 (cepa FM 121), 5 (testigo), 3 (cepa 138) y 2 (cepa Nitrobiol), siendo esta última la que reportó más baja concentración promedio con 1950.13 mg (Cuadro 20).

Concentración de Manganeso en el tejido vegetal.

Refiriendose a esta variable analizada, el análisis de varianza no reportó diferencia estadísticamente significativa en

Concentración de Cobre en el tejido vegetal

En el análisis de varianza que corresponde a esta variable no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, obteniendo un C.V. de 59.15% (Cuadro 11).

Concentración de Zinc en el tejido vegetal.

De acuerdo al análisis de varianza efectuado a esta variable se encontró diferencia estadísticamente significativa alta, entre tratamientos, resultando un C.V. de 15.61% (Cuadro 12).

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 4 (cepa 171) fué la que reportó una mayor concentración promedio de Zinc en el tejido con 148.52 mg., siendo estadísticamente diferente a los tratamientos (Cepa 138), siendo esta última la que reportó la más baja concentración promedio con 67.86 mg (Cuadro 21).

Concentración de Molibdeno en el tejido vegetal.

Con respecto al análisis de varianza realizado a esta variable se encontró diferencia estadísticamente significativa alta entre tratamientos, reportando un C.V. de 26.48% (Cuadro 13).

En la comparación de medias (Tukey) se encontró que el tratamiento 2 (cepa Nitrobio1) fué la que reportó una mayor concentración promedio de Molibdeno en el tejido con 475.29 mg siendo estadísticamente igual a los tratamientos 5 (testigo), 3 (cepa 138) y estadísticamente diferente a los tratamientos 1 (cepa FM 121), 4 (cepa 171), siendo esta la que reportó la más baja concentración promedio con 98.00 mg (Cuadro 22).

tre tratamientos, siendo el C.V. de 16.35% (Cuadro 14).

Nitrógeno fijado por la planta.

En el análisis de varianza que corresponde a esta variable no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos siendo el C.V. de 40.00% (Cuadro 15).

Dado que los análisis de varianza para altura de planta y peso de planta no mostraron diferencia significativa, lo cual demuestra que las cepas bacterianas (tratamientos) utilizadas no mostraron superioridad de al menos un tratamiento en cuanto a la variable cantidad de Nitrógeno fijado, debido a las condiciones de alta temperatura y poca ventilación que prevalecieron durante el desarrollo del experimento, impidieron que la fijación se llevara a cabo como se esperaba.

En cuando al análisis de las variables concentración de elementos mayores y menores, se encontró diferencia significativa y altamente significativa en los siguientes elementos: Fósforo, Magnesio, Sodio, Fierro, Zinc y Molibdeno, al efectuar la prueba de comparación de medias se encontró que los tratamientos 3 (cepa 138), 4 (cepa 171) y 2 (cepa Nitrobiol) estuvieron involucrados con la mayor concentración promedio de elementos en el tejido de la planta.

Aunque no existe evidencia de que la bacteria intervenga directamente en la absorción de estos elementos, sí está establecido que son necesarios en las funciones vitales tanto de la bacteria como de la planta; podría pensarse que de alguna manera intervinieron para que el ANVA reportara tales significancias.

V. CONCLUSIONES

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

- 1.- No existió diferencia entre las cepas bacterianas (tratamientos), probadas en cuanto a fijación de nitrógeno, y su influencia en altura y peso de la planta.
- 2.- Existió diferencia significativa y altamente significativa para las siguientes cepas bacterianas y elementos correspondientes, con el mayor promedio de concentración en el tejido de la planta.

| <u>Cepa</u> | <u>Elemento(s)</u> | <u>Significancia</u> |
|-------------|--------------------|----------------------|
| 3 | Fósforo | ** |
| 4 | | |
| 3 | Magnesio | * |
| 3 | Sodio | ** |
| 4 | Fierro | ** |
| 4 | Zinc | ** |
| 2 | Molibdeno | ** |

Esto da por conclusión: Las cepas bacterianas que mejor interactúan con dichos elementos del medio nutritivo son: la 3 (cepa 138), 4 (cepa 171) y 2 (cepa Nitrobiol) por lo que se recomiendan estas cepas en la variedad de frijol Negro Jamapa, bajo la condición de hidroponia.

VI. RECOMENDACIONES

- A.- Considerando que en el presente trabajo, sólo se estudio la variedad de frijol Negro Jamapa, se hace necesario realizar ensayos con un número mayor de variedades.

- B.- En posteriores trabajos similares se recomienda utilizar una solución nutritiva con menos nitrógeno para una mayor eficiencia en la fijación.

- C.- Controlar los factores ambientales, como sería la temperatura y ventilación del medio.

- D.- Continuar realizando investigación auxiliándose con la técnica de cultivo hidroponia con que se cuenta y tratar de mejorarla.

VII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero dentro de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., ubicada en el municipio de Marín, N.L. en el período comprendido de mayo a julio de 1988.

Se trabajó con el cultivo del frijol bajo la técnica de hidroponía donde se compararon 4 cepas bacterianas de Rhizobium phaseoli.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- 1.- Evaluar las diferentes cepas de Rhizobium phaseoli, recomendadas para el cultivo del frijol en base a las variables: fijación de nitrógeno por la planta, su influencia en altura de la planta y peso de la planta.
- 2.- Evaluación de las cepas bacterianas y su influencia en la absorción de elementos nutritivos como son: P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mo y Mn presentes en el tejido vegetal.

De acuerdo a los objetivos planteados la hipótesis formulada es la siguiente:

Existe diferencia entre las cepas de Rhizobium phaseoli para frijol (Phaseolus vulgaris L.) en cuanto a fijación de nitrógeno, su influencia en altura de la planta, peso de la planta y determinación en la concentración de elementos nutritivos P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mo y Mn presentes en el tejido vegetal.

Las variables estudiadas fueron:

- X01: Altura de la planta (cm).
- X02: Peso seco de la planta (gr).
- X03: Concentración de Fósforo en el tejido (mg).
- X04: Concentración de Potasio en el tejido (mg).
- X05: Concentración de Magnesio en el tejido (mg).
- X06: Concentración de Sodio en el tejido (mg).
- X07: Concentración de Fierro en el tejido (mg).
- X08: Concentración de Cobre en el tejido (mg).
- X09: Concentración de Zinc en el tejido (mg).
- X10: Concentración de Molibdeno en el tejido (mg).
- X11: Concentración de Manganeso en el tejido (mg).
- X12: Nitrógeno fijado por la planta (mg).

El diseño experimental empleado fué un completamente al "azar" con 5 tratamientos (4 cepas y 1 testigo), con 4 repeticiones, dando un total de 20 observaciones.

El material utilizado fué:

- 1.- Cuatro cepas diferentes de Rhizobium phaseoli

| Tratamiento | Cepa |
|-------------|-------------------------------|
| 1 | FM 121 |
| 2 | Nitrobiol |
| 3 | 138 |
| 4 | 171 |
| 5 | Testigo (sin cepa bacteriana) |

- 2.- Frijol variedad Negro Jamapa.

- 3.- Frascos de vidrio oscuros (3.4 lt), bomba de aireación, -

solución nutritiva, espectrofotómetro de absorción atómica, fotocolorímetro, molino Wiley, Kjeldahl, charolas de propagación, estacas, hilos, etiquetas de identificación, etc.

Una vez evaluadas las variables no se encontró significancia para las variables:

Altura de la planta, peso de la planta y fijación de nitrógeno. Mientras que para las variables concentración de elementos, solamente en: P, Mg, Na, Fe, Zn y Mo resultaron significativas y altamente significativas estando los tratamientos (cepas):

- 3 (cepa 138).
- 4 (cepa 171).
- 2 (Nitrobiol).

Involucrados con la mayor concentración promedio de elementos en el tejido de la planta.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Alcalde, B.S. 1982. Hidroponia: Cultivos sin suelo, Agro—
síntesis (1982), Vol. 13, No. 9, pág. 52-53.
2. Alexander, M., 1980. Introducción a la microbiología del -
suelo. 2a. ed. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. pág. -
328.
3. Allen, J.R. and Roden. 1980. Effect of B, Mn, Mo and Zn Up
take N_2 fixation and yield of phaseolus, Agronomy abs-
tracts. pág. 75.
4. Bailey, L.H. 1961. Manual of cultivated plants. The Mc Mi-
llan Company. New York. pág. 573.
5. Bain, et al. 1971. Biología de los microorganismos; funda-
mentos de agricultura moderna. Ed. Aedos, Barcelona, -
España. pág. 96. 97, 105-106.
6. Bentley, M. 1974. Hidroponics plus; the bentley system, a-
new approach to intensified farming. O'Connor Printers.
Sioux Falls, South Dakota. pág. 196-197.
7. Bidwel, R.G.S. 1983. Fisiología vegetal. Ed. A.G.T. Editor
S.A. México, D.F. pág. 217-220.

8. Brock, T.D. 1978. Biología de los microorganismos. 2a. Ed. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. pág. 441-442.
9. Buckman, O.H. y Brady, C.N. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simon, S.A. Barcelona, - España. pág. 427-428.
10. Burrow, W. 1974. Tratado de microbiología. 2a. ed. Ed. Interamericana, S.A. México, D.F. pág. 105.
11. Cárdenas, R.A.-H. Rivera, 1983. Nitrógeno: imprescindible - en la agricultura. Agro-síntesis. Vol. 14 No. 6(83), - pág. 42-46.
12. Devlin, R.M. 1980. Fisiología vegetal. 3a. ed. Ed. Omega, - Barcelona, España. pág. 280-303.
13. Echegaray, S.A. Ortega, T.E. y Aguilera, N. 1966. Movimiento y nutrificación de fertilizantes nitrogenados en algunos suelos de México. Agrociencia. Vol. 1, ENA. C.P. de Chapingo. México. pág. 117.
14. García, F.J. y García, C.R. 1982. Edafología y fertilización agrícola. Ed. Aedos. Barcelona, España. pág. 58-59.
15. González, C.H., Echegaray, A.A. y Baldovinos, P.F. 1968. Nitrificación en algunos suelos de México. Agrociencia.-

Vol. 3. No. 1. ENA. C.P. Chapingo, México. pág. 128—
129.

16. Hanlon, E.A. and Lynd, J.G. 1981. Applied K and P interactions improved Growth, Nodulation and Nitrogen Fixation of Phaseolus, Agronomy Abstracts. pág. 162.
17. Hawker, L.E., Linton, A.H. y Folkes, B.F. 1964. Elementos de microbiología general. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pág. 268-269.
18. Hidroponia. Promesa para climas extremos, Agricultura de las Américas. Kansas City. U.S.A. Vol. 29. No. 8 (80), pág. 6-7.
19. Hidroponia. Láminas líquidas alimentan cultivos. Agricultura de las Américas. Kansas City, U.S.A. Vol. 30, No.12 (83). pág. 54-55.
20. Huterwal, G.O. 1986. Hidroponia. Cultivo de plantas sin tierra. Ed. Albatros, Buenos Aires. República de Argentina. pág. 9, 17, 20, 21 y 107.
21. Jean-Prost. P. y Michel, J. 1970. La botánica y sus aplicaciones agrícolas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. -- pág. 378-380. 392-395.

22. Lepiz, I.R. y Navarro, S.F.J. 1983. Frijol en el Noroeste de México: tecnología de producción. S.A.R.H. pág. 29-31, 33-40.
23. Martínez, P.M. y Tico, R.L. 1975. Agricultura práctica. Ed. Ramón Sopena, S.A. Barcelona, España. pág. 447.
24. Miranda, C.S. 1967. Origen de Phaseolus vulgaris L. frijol común. Agrociencia. Vol. 1. No. 2. ENA. C.P. de Chapingo. México. pág. 100-101.
25. Mitchel, R. 1974. Introduction teonviromental microbiology. Ed. Preintice Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. pág. 177-178.
26. Moya, G.J.M. 1987. Evaluación de 4 cepas de Rhizobium phasoli en frijol Phaseolus vulgaris L. en pruebas cruzadas. Tesis profesional. F.A.U.A.N.L. Monterrey, N.L. - México. pág. 13.
27. Muever, F. and Wollum, A.G. 1981. Effect on high root temperature on Rhizobium stain on nodulation, nitrogen fixation and growth of soyben. Soil Science. Vol. 45, -- pág. 113-120.
28. Norvet, A.F. and Giordano, A.G. 1972. Micronutrientes en la agricultura. Soil Science of America. Madison, Wisconsin, U.S.A. pág. 125-130.

29. Pérez, T.H. 1980. Algunos aspectos biológicos de la asociación simbiótica P. vulgaris- R. phaseoli. Tesis Maestría ENA. C.P. Chapingo, México. pág. 8-9.
30. Robles, S.R. 1975. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa. México, D.F. pág. 554-556.
31. Rojas, G.M. 1981. Fisiología vegetal aplicada. 2a. ed. Ed. Mc Graw-Hill. Edo. de México. pág. 237-238.
32. Ruíz, O.M. 1966. Tratado elemental de botánica. Ed. E.C.L.A.S.A. México, D.F. pág. 621, 622.
33. Russell, W.E. y Russell, J.E. 1968. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. 4a. ed. Ed. Aguilar. Madrid, España. pág. 341.
34. Salle, A.J. 1965. Bacteriología. 2a. ed. Ed. Gustavo Gil, S.A. Barcelona, España. pág. 698-699.
35. Sánchez, C.F. y Escalante, R.E. 1983. Hidroponia. 2a. ed. Ed. Patronato Universitario de Chapingo. México. pág. 11, 13, 18 y 21.
36. S.A.R.H.-D.G.A. 1982. Econotecnia agrícola: la producción agropecuaria y forestal en el mundo y la participación de México. Vol. VI. No. 7. México, D.F. pág. 69.

37. Senez, J.C. 1976. Microbiología general. Ed. Alhambra. Madrid, España. pág. 35-36.
38. S.E.P. 1982. Manual para la educación agropecuaria: frijol y chícharo. Ed. Trillas. México, D.F. pág. 15.
39. Teuseher, H. y Alder, R. 1965. El suelo y su fertilidad, Ed. C.E.C.S.A. México 22, D.F. pág. 237-238.
40. Thompson, L.M. 1966. El suelo y su fertilidad. 3a. ed. Ed. Reverté, S.A. México 1, D.F. pág. 191-192.
41. Tisdale, L.S. y Nelson, L.W. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. U.T.H.A. Barcelona, España.-- pág. 138, 142, 150, 151.
42. Walter, G.D. y Mcbee, R.H. 1980. Introducción a la microbiología. 2a. ed. Ed. Continental. México 22, D.F. pág. 268-269.
43. Whyte, R.O. y Trumble, H.C. 1968. Las leguminosas en la agricultura. 2a. ed. Ed. FAO-ONU. Belgrado, Yugoslavia. pág. 195-198.
44. Wilbur, T.F. 1948. Bacteriology. 4a. ed. Ed. Champan and Hall Limited. pág. 121-123.

45. Wilkinson, J.F. 1976. Introducción a la microbiología. Ed. Herman Blume. Madrid, España. Vol. 1. pág. 128-129.
46. Worthen, E.L. y Aldrich, R.S. 1980. Suelos agrícolas: su - conservación y fertilización. 2a. ed. UTHA. México, D. F. pág. 88.

IX. ANEXO

Cuadro 4. Análisis de varianza para la altura de la planta.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F.teórica | |
|-------------|------|-----------|----------|---------------------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 15922.696 | 2980.674 | 1.267 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 47114.254 | 3140.950 | | | |
| Total | 20 | 63036.949 | 3317.734 | | | |

NS = No Significativo
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

$$C.V. = \frac{\sqrt{C M E}}{\bar{x}} \times 100$$

$$C.V. = 25.90\%$$

Cuadro 5. 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 | 125.545 | 31.386 | 1.847 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 254.952 | 16.997 | | | |
| Total | 20 | 380.497 | 20.026 | | | |

NS = No Significativo
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

$$C.V. = 46.42\%$$

Cuadro 6. Análisis de varianza para concentración de Fósforo

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|-----------|-------------|---------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 88930848 | 22232712 | 5.362** | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 62198960 | 4146597.250 | | | |
| Total | 20 | 151129808 | 7954200.500 | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 39.04%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 7. Análisis de varianza para concentración de Potasio.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|------------|-----------|---------------------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 667043968 | 166760992 | 2.347 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 1065823488 | 71054896 | | | |
| Total | 20 | 1732867456 | 91203552 | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 18.35%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 8. Análisis de varianza para concentración de Magnesio.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|-----------|-----------|--------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 109903848 | 27475962 | 3.566* | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 115571800 | 7704786.5 | | | |
| Total | 20 | 225475648 | | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 42.61%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 9. Análisis de varianza para concentración de Sodio.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|----------|-------------|-------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 31063848 | 7765962.000 | 6.7** | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 17386708 | 1159113.875 | | | |
| Total | 20 | 48450556 | 2550029.250 | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 24.03%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 10. Análisis de varianza para concentración de Hierro.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|-------------|------------|----------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 3022936.000 | 755734.000 | 14.825** | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 764649.250 | 50976.617 | | | |
| Total | 20 | 3787585.250 | 199346.594 | | | |

NS = No Significativo C.V. = 10.00%
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

Cuadro 11. Análisis de varianza para concentración de Cobre.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|-----------|----------|---------------------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 5337.545 | 1334.386 | 0.571 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 35039.723 | 2335.981 | | | |
| Total | 20 | 40377.270 | 2125.119 | | | |

NS = No Significativo C.V. = 59.15%
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

Cuadro 12. Análisis de varianza para concentración de Zinc.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|-----------|----------|----------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 14987.560 | 3746.890 | 16.195** | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 3470.394 | 231.360 | | | |
| Total | 20 | 18457.953 | 971.471 | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 15.61%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 13. Análisis de varianza para concentración de Molibdeno.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|------------|-----------|----------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 298835.844 | 74708.967 | 11.131** | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 100672.750 | 6711.517 | | | |
| Total | 20 | 399508.594 | 21026.760 | | | |

NS = No Significativo

C.V. = 26.48%

* = Significativo

** = Altamente Significativo

Cuadro 14. Análisis de varianza para concentración de Manganeso.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|------------|----------|---------------------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 26773.391 | 6693.348 | 0.956 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 105020.578 | 7001.372 | | | |
| Total | 20 | 131793.969 | 6936.525 | | | |

NS = No Significativo C.V. = 16.35%
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

Cuadro 15. Análisis de varianza para mg de Nitrógeno fijado por la planta.

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fcal. | F teórica | |
|-------------|------|------------|-----------|---------------------|-----------|------|
| | | | | | .05 | .01 |
| Media | 1 | | | | | |
| Tratamiento | 4 | 140704.437 | 35176.109 | 1.627 ^{NS} | 3.06 | 4.89 |
| Error | 15 | 324367.781 | 21624.520 | | | |
| Total | 20 | 465072.219 | 24477.484 | | | |

NS = No Significativo C.V. = 67.26%
 * = Significativo
 ** = Altamente Significativo

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

| Variable | Media | Mínima | Máxima | Rango | C.V. |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| X01 | 216.450 | 121.000 | 350.000 | 229.000 | 26.61 |
| X02 | 8.875 | 2.000 | 17.300 | 15.300 | 50.42 |
| X03 | 5215.771 | 2168.578 | 13956.427 | 11787.849 | 54.07 |
| X04 | 45930.316 | 30222.301 | 63147.465 | 32925.164 | 20.79 |
| X05 | 6514.129 | 659.560 | 11811.119 | 11151.560 | 52.88 |
| X06 | 4478.985 | 2518.128 | 9745.393 | 7227.265 | 35.65 |
| X07 | 2257.157 | 1645.463 | 3410.421 | 1764.958 | 19.78 |
| X08 | 81.697 | 32.240 | 236.800 | 204.560 | 56.42 |
| X09 | 97.399 | 58.547 | 169.459 | 110.912 | 32.00 |
| X10 | 309.275 | 81.204 | 550.751 | 469.547 | 46.88 |
| X11 | 428.197 | 287.360 | 578.955 | 291.595 | 19.45 |
| X12 | 218.633 | 12.960 | 603.250 | 590.290 | 71.55 |

Cuadro 17. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Fósforo.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{C M E}{T}}$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{4146597.250}{4}}$$

$$S_{\bar{y}} = 1018.159$$

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

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

$$\text{DMSH} = (1018.159) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 4449.35$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|----------------|-------------|
| 3 | <u>9266.34</u> | a |
| 4 | <u>4908.54</u> | ab |
| 2 | <u>4788.71</u> | b |
| 5 | <u>3715.60</u> | b |
| 1 | <u>3399.66</u> | b |

Cuadro 17. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Fósforo.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{C M E}{T}}$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{4146597.250}{4}}$$

$$S_{\bar{y}} = 1018.159$$

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

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

$$\text{DMSH} = (1018.159) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 4449.35$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|----------------|-------------|
| 3 | <u>9266.34</u> | a |
| 4 | <u>4908.54</u> | ab |
| 2 | <u>4788.71</u> | b |
| 5 | <u>3715.60</u> | b |
| 1 | <u>3399.66</u> | b |

Cuadro 18. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Magnesio.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \frac{\sqrt{C M E}}{r}$$

$$S_{\bar{y}} = \frac{\sqrt{7704786.50}}{4}$$

$$S_{\bar{y}} = 1387.87$$

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

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

$$\text{DMSH} = (1387.87) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 6065.0$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|---------|-------------|
| 3 | 8771.31 | a |
| 1 | 8133.12 | a |
| 2 | 7511.72 | a |
| 5 | 5933.04 | ab |
| 4 | 2221.45 | b |

Cuadro 19. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Sodio.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \frac{\sqrt{C M E}}{r}$$

$$S_{\bar{y}} = \frac{\sqrt{1159113.875}}{4}$$

$$S_{\bar{y}} = 538.31$$

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

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

$$\text{DMSH} = (538.31) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 2352.41$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|----------------|-------------|
| 3 | <u>6615.77</u> | a |
| 2 | <u>5004.74</u> | ab |
| 5 | <u>3949.23</u> | b |
| 1 | <u>3841.93</u> | b |
| 4 | <u>2983.25</u> | b |

Cuadro 20. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Hierro.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{C M E}{r}}$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{50976.617}{4}}$$

$$S_{\bar{y}} = 112.89$$

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

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

$$\text{DMSH} = (112.89) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 493.32$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|---------|-------------|
| 4 | 3023.02 | a |
| 1 | 2158.93 | b |
| 5 | 2088.02 | b |
| 3 | 2065.69 | b |
| 2 | 1950.13 | b |

Cuadro 21. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Zinc.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{C M E}{r}}$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{231.360}{4}}$$

$$S_{\bar{y}} = 7.60$$

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

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

$$\text{DMSH} = (7.60) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 33.21$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|--------|-------------|
| 4 | 148.52 | a |
| 5 | 95.42 | b |
| 1 | 93.29 | b |
| 2 | 81.90 | b |
| 3 | 67.86 | b |

Cuadro 22. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Molibdeno.

Método Tukey o DMSH

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

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{C M E}{r}}$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{6711.51}{4}}$$

$$S_{\bar{y}} = 40.96$$

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

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

$$\text{DMSH} = (40.96) (4.37)$$

$$\text{DMSH} = 179.00$$

| Tratamiento | Media | $\alpha.05$ |
|-------------|--------|-------------|
| 2 | 475.29 | a |
| 5 | 349.52 | a |
| 3 | 332.75 | ab |
| 1 | 290.82 | bc |
| 4 | 98.00 | d |

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

| Tratamiento | Peso de la panoja(gr) | | % de N total en el tejido | Conversión a (mg) |
|-------------|-----------------------|---|-----------------------------|-------------------|
| T1 R1 | 3.0 | X | $3.36 \div 100\% = 0.1008$ | 100.80 |
| T1 R2 | 5.0 | X | $3.78 \div 100\% = 0.189$ | 189.00 |
| T1 R3 | 7.3 | X | $3.71 \div 100\% = 0.275$ | 270.83 |
| T1 R4 | 3.0 | X | $3.50 \div 100\% = 0.105$ | 105.00 |
| T2 R1 | 11.0 | X | $2.20 \div 100\% = 0.242$ | 242.00 |
| T2 R2 | 11.1 | X | $2.50 \div 100\% = 0.277$ | 277.50 |
| T2 R3 | 9.0 | X | $3.50 \div 100\% = 0.315$ | 315.00 |
| T2 R4 | 3.0 | X | $3.09 \div 100\% = 0.0927$ | 92.70 |
| T3 R1 | 9.3 | X | $2.59 \div 100\% = 0.24087$ | 240.87 |
| T3 R2 | 12.0 | X | $0.35 \div 100\% = 0.042$ | 42.00 |
| T3 R3 | 15.0 | X | $0.37 \div 100\% = 0.0555$ | 55.50 |
| T3 R4 | 8.0 | X | $1.75 \div 100\% = 0.140$ | 140.00 |
| T4 R1 | 6.8 | X | $0.84 \div 100\% = 0.05712$ | 57.12 |
| T4 R2 | 17.3 | X | $3.50 \div 100\% = 0.6055$ | 605.50 |
| T4 R3 | 14.0 | X | $3.10 \div 100\% = 0.434$ | 434.00 |
| T4 R4 | 5.2 | X | $3.30 \div 100\% = 1.716$ | 171.60 |
| T5 R1 | 4.0 | X | $3.20 \div 100\% = 0.128$ | 128.00 |
| T5 R2 | 8.0 | X | $2.90 \div 100\% = 0.232$ | 232.00 |
| T5 R3 | 13.0 | X | $3.38 \div 100\% = 0.439$ | 439.40 |
| T5 R4 | 14.0 | X | $2.70 \div 100\% = 0.378$ | 378.00 |

Nota: 1 mg = 1 ppm

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

Tabla 2. Determinación de nitrógeno absorbido por la planta.

| Tratamiento | Peso fresco de la planta | H ₂ O/planta (ml) | Mg de Nitrógeno absorbido |
|-------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|
| T1 R1 | 3.0 | 12.0 | 1.951 |
| T1 R2 | 5.0 | 20.0 | 3.252 |
| T1 R3 | 7.3 | 29.2 | 4.747 |
| T1 R4 | 3.0 | 12.0 | 1.951 |
| T2 R1 | 11.0 | 44.0 | 7.154 |
| T2 R2 | 11.1 | 44.4 | 7.219 |
| T2 R3 | 9.0 | 36.0 | 5.853 |
| T2 R4 | 3.0 | 12.0 | 1.951 |
| T3 R1 | 9.3 | 37.2 | 6.048 |
| T3 R2 | 12.0 | 48.0 | 7.804 |
| T3 R3 | 15.0 | 60.0 | 9.756 |
| T3 R4 | 8.0 | 32.0 | 5.203 |
| T4 R1 | 6.8 | 27.2 | 4.422 |
| T4 R2 | 17.3 | 69.2 | 11.251 |
| T4 R3 | 14.0 | 56.0 | 9.105 |
| T4 R4 | 5.2 | 20.8 | 3.382 |
| T5 R1 | 4.0 | 16.0 | 2.601 |
| T5 R2 | 8.0 | 32.0 | 5.203 |
| T5 R3 | 13.0 | 52.0 | 8.455 |
| T5 R4 | 14.0 | 56 | 9.105 |

Nota: 0.8 = 80% de agua que pierde la planta una vez que ésta se ha secado por lo que es necesario agregarsela al peso seco que representa el 20% del peso para así tener el peso fresco de la planta, bajo el supuesto de: 1 gr = 1 ml = 1 cm³.

Fórmula para calcular los mg de nitrógeno absorbido, es el siguiente:

$$\text{mg de N absorbido} = \frac{(\text{H}_2\text{O/planta, ml}) \cdot (162.6 \text{ mg})}{1000 \text{ ml}}$$

Donde: 162.6 es la cantidad de mg aportados por la solución nutritiva por - libro de H₂O.

Tabla 3. Determinación de nitrógeno fijado por la planta.

| Tratamiento | Nitrógeno del tejido (mg) | - | Nitrógeno absorbido o aplicado (mg) | = | Nitrógeno fijado (mg) |
|-------------|---------------------------|---|-------------------------------------|---|-----------------------|
| T1 R1 | 100.80 | - | 1.951 | = | 98.85 |
| T1 R2 | 189.00 | - | 3.252 | = | 185.75 |
| T1 R3 | 275.90 | - | 4.747 | = | 271.16 |
| T1 R4 | 105.00 | - | 1.951 | = | 103.05 |
| T2 R1 | 242.00 | - | 7.154 | = | 234.85 |
| T2 R2 | 277.50 | - | 7.219 | = | 270.29 |
| T2 R3 | 315.00 | - | 5.853 | = | 309.15 |
| T2 R4 | 92.70 | - | 1.951 | = | 90.75 |
| T3 R1 | 240.87 | - | 6.048 | = | 234.83 |
| T3 R2 | 42.00 | - | 7.804 | = | 34.20 |
| T3 R3 | 55.50 | - | 9.756 | = | 45.75 |
| T3 R4 | 140.00 | - | 5.203 | = | 134.80 |
| T4 R1 | 57.12 | - | 4.422 | = | 52.70 |
| T4 R2 | 605.50 | - | 11.251 | = | 594.25 |
| T4 R3 | 434.00 | - | 9.105 | = | 424.90 |
| T4 R4 | 171.60 | - | 3.382 | = | 168.22 |
| T5 R1 | 128.00 | - | 2.601 | = | 125.40 |
| T5 R2 | 232.00 | - | 5.203 | = | 226.80 |
| T5 R3 | 439.40 | - | 8.455 | = | 430.95 |
| T5 R4 | 378.00 | - | 9.105 | = | 368.90 |

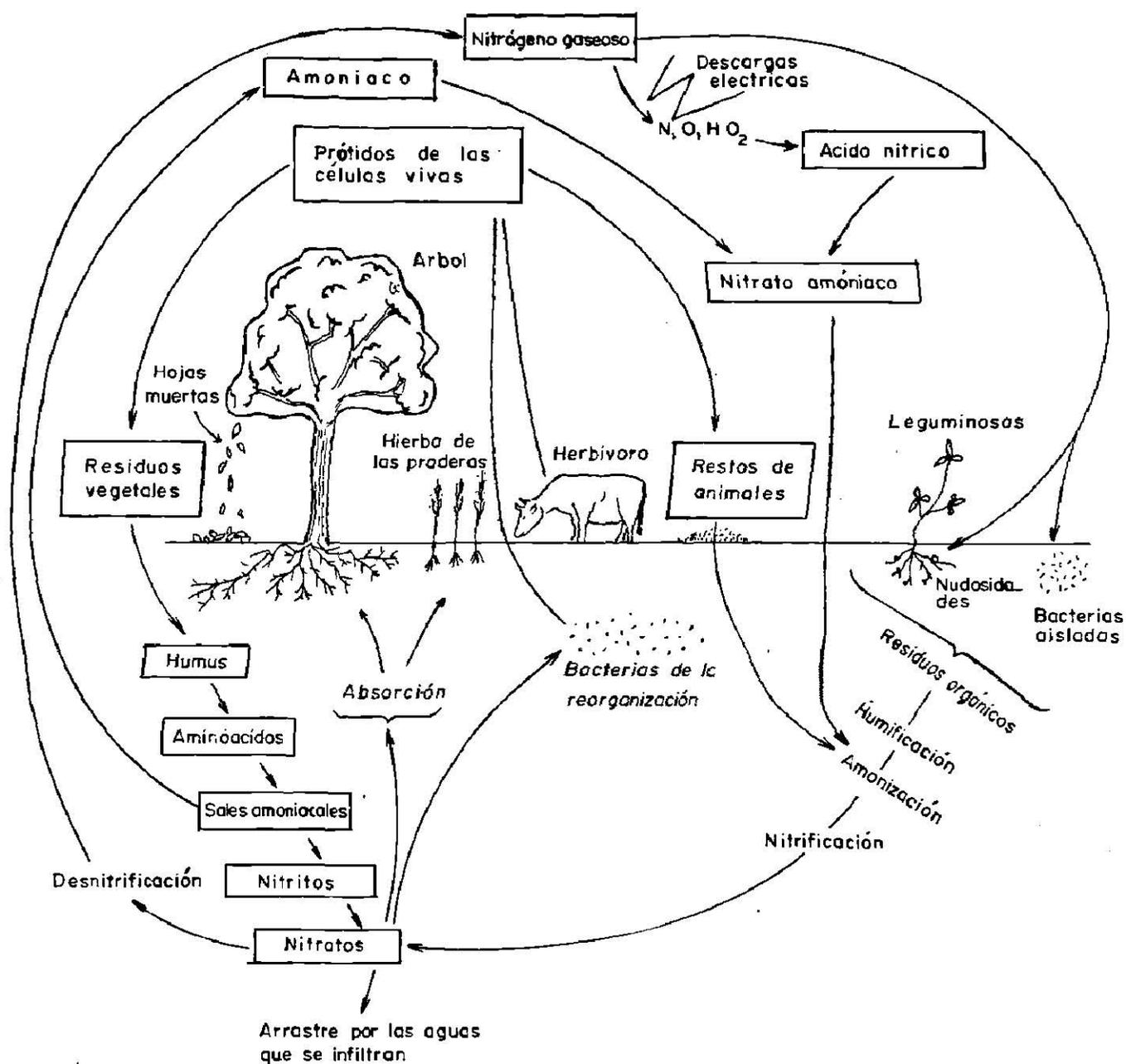


Figura 1. Ciclo del Nitrógeno.

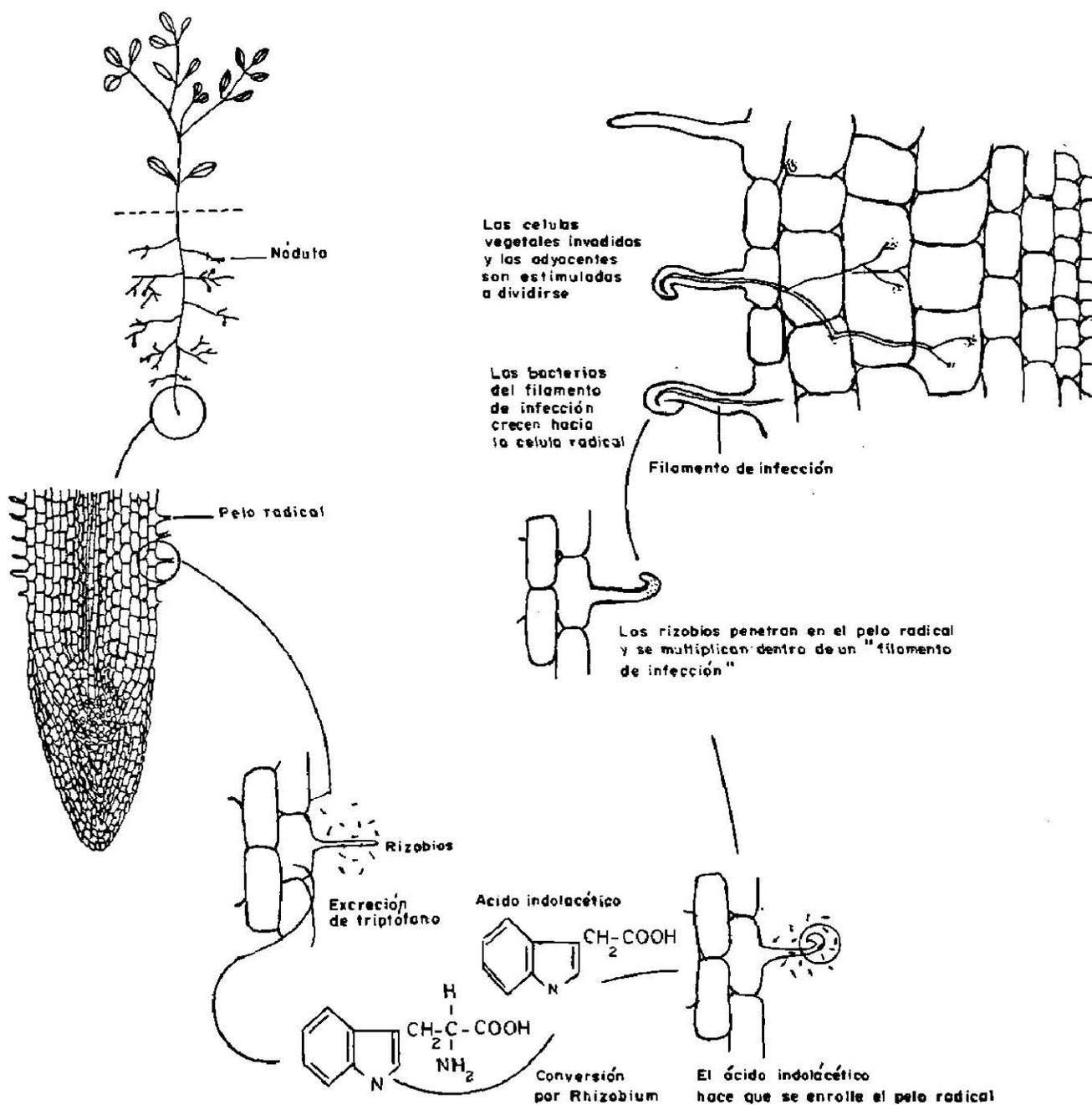


Figura 2. Estadios en la formación de un nódulo radical.

