



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERIA BIOQUÍMICA**

**PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

“DISEÑO DE UN BIOFERTILIZANTE PARA CULTIVO ORGÁNICO DE FRIJOL  
(*Phaseolus vulgaris* L.) SEGUNDA APLICACIÓN”

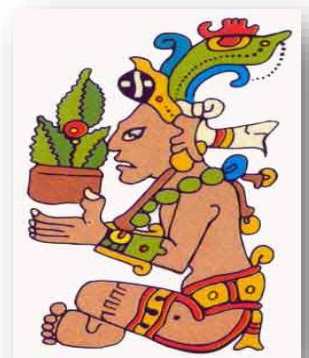
**PRESENTA:**

*GARCÍA GIL EVA MAGDALENA*

*NO. DE CONTROL 06270012*

**ASESOR:**

**DOC. JOAQUÍN ADOLFO MONTES MOLINA**



**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS A AGOSTO DE 2011**

## INDICE

TEMA	PÁGINA
I.- INTRODUCCION	5
II.- JUSTIFICACIÓN	9
III.- OBJETIVOS	10
III.1.- Objetivo general.	10
III.2.- Objetivo específico.	10
IV.-CARACTERIZACION DEL AREA DE TRABAJO	11
V.- PROBLEMAS A RESOLVER	12
VI.- ALCANCES Y LIMITACIONES	12
VII.- FUNDAMENTO TEORICO	13
VII.1. Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ).	13
VII.1.1. Origen del frijol	13
VII.1.2. Taxonomía y morfología	14
VII.1.3. Valor nutricional	17
VII.1.4. Importancia económica y distribución geográfica.	19
VII.1.5. Requerimientos edafoclimáticos.	21
VII.1.6. Material vegetal.	24
VII. 1.7. Particularidades del cultivo.	25
VII.1.7.1. Preparación del terreno.	25
VII.1.7.2. Marcos de plantación.	25
VII.1.7.3. Siembra.	26
VII.1.7.4. Escardas.	26
VII.1.7.5. Tutorado.	26
VII.1.7.6. Deshojado.	27
VII.1.7.7. Fertirrigación.	28
VII.1.7.8. Recolección	30
VII.1.7.9. Descripción de las etapas de desarrollo de frijol( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ).	31
VII.1.8. Efecto del nitrógeno sobre el cultivo del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ).	45



VII.1.9. Antecedentes sobre la utilización de biofertilizantes en el cultivo de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> ).	47
VII.2. Micorriza ( <i>Glomus fasciculatum</i> ).	50
VII.2.1. Taxonomía y morfología.	50
<b>VII.2.2. Medios de cultivo para micorrizas (<i>Glomus fasciculatum</i>).</b>	<b>51</b>
VII.2.3. Funciones y beneficios de las micorrizas.	52
VII.2.4. Importancia y aplicación de las micorrizas arbusculares.	54
VII.2.5. Función de las micorrizas en la planta.	55
VII.3. <i>Rhizobium etli</i> .	56
VII.3.1. Taxonomía y morfología.	56
<b>VII.3.2. Medios de cultivo para identificar <i>Rhizobium etli</i></b>	<b>57</b>
<b>VII. 3.3. Antecedentes</b>	<b>59</b>
VII.3.4. Fijación simbiótica en leguminosas	60
VII.4. Vermicomposta	61
VII.4.1. Antecedentes.	61
VII.4.2. Descomposición de residuos orgánicos.	63
VII.4.2.1. Proceso de composteo.	64
VII.4.3. Papel de las lombrices en el vermicomposteo.	66
VII.4.4. La vermicomposta o humus de lombriz	69
VII.4.5. Características de la vermicomposta.	70
VII.4.6. Materias primas utilizadas en el vermicomposteo	72
VII.4.7. La vermicomposta en desarrollo de las especies vegetales	73
VII.4.7.1. Promoción de crecimiento.	73
VII.4.7.2. Efecto sobre rendimiento.	75
VII.4.8. Control de enfermedades y organismos patógenos.	76
VII.4.8.1. Producción de sustancias húmicas	77
<b>VIII. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES</b>	<b>79</b>
VIII.1. Diseño experimental.	79
VIII. 2. Tratamientos.	81
<b>VIII.3. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>82</b>
VIII.3.1. Inoculación de la semilla con micorrizas ( <i>Glomus fasciculatum</i> ).	82



VIII.3.2. Inoculación con <i>Rhizobium etli</i> .	83
VIII.3.3. Desarrollo y descripción de actividades.	84
IX. RESULTADOS Y DISCUSIONES	84
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	91

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Fig. 1. Invernadero de Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez	10
Fig. 2. Frijol <i>phaseolus vulgaris</i> L.	13
Fig. 3. Distribución mundial del frijol.	14
Fig. 4, Etapa V0; germinación.	32
Fig. 5. Cotiledones de la planta al nivel del suelo; iniciación de la Etapa V1.	33
Fig. 6. Iniciación de la Etapa V2; las hojas primarias están desplegadas.	33
Fig. 7. Planta en Etapa V2. La primera hoja trifoliada comienza su crecimiento.	34
Fig. 8. Iniciación de la Etapa V3; la primera hoja trifoliada esta desplegada.	34
Fig. 9. Iniciación de la Etapa V4; la tercera hoja trifoliada esta desplegada.	35
Fig. 10. Iniciación de la Etapa R5 al parecer los primeros botones florales en una variedad determinada y los primeros racimos en una variedad de habito de crecimiento indeterminado.	37
Fig. 11. Desarrollo de la parte terminal del tallo o de una rama; (a) en una variedad de hábito de crecimiento determinado; y (b) en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.	38
Fig. 12. Diferencias entre un racimo y una rama incipiente.	39
Fig. 13. Desarrollo de complejo axilar de una planta de hábito de crecimiento indeterminado.	39
Fig. 14. Iniciación de la etapa R6; apertura de la primera flor. Se observa también un botón con abultamientos; es decir, próximo a abrir.	40
Fig. 15. Iniciación de la etapa R7. La corola de la flor cuelga de la vaina o recién se desprendido.	41
Fig. 16. Desarrollo de las valvas.	42



Fig. 17. Etapa R8; ocurre el proceso de llenado de la vaina.	43
Fig. 18. Tamaño, peso de las valvas y peso del grano del frijol.	43
Fig. 19. Iniciación de la etapa R9; cambio de color de las vainas.	44
Fig. 20. Aspecto de una planta madura lista para la cosecha.	45
Fig. 21. Media de la relación de frijol en temporal con aplicaciones de <i>Rhizobium etli</i> y Micorriza & fertilizantes.	50
Fig. 22. Dinámica de formación de un nódulo en la raíz de una leguminosa causado por <i>Rhizobium etli</i> .	59
Fig. 23. Análisis de los datos encontrados de la longitud de la planta al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).	85
Fig. 24 Análisis de los datos encontrados de la longitud del follaje de la planta al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).	86
Fig. 25. Análisis de los datos encontrados de la longitud de la raíz al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).	87
Fig. 26. Análisis de los datos encontrados de números de flores al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).	88

**INDICE DE TABLAS**

**PAGINA**

Tabla 1. Valor Nutricional.	18
Tabla 2. Temperaturas críticas.	21
Tabla 3. Nutrientes que la planta necesita para su desarrollo.	23



## I.INTRODUCCIÓN

Nuestras plantas cultivadas descienden de ancestros silvestres. Originalmente, estas especies no estaban uniformemente distribuidas sobre la superficie de la tierra. En algunas áreas se concentraron muchas especies valiosas, mientras que en otras, era difícil encontrar dichas especies.

Ha sido demostrado que la mayor cantidad de variación natural en una especie determinada ocurre cerca de los centros primarios y secundarios de origen.

En el caso particular del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) existen dos centros principales de diversificación: uno de ellos comprende el sur de México y gran parte de Centroamérica y el otro es la región de los Andes en Perú.

Como tantas actividades humanas en el milenio de la tecnología ya que esto ha influido en los alimentos desde el calentamiento global, en la evolución de microorganismos, en el que ser humano y su manera de adquirir los alimentos ha sido también evolutivo ya que también la agricultura también está evolucionando, es por eso que en esta residencia profesional hablara de la evolución y en diferentes tratamiento para el crecimiento, maduración y cosecha del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

La utilización de fertilizantes sintéticos en la agricultura no es perjudicial para el medio ambiente si se usan de forma racionalizada, ya que un fertilizante no es tóxico en las concentraciones en las que se deberían dosificar. Pero hay que buscar alternativas para intentar rehabilitar los suelos y mejorar los impactos que son causados por esta manera irracional de utilizar los fertilizantes. La mejor manera es dar un cambio a largo plazo hacia una agricultura ecológica, utilizando fertilizantes naturales. Es difícil convencer a los agricultores para que adopten estas prácticas. Para muchos expertos, la mejor solución a corto plazo es adoptar la práctica de una agricultura de conservación ¿Conservación de qué? Conservación del suelo (un recurso no renovable), el verdadero problema de la agricultura es la pérdida de suelo. Para evitar esta pérdida de suelo hay que



adoptar técnicas como el uso racional de fertilizantes químicos, y técnicas de laboreo mínimo (evitando así el arado constante, la quema de rastrojo etc.). Adoptando estas técnicas ecológicas:

- Reduciremos la erosión del suelo, con ello la pérdida de suelo.
- Evitaremos la contaminación de aguas subterráneas y superficiales
- Manteniendo la producción durante años.
- Lograremos mantener la propiedad del suelo como sumidero de carbono para reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera como resistencia al cambio climático.
- Reduciremos la contaminación del suelo.

La Agricultura de Conservación es un sistema de producción agrícola sostenible que comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las condiciones locales de cada región y a las exigencias del cultivo, cuyas técnicas de cultivo y de manejo de suelo evitan su erosión y degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, contribuyen al buen uso de los recursos naturales agua y aire, sin menoscabar los niveles de producción de las explotaciones.

Por tal razón, más recientemente se ha venido dando una nueva corriente de producción agrícola, enfocada a la agricultura sostenible y orgánica, tratando de sustituir las prácticas de producción convencional. Para esto se requiere de una visión más amplia de las interacciones biológicas dentro de los agros ecosistemas; en este sentido, los hongos micorrícicos parecen ser un componente fundamental dentro de las nuevas alternativas de producción

Las micorrizas son una asociación simbiótica, mutualista, entre las raíces de las plantas superiores y ciertos grupos de hongos del suelo (Bethelalvay y Linderman 1992). Las micorrizas se clasifican de acuerdo con su estructura, morfología y modo de infección en 2 tipos principales: ectomicorrizas y endomicorrizas (Sieverding 1991).

Entre los beneficios que ofrecen las micorrizas arbusculares en el crecimiento de las plantas, se encuentra un aumento en la absorción de P. Las plantas asociadas con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) exploran de 10 a



200 veces más volumen de suelo y absorben y transportan hacia la raíz más intensivamente aquellos elementos nutritivos que son poco disponibles para la planta (Hernández, 2009).

La importancia de los hongos micorrizógenos no estriba sólo en que pueden representar la fracción mayor de la biomasa del suelo, alcanzando hasta 20% del total de masa seca de la micorriza (Bethelvalvay 1992). Su función clave radica en que su abundante micelio intra y extra radical, constituye un enlace o puente entre las plantas y el suelo.

*Rhizobium etli* es una rizobacteria benéfica del frijol porque fija  $N_2$  en los nódulos de sus raíces, cuando estas plantas se siembran en el suelo sin suficiente nitrógeno inorgánico combinado, que supla la demanda nutricional del frijol. Mientras que para evitar que insectos-plaga anulen este efecto positivo de *R. etli* en la leguminosa. En la agricultura convencional es necesario aplicar pesticidas para protección de los cultivos vegetales.

Los resultados de este trabajo indican la factibilidad de seleccionar *R. etli* que conserve su capacidad de nodular y fijar  $N_2$ , al mismo tiempo que sea tolerante a pesticidas, lo que asegure su efecto positivo en la producción sostenible de frijol.

Por otro lado, las compostas por lo regular es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas. Este abono también se le conoce como "tierra vegetal" o "mantillo". Su calidad depende de los insumos que se han utilizado (tipo de estiércol y residuos vegetales), pero en promedio tiene 1,04% de N, 0,8% P y 1,5% K. Puede tener elementos contaminantes si se ha utilizado basura urbana, son consideradas mejoradores del suelo, ya que pueden proveer materia orgánica y nutrimentos, y modificar las propiedades físicas y químicas. De especial interés es la vermicomposta, que no es más que la excreta de la lombriz cuando ha digerido residuos orgánicos. El humus, debido a que pasa únicamente por su tracto digestivo, tiene una microbiota diferente; puede contener vesículas de HMA, bacterias, nutrimentos y





una diversidad de hongos. Desde el punto de vista de fertilidad, esta composta es considerada de alta calidad y es ideal como mejorador del suelo, por lo que la vermicomposta es considerada como un material idóneo para la propagación de plantas en vivero.

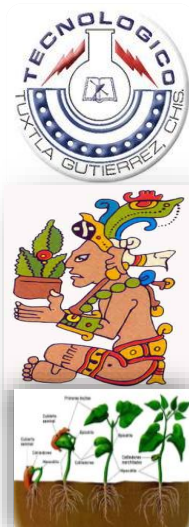
Considerando que los microorganismos, como las bacterias y HMA, desempeñan una función muy importante en la fertilización biológica y a la vermicomposta como un componente nutricional y mejorador del suelo, éstos pueden ser una trilogía con alta eficiencia para asegurar un óptimo crecimiento de las plantas, que permita reducir el uso de fertilizantes químicos y los problemas de contaminación ambiental. (López Moctezuma, 2005).



## II.- JUSTIFICACIÓN

Se estima que en México hay 622 mil productores de frijol. Tan solo los estados de Zacatecas, Durango y San Luis Potosí producen anualmente, el 40 por ciento de la producción nacional. En estos estados se ha implementado la reconversión de 447 mil hectáreas, lo que representa un avance del 68 por ciento de la meta establecida en 2004, en beneficio de 52 mil productores. El Secretario de Agricultura destacó que nuestro país ocupa el quinto lugar de la producción mundial de esta semilla con el seis por ciento de la producción global atrás de Brasil, India, China y Birmania.

En México el frijol ocupa el segundo lugar en superficie sembrada, formando parte fundamental de la dieta básica, esta leguminosa es cultivada principalmente con el fin de cosechar grano seco, el cual contiene un 24% de proteína y en menor proporción para el consumo en fresco es decir frijol ejotero, el cual se puede consumir enlatado, congelado o recién cosechado. 120 mil hectáreas producen este grano y podría incrementarse, señala la OCASIP Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 30 de Enero de 2011/Silvano Bautista I.- Chiapas es una entidad con un alto potencial para la producción de frijol pues existen actualmente un poco más de 120 mil hectáreas en donde se siembra este grano con un rendimiento de 572 kilogramos por hectáreas, pero este puede incrementarse y llegar a un potencia de tonelada y media bajo técnicas adecuadas, sea de temporal y de riego, señaló Francisco González González, dirigente de la Organización Campesina Agrícola Social Indígena y de Productores (OCASIP). Debido a estas razones se busca realizar en este proyecto aumentar el crecimiento de las plantas de frijol aumentando como consecuencia el rendimiento en producción de granos así como el nivel de nutrientes, en diferentes periodos, ya que la primer periodo fue diferente clima y determinar si la utilización de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), *Rhizobium etliy* vermicomposta, contribuyen al mayor rendimiento en este periodo verano-otoño ya que retomo este experimento, por que cuida la salud de los seres humanos y al medio ambiente.



### III. OBJETIVOS

#### III.1. Objetivo general.

Evaluar la influencia de micorriza (*Glomus fasciculatum*), *Rhizobium etli* y vermicomposta, sobre el crecimiento del frijol cultivado orgánicamente en el segundo periodo otoño-invierno.

#### III.2. Objetivos específicos.

- Evaluar el crecimiento de la planta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar el diámetro del tallo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar la clorofila de diferentes tratamientos de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar la cantidad de hojas de la planta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar la fijación de nitrógeno en la planta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).
- Evaluar el rendimiento por diferentes tratamientos de la planta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).



#### IV. CARACTERIZACION DEL AREA DE TRABAJO

El estudio se realizó en los invernaderos, ubicados en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Estos invernaderos se encuentran en la zona sureste de Tuxtla Gutiérrez, chipas a  $10^{\circ}46'24.21''$  latitud norte y  $93^{\circ}10'22.48''$  latitud poniente con una humedad relativa del 76%, con una temperatura de 27-36 °C a una altura de 600 m sobre el nivel del mar, con una precipitación de 400 ml si exceder de 600ml.



Fig. 1. Invernadero de Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



## V. PROBLEMAS A RESOLVER

Debido al aumento de la población, la demanda de alimentos es cada vez mayor; sobre todo en los alimentos básicos como el frijol, exigiendo así un mayor rendimiento en la producción de frijol en el país.

La mayoría de los fertilizantes que se venden de manera comercial tienen sustancias que son efectivas en el cultivo de frijol, pero tienen efectos nocivos para la salud de los seres vivos y el medio ambiente.

Para disminuir el efecto negativo que tienen los agentes químicos sobre la salud de los seres vivos y el medio ambiente surge como alternativa el uso de los biofertilizantes a base de vermicomposta en combinación con la bacteria *Rhizobium etli* y la micorriza (*Glomus fasciculatum*) los cuales son organismos propios del suelo que mejoran la fijación de Nitrógeno ( $N_2$ ) en el suelo, sin presentar efectos nocivos para la salud de los seres humanos y el ambiente.

## VI. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

El proyecto permitirá evaluar la influencia individual de una micorriza (*Glomus fasciculatum*), una bacteria fijadora de nitrógeno (*Rhizobium etli*) y la vermicomposta que son insumos autorizados para el cultivo orgánico de vegetales, así mismo, el diseño experimental a utilizar permitirá evaluar la interacción entre los 3 factores que permitan encontrar las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas de frijol.

Este proyecto está restringido a evaluar solamente la influencia de la micorriza (*Glomus fasciculatum*), *Rhizobium etli* y vermicomposta, que esta tiene con el crecimiento y el rendimiento en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), sin considerar otros parámetros que podrían influir en el cultivo del frijol; por ejemplo el control de plagas.



## VII. FUNDAMENTO TEORICO

### VII.1. Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).

#### VII.1.1. Origen del frijol.

El frijol es una especie de origen americano, puesto de manifiesto, tanto por diversos hallazgos arqueológicos como por evidencias botánicas e históricas. Los indicios más antiguos de cultivo datan del año 5000 a.C. La introducción en España y posteriormente su difusión al resto de Europa tiene lugar en las expediciones de comienzos del siglo XVI.

El fríjol, *Phaseolus vulgaris L.*, es una especie dicotiledónea anual, perteneciente a la familia de las fabáceas, antiguamente conocida como familia de las papilionáceas. El fríjol es una especie que presenta una enorme variabilidad genética, existiendo miles de cultivares que producen semillas de los más diversos colores, formas y tamaños. Si bien el cultivo se destina mayoritariamente a la obtención de grano seco, tiene una importante utilización hortícola, ya sea como poroto verde o como poroto granado.



Fig. 2. Frijol *Phaseolus vulgaris L.*



## VII.1.2. Taxonomía y morfología.

### Taxonomía

Son en las dos últimas décadas se han establecido bases sólidas universales en la taxonomía de *Phaseolus*. Este género ha sido bien diferenciado de otros como *Vigna* y *Macroptilium*, con los cuales se tenían confusiones respecto a su clasificación y se le reconoce como de origen exclusivamente americano.



Desde el punto de vista taxonómico esta especie es el prototipo del genero *Phaseolus* y nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Linneo en 1753. Pertenece a la tribu Phaseoleae

de la subfamilia Papilionoideae dentro del orden Rosales (Fig. 3).

Fig. 3. Distribución mundial del frijol.

### Morfología

**Orden:** Leguminosa      **Familia:** Papilionaceae.      **Tribu:** *Phaseoloideae*.

**Subtribu:** *Phaseolinae*      **Genero:** *Phaseolus*.      **Especie:** *Phaseolus vulgaris* L.

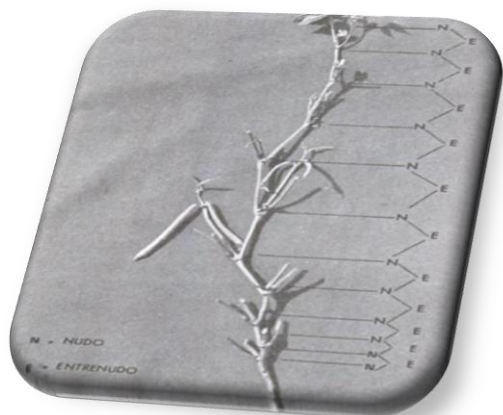
**Nombres Vulgares en español:** *Fríjol*,  
*frejol*,      *porotos*,      *guisante*

**Nombre vulgar en otros idiomas:** *Beans* (*inglés*).



**Planta:** anual, de vegetación rápida

**Sistema radicular:** es muy ligero y poco profundo y está constituido por una raíz principal y gran número de raíces secundarias con elevado grado de ramificación.



**Tallo principal:** es herbáceo. En variedades enanas presenta un porte erguido y una altura aproximada de 30 a 40 centímetros, mientras que en las judías de enrame alcanza una altura de 2 a 3 metros, siendo voluble y dextrógiro (se enrolla alrededor de un soporte o tutor en sentido contrario a las agujas el reloj).

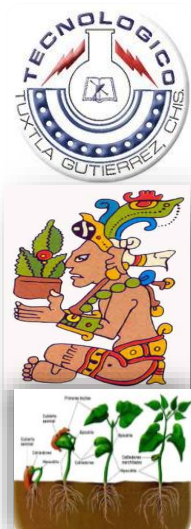
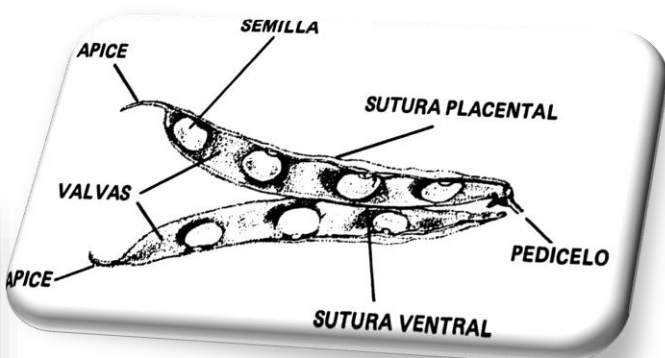
**Hoja:** sencilla, lanceolada y acuminada, de tamaño

variable según la variedad.

**Flor:** puede presentar diversos colores, únicos para cada variedad, aunque en las variedades más importantes la flor es blanca. Las flores se presentan en racimos en número de 4 a 8, cuyos pedúnculos nacen en las axilas de las hojas o en las terminales de algunos tallos.



**Fruto:** legumbre de color, forma y dimensiones variables, en cuyo interior se disponen de 4 a 6 semillas. Existen frutos de color verde, amarillo jaspeado de marrón o rojo sobre verde, etc., aunque los más demandados por el consumidor son los verdes y amarillos con forma





tanto cilíndrica como acentuada. En estado avanzado, las paredes de la vaina o cáscara se refuerzan por tejidos fibrosos.

**Crecimiento:** Generalmente, se entiende por crecimiento el cambio en volumen o en peso. Es un fenómeno cuantitativo que puede ser medido con base en algunos parámetros tales como anchura, longitud, acumulación de materia seca, numero de nudos, índice de



área foliar, etc.

**Desarrollo:**El desarrollo es cualitativo; se refiere a procesos de diferenciación o cambios estructurales y fisiológicos conformados por una serie de fenómenos o eventos de la aparición de botones florales o racimos, marca el cambio de la fase vegetativa a la fase reproductiva de la planta



**Características generales del desarrollo de la planta del frijol:** El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva.

**Fase vegetativa:**La fase vegetativa se inicia cuando se le brinda a las semillas las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades



de hábito de crecimiento determinado. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta.

**Fase reproductiva:** Esta fase se encuentra comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales o los racimos y la madurez de cosecha. En las plantas de habito de crecimiento indeterminado continua la aparición de estructuras vegetativas cuando termina la denominada fase vegetativa, lo cual hace posible que una planta esté produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallo, flores, vainas.

### VII.1.3. Valor nutricional

Respecto a la importancia del grano de frijol, afirma Orozco (1985) el frijol se destaca por su alto contenido de proteínas que oscila entre 14.5 y 32%, dependiendo de la variedad, la zona de cultivo y otros factores, como también el alto contenido de carbohidratos que fluctúan entre el 45 y el 70% (Solórzano, 1985).

Las cenizas varían del 3.2 al 4.4% y en ellas están presentes el potasio, el fósforo y el hierro parcialmente.

La proteína del frijol es la de mayor valor biológico, entre las leguminosas de grano, después de la soya y las arvejas. En cuanto a la calidad de la proteína, se considera que el frijol es deficiente en metionina, cistina y triptófano que son aminoácidos esenciales, aunque se ha reportado diferencia de valores en el contenido de estos aminoácidos atribuibles a variedades, principalmente (Solórzano. 1998).

El frijol es una excelente fuente de tiamina (vitamina B1), niacina, riboflavina (vitamina B2) y ácido ascórbico (vitamina C).



Tabla.1. Valor nutricional

Valor nutricional por cada 100 g	
<b>Energía 330 kcal 1390 kJ</b>	
<b>Carbohidratos</b>	61.5 g
• Fibra alimentaria	4.3 g
<b>Grasas</b>	1.8 g
• saturadas	0.12 g
• monoinsaturadas	0.06 g
• poliinsaturadas	0.18 g
<b>Proteínas</b>	19.2 g
<b>Agua</b>	7.9 g
<b>Vitamina A</b>	1.0 µg (0%)
<b>Tiamina (Vitamina. B1)</b>	0.62 mg (48%)
<b>Riboflavina (Vitamina. B2)</b>	0.14 mg (9%)
<b>Niacina (Vitamina. B3)</b>	1.7 mg (11%)
<b>Vitamina B6</b>	0.4 mg (31%)
<b>Ácido fólico (Vitamina. B9)</b>	394 µg (99%)
<b>Calcio</b>	228 mg (23%)
<b>Magnesio</b>	140 mg (38%)



<b>Fósforo</b>	407 mg (58%)
<b>Potasio</b>	1406 mg (30%)
<b>Sodio</b>	24 mg (2%)
<b>Zinc</b>	2.79 mg (28%)

Fuente: La FAO's 1990.

#### VII.1.4. Importancia económica y distribución geográfica.

El frijol es una planta originaria de Mesoamérica (que incluye México), la cual se viene cultivando desde hace alrededor de 8 mil años, desarrollándose durante ese tiempo una diversidad de tipos y calidades de frijoles. Se considera que en total existen alrededor de 150 especies, aunque en México estas ascienden a 50, destacando las cuatro especies que el hombre ha domesticado, como son el *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol comba) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari). En nuestro país las especies más importantes en cuanto a superficie sembrada y producción son las dos primeras.

Actualmente las variedades más comunes de frijoles y las regiones donde se utilizan, se describen a continuación: Blanco 157 (Bajío), Canocel (Bajío), Pinto 133 y Durango 225 (Bajío y regiones semiáridas), Durango 664 (Durango, Zacatecas y Chihuahua), Durango 222 (Regiones semiáridas), Canario 72 (Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Bajío), Ojo de Cabra 73 (Chihuahua, Zacatecas, Durango), Río Grande (Durango y Zacatecas), Bayo Calera (Zacatecas), Bayo Durango (Durango, Chihuahua, Zacatecas, Aguascalientes), Negro Perla, Bayo Macentral, Flor de Mayo M38, Flor de Junio Marcela, Flor de Mayo RMC, Flor de Mayo Bajío, Negro 150, Bayo INIFAP, Negro 8025, Flor de Durazno; éstas para zonas con clima templado subhúmedo. Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Pinto Villa, Bayo Victoria, Negro Durango, Negro Querétaro, Negro San Luis, (Altiplano Semiárido). Por la preferencia del



consumidor el frijol se clasifica en muy preferente: Azufrado, Mayocoba, Negro Jamapa, Peruano, Flor de Mayo y Flor de Junio; preferentes son las variedades Garbancillo, Manzano, Negro San Luis, Negro Querétaro y Pinto. Y por último los no preferentes que son: Alubia Blanca, Bayo Blanco, Negro Zacatecas, Ojo de Cabra y Bayo Berrendo.

En la zona norte de México se consume las variedades azufradas, que se cultivan principalmente en Sinaloa mientras que una gran parte de frijol negro se cultiva en Nayarit y Zacatecas, con una demanda mayormente concentrada en las zonas centro y sur del país.

Por su gran importancia económica y social, el frijol es un producto estratégico dentro del desarrollo rural de México, ya que ocupa el segundo lugar en cuanto a superficie sembrada nacional y representa además la segunda actividad agrícola más importante en el país por el número de productores dedicados al cultivo. Es así, que como generador de empleo es relevante dentro de la economía del sector rural.

Asimismo, es un alimento fundamental en la dieta de la población mexicana, sobre todo para las clases más desprotegidas del país, ya que constituye la fuente principal de proteínas para dicho sector, siendo un alimento que no puede sustituirse con el consumo de algún otro. Adicionalmente, la importancia ancestral de su cultivo en el campo mexicano radica también en que forma parte de la cultura gastronómica de México, de ahí la amplia aceptación del producto en la cocina mexicana, por lo que posee una gran demanda a nivel nacional.

Actualmente esta leguminosa se enfrenta a modificaciones importantes ante una sociedad cambiante, incluidos los hábitos alimenticios, a consecuencia del urbanismo, la migración y el empleo; así como el paso de una economía cerrada a una economía global, todo lo cual está ejerciendo presiones en diversas etapas de la cadena de producción, comercialización, transformación y consumo. SAGRAPA 2010.



El frijol es una leguminosa con grandes posibilidades para la alimentación humana, por su doble aprovechamiento (de grano y de vaina) y por su aporte proteico; además una parte de su producción se comercializa congelada y en conserva; aunque debe avanzar a través de la mejora genética y la adecuación de las técnicas de cultivo. Los países importadores de las cosechas españolas en frijol verde son: Francia, Alemania, Suiza y Reino Unido.

### VII.1.5. Requerimientos edafoclimáticos.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto. Es planta de clima húmedo y suave, dando las mejores producciones en climas cálidos.

#### Temperatura:

**Tabla. 2. Temperaturas críticas para judía en las distintas fases de desarrollo**

Temperatura óptima del suelo	15-20°C
Temperatura ambiente óptima de germinación	20-30°C
Temperatura mínima de germinación	10°C
Temperatura óptima durante el día	21-28°C
Temperatura óptima durante la noche	16-18°C
Temperatura máxima biológica	35-37°C
Temperatura mínima biológica	10-14°C
Temperatura mínima letal	0-2°C
Temperatura óptima de polinización	15-25°C

Fuente. CIAF Costa Rica. 2003.

Cuando la temperatura oscila entre 12-15°C la vegetación es poco vigorosa y por debajo de 15°C la mayoría de los frutos quedan en forma de "ganchillo". Por



encima de los 30°C también aparecen deformaciones en las vainas y se produce el aborto de flores.

**Humedad:** la humedad relativa óptima del aire en el invernadero durante la primera fase de cultivo es del 60% al 65%, y posteriormente oscila entre el 65% y el 75%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Es importante que se mantenga sin excesivas oscilaciones de humedad.

**Luminosidad:** es una planta de día corto, aunque en las condiciones de invernadero no le afecta la duración del día. No obstante, la luminosidad condiciona la fotosíntesis, soportando temperaturas más elevadas cuanto mayor es la luminosidad, siempre que la humedad relativa sea adecuada.

**Suelo:** aunque admite una amplia gama de suelos, los más indicados son los suelos ligeros, de textura silíceo-limosa, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. En suelos fuertemente arcillosos y demasiado salinos vegeta deficientemente, siendo muy sensible a los encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo, quedando la planta de color pajizo y achaparrada. En suelos calizos las plantas se vuelven cloróticas y achaparradas, así como un embastecimiento de los frutos (judías con hebra).

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7,5; aunque en suelo enarenado se desarrolla bien con valores de hasta 8,5. Es una de las especies hortícolas más sensibles a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego, sufriendo importantes mermas en la cosecha. No obstante, el cultivo en enarenado y la aplicación del riego localizado, pueden reducir bastante este problema, aunque con ciertas limitaciones. Actualmente se están llevando a cabo cultivos de judía con aguas de 2 a 2,4 mmhos.cm<sup>-1</sup> de CE, con concentraciones de sodio y cloruros de 8 meq.l<sup>-1</sup> y 9 meq.l<sup>-1</sup>, respectivamente, sin apreciarse disminución en las producciones. Para conseguir



estos resultados es necesario un aporte de calcio y de magnesio más elevado de lo normal, así como mantener un nivel de humedad lo más constante posible.

Los suelos en los cuales se desarrollan de manera óptima son aquellos en los cuales tiene como característica ser permeables, textura liviana y buena fertilidad, obteniéndose así altos rendimientos. Para que esto se pueda llevar a cabo es necesario conocer cuáles son los requerimientos nutricionales de las plantas, estos se demuestran en el cuadro siguiente, haciéndose mención de los nutrientes macro y micro que la planta necesita. (Boletín de reseña, 1985).

**Tabla. 3. Nutrientes que la planta necesita para su desarrollo.**

ELEMENTO	FUNCION EN LAS PLANTAS
<b>Nitrógeno</b>	Forma parte de las proteínas, ácidos nucleicos y en las coenzimas.
<b>Potasio</b>	Actividad para ciertas enzimas en la glucolisis, importante en las en las proteína de la membrana.
<b>Fosforo</b>	En los ácidos nucleicos en la coenzima en atp y en sustratos metabólicos.
<b>Calcio</b>	En la estructura y en propiedades de permeabilidad de las membranas, estructura de laminilla media.
<b>Magnesio</b>	En la clorofila, Mg+2 es cofactor para muchas enzimas.
<b>Hierro</b>	Enzimas de la cadena de transferencia de electrones (citocromo, ferredocina), nitrogenasa esencial para la síntesis de la clorofila.
<b>Boro</b>	Desconocido (posiblemente para formación de paredes celulares en los meristemos y/o en la translocación de azúcar).
<b>Manganeso</b>	Formación de Oxígeno en la fotosíntesis; cofactor para varias enzimas.
<b>Zinc</b>	Varias deshidrogenasas de la respiración y del metabolismo del Nitrógeno.





<b>Cobre</b>	En la respiración y en la fotosíntesis.
<b>Molibdeno</b>	En la reductasa del nitrato; en la nitrogenasa (fijación del nitrógeno).
<b>Cobalto</b>	Para la fijación simbiótica del Nitrógeno.
<b>Cloro</b>	Activa el sistema productor de Oxígeno de la fotosíntesis.
<b>Sodio</b>	Para las plantas de hábitat salino.

Fuente: Robinson, 1991.

### VII.1.6. Material vegetal.

Según su porte se distinguen dos tipos:

- De porte bajo erecto (judía enana) de 30 a 40 cm de altura. Suelen ser más precoces y menos productivas que las de enrame. Su ciclo vegetativo es más corto.
- De porte alto (judía de enrame) con tallos trepadores que alcanzan los 2 a 3 metros de longitud. Tienen tallos volubles provistos de zarcillos y suelen ser de ciclo más largo y más productivas que las de porte bajo.

Según la forma y el tamaño de las vainas:

- "Sabinal": vainas gruesas y planas.
- "Garrafales": vainas aplastada y más ancha en el centro que en los lados.
- "Boby": vaina cilíndrica o semi-cilíndrica.

Principales criterios de elección para judías verdes cultivadas en invernadero:

- Características de la variedad comercial, que pueden ser de mata alta o judía de enrame (tipo Perona y tipo Helda, de vaina aplastada) o de mata baja (tipo Strike, de vaina redonda).
- Mercado de destino.
- Estructura de invernadero.
- Suelo.



- Clima, teniendo en cuenta que las fechas de siembra más frecuentes son: agosto-septiembre (con recolección en noviembre-diciembre-enero), noviembre-diciembre (con recolección en marzo-abril-mayo) y febrero-marzo (con recolección en mayo-junio-julio).
- Calidad del agua de riego.

### VII.1.7. Particularidades del cultivo.

#### VII.1.7.1. Preparación del terreno.

Antes de la siembra hay que realizar una labor semiprofunda (25 a 30 cm), con la que se envuelve el estiércol. Si se desinfecta el suelo, una vez transcurrido el tiempo preceptivo, se labra de nuevo a menor profundidad. Le sigue el aporte de abonado de fondo y a continuación se dan dos labores superficiales (15 cm) con grada o cultivador. En el caso de riego por gravedad se harán los caballones y regueras correspondientes.

Para el cultivo enarenado, después de la limpieza de la cosecha anterior, se deshacen los lomos dejando llana la superficie enarenada. A continuación se incorpora el abonado de fondo.

#### VII.1.7.2. Marcos de plantación.

El marco de siembra más frecuente en invernadero es de 2 m x 0,5 m, con 2-3 semillas por golpe, e incluso con una semilla por golpe.

Al aire libre la distancia entre líneas es 0.5 m para variedades enanas y de 0.7-0.8 m para las de enrame, con 3-5 semillas por golpe.

En el caso de frijol enano destinado a la industria se suelen dejar las líneas de siembra entre 20 y 30 cm.



### VII.1.7.3. Siembra.

Las semillas se cubrirán con 2-3 cm de tierra, o arena en suelos enarenados. Dichas semillas deben haber sido seleccionadas adecuadamente y tratadas con fungicidas e insecticidas.

Si la temperatura no es suficiente o si se desea mantener el cultivo anterior más tiempo en el terreno, se procede a la siembra en semillero y posterior trasplante al invernadero.

La nascencia de las semillas depende de la época de siembra y de la climatología, pudiendo oscilar entre 7 y 20 días.

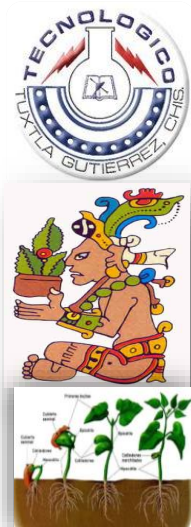
### VII.1.7.4. Escardas.

Es conveniente la escarda química (especialmente si se emplean acolchados) ya que la manual incrementa el coste en mano de obra. (En el experimento la escarda realizada fue manual).

### VII.1.7.5. Tutorado.

Es una práctica imprescindible en el frijol de enrame para permitir el crecimiento vertical y la formación de una pared de vegetación homogénea. Consiste en la colocación de un hilo, generalmente de polipropileno (rafia) que se sujeta por un extremo al tallo y por el otro al emparrillado del invernadero. Colocando un tutor más entre cada par de plantas, aumenta la uniformidad de la masa foliar, mejorando la calidad y la producción.

Existen también mallas que se colocan a lo largo de las líneas de cultivo a modo de pared, pero presentan el inconveniente de su elevado coste, así como una mayor dificultad en las operaciones de recolección, ya que la movilidad de la planta se ve reducida.



#### VII.1.7.6. Deshojado.

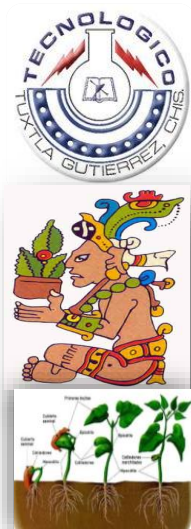
Se realiza en tiempo seco en plantaciones de ciclo largo cuando se prolonga el período de recolección, eliminando las hojas más viejas, siempre y cuando el cultivo esté bien formado, con abundante masa foliar y ya se haya recolectado una parte importante (1,5-2,5 kg.m<sup>-2</sup>). Esta práctica mejora la calidad y cantidad de la producción y disminuye el riesgo de enfermedades, al mejorar la ventilación y facilitar el alcance de los tratamientos fitosanitarios.

#### VII.1.7.7. Fertirrigación.

En cultivo hidropónico el riego está automatizado y existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo, siendo el más extendido el empleo de bandejas de riego a la demanda. El tiempo y el volumen de riego dependerán de las características físicas del sustrato.

A la hora de abonar, existe un margen muy amplio de abonado en el que no se aprecian diferencias sustanciales en el cultivo, pudiendo encontrar "recetas" muy variadas y contradictorias dentro de una misma zona, con el mismo tipo de suelo y la misma variedad.

Actualmente se emplean básicamente dos métodos para establecer las necesidades de abonado: en función de las extracciones del cultivo, sobre las que existe una amplia y variada bibliografía, y en base a una solución nutritiva "ideal" a la que se ajustarán los aportes previo análisis de agua. Este último método es el que se emplea en cultivos hidropónicos, y para poder llevarlo a cabo en suelo o en enarenado, requiere la colocación de sondas de succión para poder determinar la composición de la solución del suelo mediante análisis de macro y micronutrientes, CE y pH.



Durante la germinación y nascencia de la planta de judía la humedad debe ser constante, evitando los encharcamientos, por lo que el riego previo a la siembra deberá ser suficiente para un período de 10-12 días, aunque en ocasiones se da un segundo riego a los 4-5 días. A partir de aquí y hasta la floración el abonado debe ser bajo en nitrógeno, para evitar un excesivo crecimiento vegetativo en detrimento de la floración.

Un equilibrio N-P-K apropiado podría ser: 10-15-23. Desde el inicio de la floración hasta el comienzo de la recolección (15-25 días) la planta es muy exigente y cualquier carencia, tanto de nutrientes como de agua, repercute negativamente en la floración y posterior producción. En este período coinciden frutos y flores desarrollándose, por lo que, aunque se mantenga el equilibrio N-P-K debe aumentarse la conductividad eléctrica en 1,2-1,4 puntos sobre la del agua, a no ser que esta última supere los 2,2, mmhos.cm<sup>-1</sup> en cuyo caso sólo se incrementará en 0,8 puntos sobre la del agua. Desde el inicio de la recolección hasta el final del ciclo es importante un aumento de la fertilización nitrogenada y del agua, siendo el siguiente un equilibrio N-P-K interesante: 13-12-14.

Los fertilizantes de uso más extendido son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato cálcico, nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato potásico, sulfato magnésico) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico), debido a su bajo coste y a que permiten un fácil ajuste de la solución nutritiva, aunque existen en el mercado abonos complejos sólidos cristalinos y líquidos que se ajustan adecuadamente, solos o en combinación con los abonos simples, a los equilibrios requeridos en las distintas fases de desarrollo del cultivo.

La simbiosis con *Rhizobiumetli* debería permitir el cultivo sin aporte de nitrógeno, pero la reducida presencia de cepas de la bacteria y/o su capacidad infectiva y de



nodulación, suele ser en general reducida, por ello es necesario un aporte básico de nitrógeno.

El aporte de microelementos, que años atrás se había descuidado en gran medida, resulta vital para una nutrición adecuada, pudiendo encontrar en el mercado una amplia gama de sólidos y líquidos en forma mineral y en forma de quelatos, cuando es necesario favorecer su estabilidad en el medio de cultivo y su absorción por la planta.

También se dispone de numerosos correctores de carencias tanto de macro como de micronutrientes que pueden aplicarse vía foliar o riego por goteo, aminoácidos de uso preventivo y curativo, que ayudan a la planta en momentos críticos de su desarrollo o bajo condiciones ambientales desfavorables, así como otros productos (ácidos húmicos y fúlvicos, correctores salinos, etc.), que mejoran las condiciones del medio y facilitan la asimilación de nutrientes por la planta.

### **Cultivo de invierno-primavera:**

#### Abonado de fondo:

- 60 kg/ha de nitrógeno amoniacal.
- 110 kg/ha de  $P_2O_5$ .
- 110 kg/ha de  $K_2O$ .

#### Abonado de cobertera:

- 200 kg/ha de nitrógeno nítrico.
- 150 kg/ha de  $K_2O$ .

### **Cultivo de otoño-invierno:**

#### Abonado de fondo:

- 40 kg/ha de nitrógeno
- 75 kg/ha. de  $P_2O_5$ .



- 75 kg/ha. de K<sub>2</sub>O.

Abonado de cobertera:

- 100 kg/ha. de nitrógeno.
- 100 kg/ha. de K<sub>2</sub>O.

**VII.1.7.8. Recolección.**

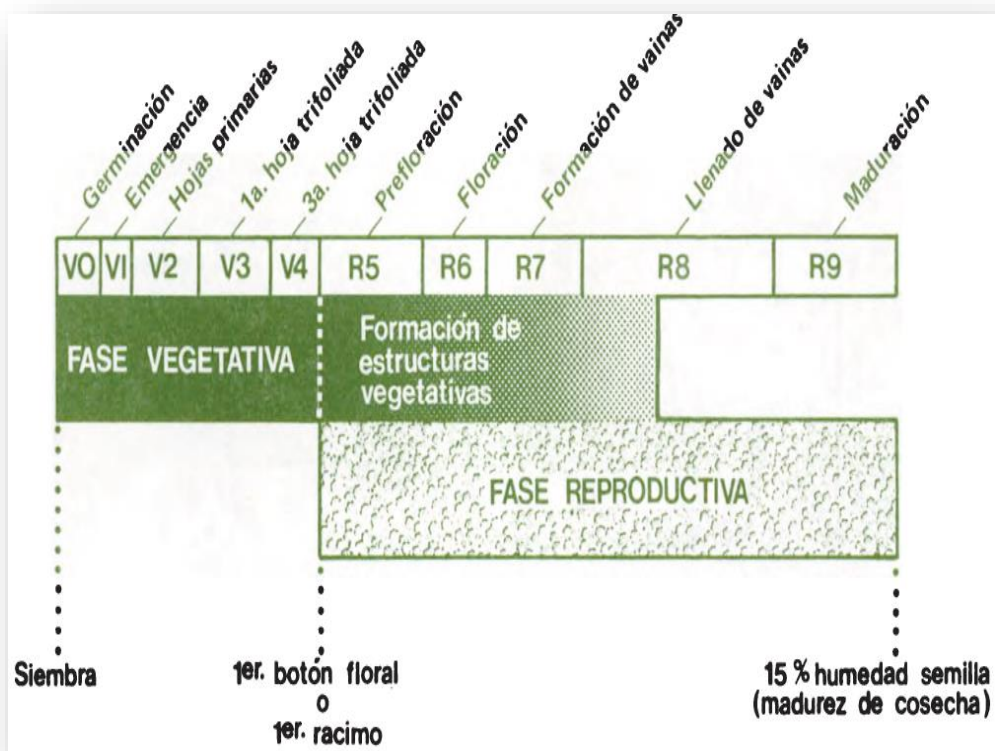
La recolección del frijol de verdeo es manual, con lo cual encarece notablemente su costo, siendo de gran importancia el momento fisiológico de recolección para aumentar el rendimiento comercial, ya que el mercado es muy exigente y demanda frutos con vainas tiernas (pero no demasiado), con el grano poco marcado. Si las vainas se cosechan pasado el punto de madurez comercial pierden calidad y valor al ser más duras y fibrosas.

La frecuencia con que se realiza esta operación oscila entre 7 y 12 días, dependiendo de la variedad y el ciclo de cultivo. Los retrasos en la recolección resultan doblemente perjudiciales por lado la pérdida del valor comercial y por otro la reducción del peso. En variedades de porte bajo, la recolección puede durar de 50 a 90 días y en judías de enrame de 65 a 95 días. Actualmente los mercados en fresco están abastecidos prácticamente durante todo el año. La recolección del frijol en grano se realiza de forma mecanizada, aunque su cultivo debe realizarse en grandes superficies, emplear variedades adecuadas etc. (Boletín de reseña, infoagro)



### VII.1.7.9. Descripción de las etapas de desarrollo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

**Etapas de desarrollo:** En el desarrollo de la planta de frijol se han identificado 10 etapas las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes. El conjunto de estas diez etapas la ESCALA DE DESARROLLO DE LA PLANTA DE FRIJOL. Cada etapa comienza en un evento del desarrollo de la planta con cuyo nombre se le identifica y termina donde se inicia la siguiente etapa y así sucesivamente.



#### Descripción de las etapas de desarrollo

**Etapas de la fase vegetativa:** La fase vegetativa incluye cinco etapas de desarrollo: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada.

**Eta****pa V0: germinación:** Al hacer ir de la siembra, la semilla se coloca en un ambiente favorable para el comienzo del proceso de germinación; es decir, el día del primer riego, o de la primera lluvia si se siembra en suelo seco.

La semilla absorbe agua inicialmente y ocurre en ella fenómenos de división celular y las reacciones bioquímicas que liberan los nutrientes de los cotiledones.





Posteriormente emerge la radícula (generalmente por el lado del hilum). Luego esta se convierte en raíz primaria al aparecer sobre ella las raíces secundarias y las raíces terciarias (fig 4). El hipocotilo también crece quedando los cotiledones al nivel del suelo. Termina en este momento la etapa de la germinación.



Fig. 4 Etapa V0; germinación.

**Etapa V1: emergencia:** La etapa V1 se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo (fig 5); se considera que un cultivo de frijol inicia la etapa V1 cuando el 50% de la población esperada, presenta los cotiledones al nivel del suelo.

Después de la emergencia, el hipocotilo se endereza y sigue creciendo hasta alcanzar su tamaño máximo. Cuando este se encuentra completamente erecto, los cotiledones comienzan a separarse y se nota que el epicotilo ha empezado a desarrollarse.

Luego comienza el despliegue de las hojas primarias; las láminas empiezan a separarse y a abrirse hasta desplegarse totalmente.

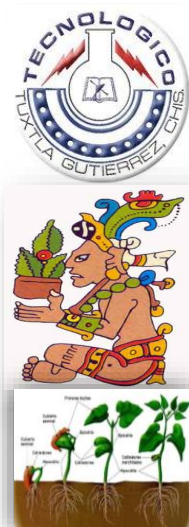




Fig. 5. Cotiledones de la planta al nivel del suelo; iniciación de la Etapa V1.

**Etapa V2: hojas primarias:** La etapa V2 comienza cuando las hojas primarias de la planta están desplegadas (fig 6). Para un cultivo se considera que esta etapa comienza cuando el 50% de las plantas presenta esta característica.

Las hojas primarias del frijol son unifoliadas y opuestas, están situadas en el segundo nudo del tallo principal y cuando están completamente desplegadas se encuentran generalmente en posición horizontal, aunque no han alcanzado su tamaño máximo.



Fig. 6. Iniciación de la Etapa V2; las hojas primarias están desplegadas.

En esta etapa comienza el desarrollo vegetativo rápido de la planta durante el cual se formaran el tallo, las ramas y las hojas trifoliadas.

Las hojas trifoliadas son alternas. Al inicio de esta etapa se puede observar la primera hoja trifoliada que comienza su crecimiento (fig. 7). Los cotiledones



pierden en este momento su forma, arqueándose y arrugándose. El crecimiento de una hoja trifoliada incluye tres pasos: inicialmente, los folíolos todavía unidos aumentan de tamaño; luego, estos se separan y, por último, se despliegan y se extienden en un solo plano.



Fig. 7. Planta en etapa V2. La primera hoja trifoliada comienza su crecimiento.

**Etapa V3: primera hoja trifoliada:** La etapa V3 se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana (fig.8). Cuando el 50% de las plantas de un cultivo presenta la primera hoja trifoliada desplegada, se inicia en este la etapa V3.



Fig. 8. Iniciación de la Etapa V3; la primera hoja trifoliada está desplegada.

Se considera que la hoja está desplegada cuando las láminas de los folíolos se ubican en un plano. La hoja no ha alcanzado aún su tamaño máximo y son aun cortos tanto el entrenudo entre las hojas primarias y la primera hoja trifoliada, como el peciolo de la hoja trifoliada; por esta razón, cuando se inicia la etapa V3, la primera hoja trifoliada se encuentra por debajo de las hojas primarias.



Luego el pecíolo crece y la primera hoja trifoliada se superpone a las hojas primarias; la segunda hoja trifoliada ya ha aparecido y los cotiledones se han secado completamente y, por lo general, han caído.

El tallo sigue creciendo, la segunda hoja trifoliada se abre y la tercera hoja trifoliada se despliega.

**Etapa V4: tercera hoja trifoliada:** La etapa V4 comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada. En un cultivo se considera que se inicia la etapa V4 cuando el 50% de las plantas presenta esta característica. De igual manera que para la primera hoja trifoliada, ésta se considera desplegada cuando las láminas de los folíolos se encuentran en un solo plano; se puede observar que la hoja se encuentra aún debajo de la primera hoja trifoliada (fig.9).



Fig. 9. Iniciación de la Etapa V4; la tercera hoja trifoliada está desplegada.

Es a partir de esta etapa que se hacen claramente diferenciables algunas estructuras vegetativas tales como el tallo, las ramas, y otras hojas trifoliadas que se desarrollan a partir de las triadas de yemas que se encuentran en las axilas de las hojas de la planta, incluso de las hojas primarias y de los cotiledones. Las yemas de los nudos inferiores de la planta generalmente se desarrollan produciendo ramas. El tipo de ramificación y el número y la longitud de las ramas dependen, entre otros factores, del genotipo y de las condiciones de cultivo.



La primera rama generalmente comienza su desarrollo cuando la planta inicia la etapa V3 o sea cuando la planta tiene la primera hoja trifoliada desplegada. Cuando en el tallo principal se encuentra un promedio de tres o cuatro hojas trifoliadas desplegadas, la primera rama habrá formado ya el primer nudo que presenta una hoja trifoliada. De esta forma, continúa el desarrollo de otras ramas en el tallo y otras hojas trifoliadas.

**Etapas de la fase reproductiva:** Cuando las yemas apicales de las plantas de hábito de crecimiento determinado se desarrollan en botones florales y en las yemas axilares de las plantas de hábito de crecimiento indeterminado se desarrolla el primer racimo, termina la fase vegetativa y empieza la fase reproductiva de la planta.

En esta fase ocurren las etapas de prefloración, floración, formación de las vainas y maduración. En el hábito de crecimiento indeterminado, el desarrollo de estructuras vegetativas continúa durante esta fase, o sea que la planta produce nudos, ramas y hojas, mientras que en las plantas de hábito de crecimiento determinado, al empezar la fase reproductiva, cesa el desarrollo de nuevas estructuras vegetativas.

**Etapa R5: prefloración:** La etapa R5 se inicia entonces cuando aparecen el primer botón o el primer racimo. En condiciones de cultivo, se considera que este ha entrado en esta etapa cuando el 50% de las plantas presenta esta característica.

En una variedad determinada, se nota entonces el desarrollo de botones florales en el último nudo del tallo o la rama. En cambio, en las variedades indeterminadas, al inicio de esta etapa, los racimos se observan en los nudos inferiores (fig. 10).





Fig. 10. Iniciación de la Etapa R5 al parecer los primeros botones florales en una variedad determinada y los primeros racimos en una variedad de habito de crecimiento indeterminado.

Es necesario hacer énfasis entre lo que ocurre en las variedades de habito de crecimiento determinado, del Tipo I y las variedades de crecimiento indeterminado de los Tipos II, III y IV. En las primeras, el tallo y las ramas terminan su crecimiento formando una inflorescencia. La aparición de la inflorescencia (fig. 11.a). La aparición de la inflorescencia está precedida por el desarrollo de las yemas laterales como botones florales. En las variedades de hábito de crecimiento indeterminado (fig. 11.b), el tallo y las ramas continúan creciendo debido a que presentan en su parte apical ni una inflorescencia, sino un meristemo vegetativo. Las inflorescencias en las plantas de hábito indeterminado, que resultan del desarrollo de las yemas, se encuentran en las axilas de las hojas trifoliadas. En sus estados iniciales de desarrollo, las inflorescencias pueden confundirse con las ramas.



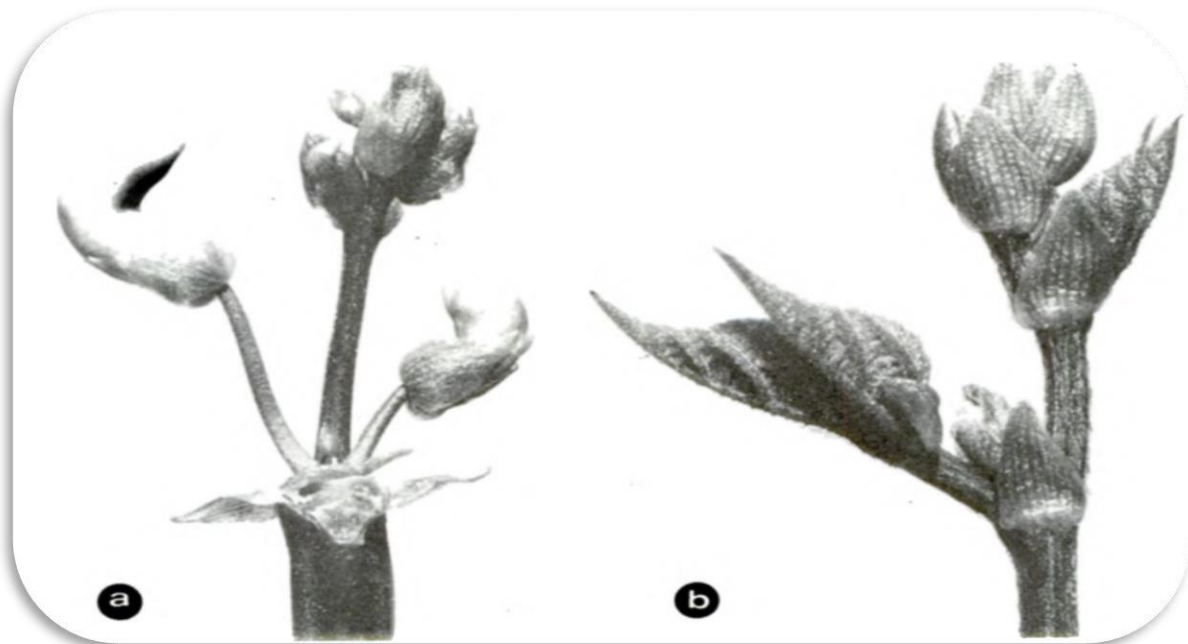


Fig. 11. Desarrollo de la parte terminal del tallo o de una rama; (a) en una variedad de hábito de crecimiento determinado; y (b) en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.

Las siguientes características ayudan a diferenciar un racimo recién formado de una rama incipiente. En un racimo, los órganos más notorios son las brácteas de forma triangular y las bractéolas de forma ovalada a redonda. La forma del conjunto de la inflorescencia tiende a ser cilíndrica o esférica. En una rama incipiente, los órganos más notorios son las estípulas de forma triangular y plana correspondientes a la primera hoja trifoliada de la rama (fig. 12).



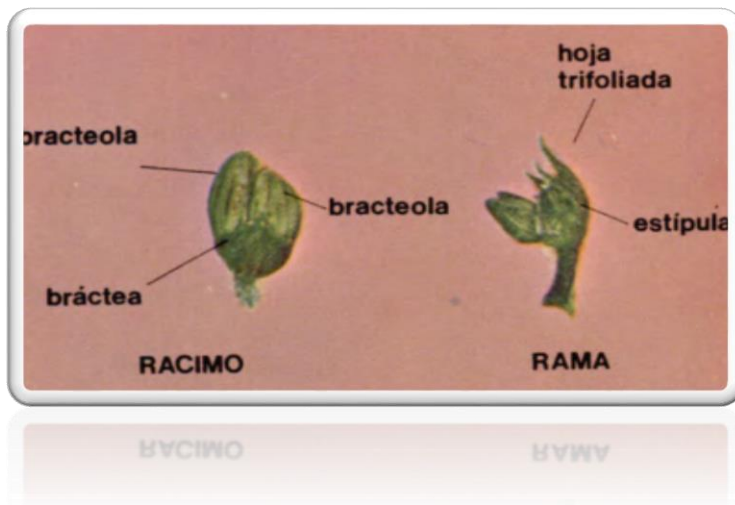


Fig. 12 Diferencias entre un racimo y una rama incipiente.

El complejo axilar de las variedades indeterminadas puede presentar un desarrollo floral y vegetativo. Dicho desarrollo se inicia a partir de un determinado nudo del tallo o de una rama, cuya posición es variable según el genotipo de la planta. En el desarrollo de este complejo axilar la yema central produce un racimo mientras que de las 2 yemas laterales, una de ellas generalmente forma una rama y la otra no alcanza a desarrollarse (fig 13).

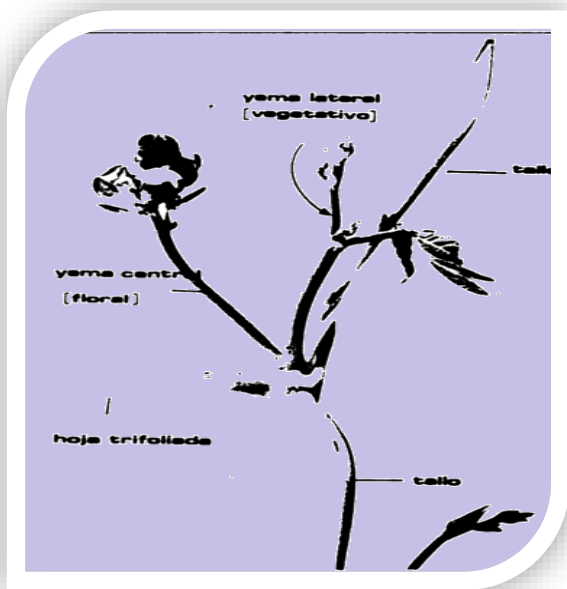


Fig. 13. Desarrollo de complejo axilar de una planta de hábito de crecimiento indeterminado.

En las variedades determinadas, el complejo axilar del último nudo formado, presenta un desarrollo floral de sus yemas; es decir las dos yemas laterales se desarrollan como botones florales y la yema central permanece en estado latente. Es a partir de este nudo

que el ápice del tallo y de las ramas se transforma en racimo terminal (fig 11a).





Los racimos se desarrollan produciendo botones, que al crecer adquieren su forma típica y la pigmentación según la variedad.

Un día antes de que ocurra el fenómeno de antesis (es decir, la apertura de la flor), el botón presenta algunos abultamientos característicos. Al final de este proceso se abre la flor.

**Etapa R6: floración:** La etapa R6 se inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta y, en un cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica (fig 14 central).



Fig. 14. Iniciación de la etapa R6; apertura de la primera flor. Se observa también un botón con abultamientos; es decir, próximo a abrir.

La primera flor abierta corresponde al primer botón floral que apareció. En las variedades de habito determinado (Tipo 1) la floración comienza en el último nudo del tallo o de las ramas y continua en forma descendente en los nudos inferiores;



por el contrario, en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado (Tipos II, III y IV), la floración comienza en la parte baja del tallo y continua en forma ascendente.

La floración en las ramas ocurre en el mismo orden que en el tallo; es decir, es descendente en los tipos indeterminados.

Dentro de cada racimo, la floración empieza en la primera inserción floral y continua en la siguiente.

Una vez que la flor ha sido fecundada y se encuentra abierta, la corola se marchita y la vaina inicia su crecimiento; como consecuencia del crecimiento de la vaina, la corola marchita cuelga o se desprende.

**Etapa R7: formación de las vainas:** La etapa R7 se inicia cuando una planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida, y en condiciones de cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica (fig 15).



Fig. 15. Iniciación de la etapa R7. La corola de la flor cuelga de la vaina o recién se desprendido.



En las plantas de habito de crecimiento determinado, las primeras vainas se observan en la parte superior del tallo y las ramas; las demás vainas van apareciendo hacia abajo; por el contrario, en las plantas de habito de crecimiento indeterminado las primeras vainas se forman en la parte inferior y la aparición de las demás ocurre en forma ascendente.

La formación de la vaina inicialmente comprende el desarrollo de las valvas. Durante los primeros 10 o 15 días después de la floración ocurre principalmente un crecimiento longitudinal de la vaina y poco crecimiento de las semillas. Cuando las valvas alcanzan su tamaño final (fig 16) y el peso máximo, se inicia al llenado de las vainas.



Fig. 16. Desarrollo de las valvas.

**Etapa R8: llenado de las vainas:** En un cultivo, la etapa R8 se inicia cuando el 50% de las plantas empieza a llenar la primera vaina. Comienza entonces el crecimiento activo de las semillas. Vistas por las suturas o de lado, las vainas presenta abultamientos que corresponden a las semillas en crecimiento (fig. 17).





Fig. 17. Etapa R8: Ocorre el proceso de llenado de la vaina.

La figura 18 presenta tres parámetros del crecimiento de una vaina de frijol. La vaina se alarga hasta los 10 o 12 días después de la floración. El peso de las valvas aumenta hasta 15 o 20 días después de la floración. El peso de los granos solo aumenta marcadamente cuando las vainas han alcanzado su tamaño y su peso máximo; los granos alcanzan su peso máximo 30 a 35 días después de la floración.

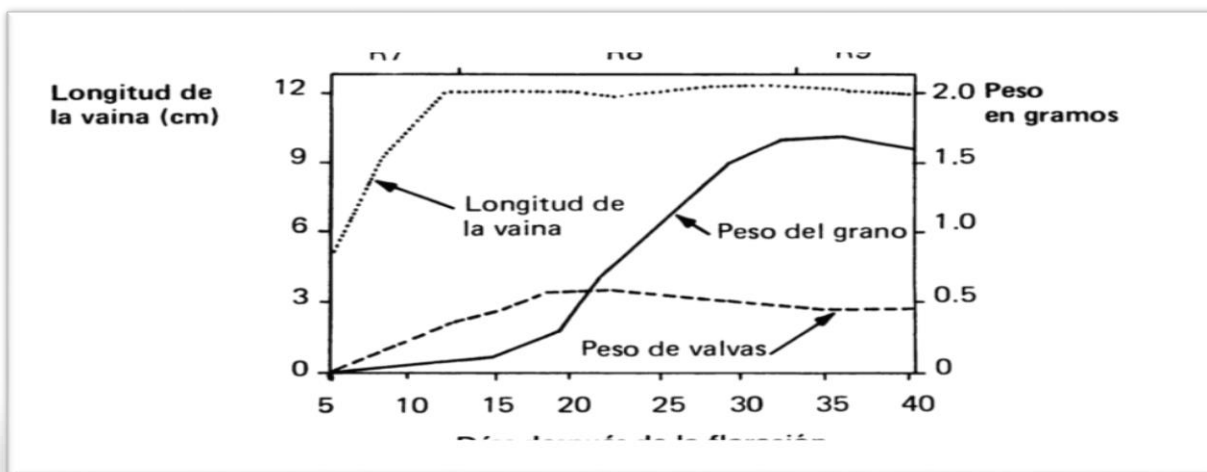


Fig. 18. Tamaño, peso de las valvas y peso del grano del frijol



Al final de esta etapa los granos pierden su color verde para comenzar a adquirir las características de la variedad. En gran número de variedades ocurre entonces la pigmentación de la semilla la cual aparece primero alrededor del hilo y luego se extiende a toda la testa.

En algunos genotipos, las valvas de las vainas también empiezan a pigmentarse. La distribución de la pigmentación, ya sea uniforme, en rayas, etc., depende del genotipo. La pigmentación de las semillas.

Al finalizar esta etapa también se observa el inicio de la defoliación, comenzando por las hojas inferiores que se tornan cloróticas y caen. El momento en que empieza la defoliación. El momento en que empieza la defoliación también depende del genotipo.

**Etapa R9: maduración:** La etapa R9 se considera como la última de la escala de desarrollo, ya que en ella ocurre la maduración.



Fig. 19. Iniciación de la etapa R9; cambio de color de las vainas.

Esta etapa se caracteriza por la decoloración y secado de las vainas (fig. 19). Un cultivo inicia esta etapa cuando la primera vaina inicia su decoloración y secado, en el 50% de las plantas. Estos cambios en la coloración de las vainas son indicativo del inicio de la maduración de la planta; continua el amarilla miento y la



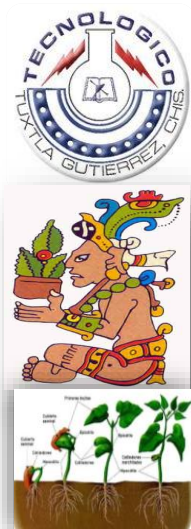
caída de las hojas y todas las partes de la planta se secan; las vainas al secarse pierden su pigmentación. El contenido de agua de las semillas baja hasta alcanzar un 15%, momento en el cual las semillas adquieren su coloración típica, aunque esta puede cambiar durante el almacenamiento, según la variedad. Termina el ciclo biológico; la planta adquiere el aspecto que muestra la Fig.20 y el cultivo se encuentra entonces listo para la cosecha.



Fig. 20. Aspecto de una planta madura lista para la cosecha.

#### VII.1.8. Efecto del nitrógeno sobre el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

El nitrógeno puede considerarse como el factor principal del aumento cuantitativo de la producción. Todas las plantas requieren de grandes cantidades de este elemento para su normal crecimiento, sin embargo, pocos suelos contienen suficiente nitrógeno nativo para sostener altos rendimientos en la mayor parte de los cultivos, donde las leguminosas son una excepción por sus características de utilizar el nitrógeno atmosférico, fijado biológicamente por bacterias nodulares. Este macro-nutriente es necesario para las plantas en cantidades adecuadas, para un crecimiento y desarrollo normal. Su contenido en los tejidos depende del tipo de planta, órgano y periodo del día o año. Se indica que de todos los elementos



nutritivos del frijol, probablemente, el nitrógeno es el que más rápidamente provoca efectos en la planta, y que la cantidad del mismo existe en el suelo, generalmente es pequeña, mientras que las consumidas normalmente por los cultivos son comparativamente grande. Entre los elementos químicos que se consideran esencialmente para las plantas, el nitrógeno es el que resulta más escaso en la mayoría de los suelos y que, por otra parte es relativamente costoso de suministrar y difícil de mantener en el mismo.

Sin embargo, este elemento ocupa alrededor del 79% del aire por su volumen y un 75% por su peso y el aire presente en una hectárea de tierra contiene aproximadamente 78 400 toneladas de nitrógeno, el cual para ser aprovechado convenientemente por la planta debe primero combinarse con el oxígeno o hidrógeno. Una vez almacenado por la leguminosa como proteína se puede convertir en aprovechable para las plantas no leguminosas cuando estas se descomponen y desprenden el hidrógeno.

Como componente básico de las proteínas su contenido de las misma oscila entre 15% y 19%, además, forma parte de los ácidos nucleicos, aminoácidos, los fermentos, las vitaminas, los lipoides, la clorofila y otros compuestos orgánicos que se forman en las plantas, las cuales pueden contener de 0.2% a 0.5% de nitrógeno o más de la materia seca, además representan un elemento necesario para la multiplicación celular y el desarrollo de los órganos, aumento de la superficie foliar y la masa protoplasmática activa.

En las plantas de frijol con deficiencia de nitrógeno presentan cantidades menores a 3% en las hojas superiores durante la iniciación de la floración y las hojas de las plantas normales tienen 5% siendo el nivel crítico de 1.54%: durante lo anteriormente expuesto indica la importancia que reviste el nitrógeno para el cultivo del frijol y las posibilidades que brinda el mismo de hacer un uso más eficiente de los fertilizantes minerales. Inicialmente la planta de frijol puede obtener parte de su nitrógeno de los cotiledones pues las semillas de frijol contienen entre



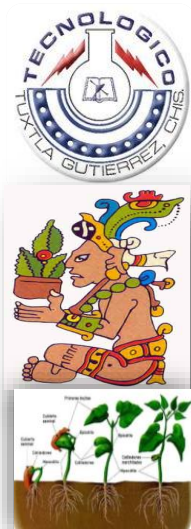
6 y 20 mg de nitrógeno, pero alrededor de los 14 a 20 días si no recibe fertilización, mostrará los primeros síntomas de deficiencia. En este mismo periodo se está iniciando la nodulación, proceso fácilmente dañado por el exceso de nitrógeno, pero no es hasta 30 días aproximadamente que los nódulos comienzan a fijar bien el nitrógeno, ocurriendo en este periodo difícil de este elemento. A partir de los 30 días y hasta los 50 días las necesidades de nitrógeno aumentan casi linealmente. Además, se refiere a que las necesidades de frijol para nitrógeno, varía entre 40 y 120Kg. N/ha y llegan hasta 200Kg/ha en casos excepcionales (Boletín de reseña, 1985).

#### VII.1.9. Antecedentes sobre la utilización de biofertilizantes en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*).

En el caso del frijol inoculado con biofertilizante con la bacteria *Rhizobium etli* y la Micorriza, se han obtenido importantes resultados en diversas regiones del país. Por ejemplo, en el estado de Durango, en varias parcelas demostrativas distribuidas en distintas regiones del estado, se obtuvieron resultados muy superiores respecto a la fertilización química.

En este caso, se probó el efecto del biofertilizante combinado (*Rhizobium* y Micorriza) de manera individual, eliminando 100% del fertilizante químico, y se comparó con el tratamiento donde se aplicó la dosis recomendada. El resultado fue que la combinación del biofertilizante registró rendimientos superiores en cerca de 20% respecto al tratamiento del químico y en un porcentaje similar en referencia al uso aislado del *Rhizobium* y la Micorriza.

Como el uso del biofertilizante abate los costos de producción por el desplazamiento del fertilizante químico, cuando hacemos el análisis económico se encuentra que la relación beneficio-costos, es decir, la diferencia entre lo que se invierte y lo que se obtiene, en los biofertilizantes es superior hasta en 80% respecto al uso del químico. (Marcel, 2000).





## **Fertilización biológica (fijación simbiótica del nitrógeno)**

La fertilización biológica no solo puede verse como la producida por la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico por ciertas especies de bacterias. Este concepto es mucho más amplio, debiendo contemplar la contribución de toda la actividad micro y microbiológica del suelo a la nutrición de la planta. Mediante los procesos de mineralización de la materia orgánica, de la solubilización de minerales de otros procesos, la actividad biológica en el suelo pone a disposición de la planta los nutrientes necesarios para su desarrollo. Cualquier actividad o medida realizada en el agro ecosistema que mejore, estimule o facilita la actividad biológica en el suelo, redundará en una mejor nutrición de la planta.

Se considera que la fijación biológica del nitrógeno (FBN) es una de las alternativas más viables para recuperar N en el ecosistema (Kimball, 1980), se ha estimado que 175 millones de toneladas/año se fijan biológicamente, del cual el 70% va al suelo (Burity et al., 1989) y de éste, el 50% proviene de asociaciones nodulares como las causadas por Rhizobium (Carrera et al., 2004; Long, 1989).

La Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) es una ventaja para las leguminosas ya que pueden tomar nitrógeno del aire a través de la simbiosis con Rhizobium (Luna y Sánchez-Yáñez, 1991; Sanaratne et al., 1987). Esta es una manera de reducir la cantidad del N derivado de fertilizantes al incrementar la proporción de  $N_2$  fijado vía Rhizobium. Por eso se asegura el máximo beneficio de la asociación mediante el establecimiento de una bacteria que reúna cualidades de competencia y efectividad para fijar  $N_2$  en las raíces de la leguminosa. En los suelos agrícolas la asociación Rhizobium-leguminosa es la más importante fuente de N, pues se ha reportado que en las leguminosas noduladas, bajo determinadas condiciones ambientales (suelos pobres en este elemento), pueden fijar hasta los 100 kg  $N_2$ /ha/año (FAO, 1995). Este mecanismo provee la demanda del N para satisfacer las necesidades nutricionales más importantes de la planta.



En experimentos realizados con *Rhizobium leguminosarum* en haba, lenteja y soya se incrementó significativamente la nodulación, el peso seco de las leguminosas, su contenido en nitrógeno y su rendimiento (Carrera et al., 2004).

La bacteria *Rhizobium* es un bacilo corto, algunas veces pleomorfo, Gram negativo, aerobio, no forma espora, móvil por flagelos peritricos o un solo flagelo lateral (FAO, 1995). Pertenece a la familia Rhizobiaceae, este es un género heterótrofo, común en el suelo, su temperatura óptima de crecimiento en condiciones artificiales es de 25°C y su tolerancia al pH entra de 5 a 8. La base para su clasificación es su capacidad para nodular con leguminosas específicas (Kimball, 1980). El nódulo es una hipertrofia de la raíz, un órgano especializado donde se realiza la fijación del  $N_2$  (Sanaratne et al., 1987).

A pesar de que *Rhizobium* es un habitante común en los suelos agrícolas, frecuentemente su población es insuficiente para alcanzar una relación benéfica con la leguminosa, o bien cuando los rhizobios nativos no fijan cantidades suficientes de  $N_2$  para las leguminosas es necesario inocular la semilla a la siembra y asegurar la fijación biológica del  $N_2$ .

Por tanto el uso de inoculantes a base de *Rhizobium* que reducen la aplicación de fertilizantes químicos al suelo; incrementan el contenido de N en el cultivo vegetal, su peso seco y mantienen el rendimiento en las leguminosas, lo que en consecuencia al bajar su costo de producción y la contaminación de mantos acuíferos y suelos, es vital para una agricultura sustentable.

La Micorriza permite a la planta incrementar la exploración de la raíz con un aumento en la absorción y transporte de nutrientes como fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y agua del suelo, proporcionándole mayores ventajas para su desarrollo y productividad.

Estos biofertilizantes no contaminan ni causan daño al suelo, ni a la planta, ni al hombre. Incrementan el rendimiento de los cultivos aun bajo costo y permiten



además complementar el uso de los fertilizantes químicos principalmente los nitrogenados y fosfatados.

Su facilidad de transportación y bajo costo permite su utilización en grandes superficies. Se pueden biofertilizar los cultivos de maíz, frijol, sorgo, soya, trigo, cebada y en viveros los de cacao, café, cítricos, mango, entre otros; especialmente donde la fertilización química es poco común o nula.

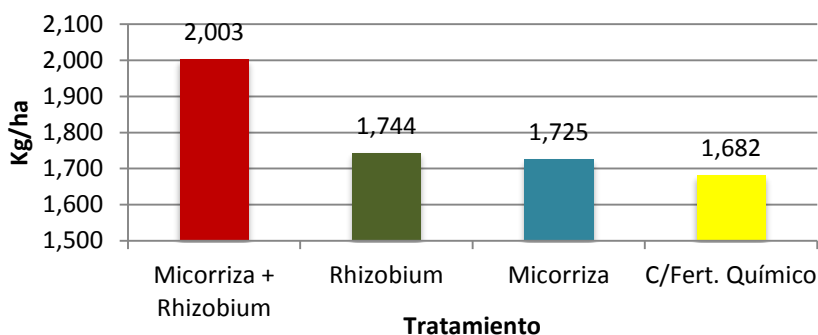


Figura 21. Media de la relación de frijol en temporal con aplicaciones de *Rhizobium etil* y Micorriza versus fertilizante

## VII.2. Micorriza (*Glomus fasciculatum*).

### VII.2.1. Taxonomía y morfología.

**Reino:** Fungi.

**Phylum:** Glomeromycota.

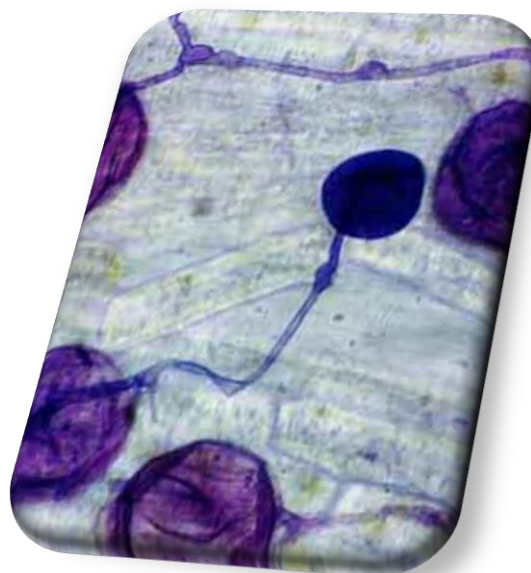
**Clase:** Glomeromycetes.

**Orden:** Glomerales.

**Familia:** Glomeraceae.

**Género:** *Glomus*.

**Especie:** *Glomus fasciculatum*.



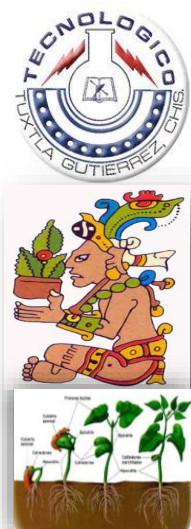
Etimología del nombre científico: del latín (*fasciculatus* = agrupado) aparentemente haciendo referencia a la formación de esporas en grupos coherentes de formas redondas, o a veces elongadas e irregulares.

Descripción morfológica: Esporas en esporocarpos, en agrupaciones pequeñas compactas o en agregados laxos. Esporocarpos hasta de 8 x 5 x 5 mm, irregularmente globosos o aplanados, de color marrón grisáceo. Peridium ausente. Esporas de 35-105  $\mu\text{m}$  de diámetro cuando son globosas, de 75-150 x 35-100  $\mu\text{m}$  cuando son subglobosas, elipsoides, sublenticulares, cilíndricas o irregulares. Su superficie es lisa o puede aparecer rugosa cuando tiene restos adheridos. El espesor de la pared de la espora es altamente variable (3-17  $\mu\text{m}$ ), el color de la pared varía entre hialina, amarillo claro y marrón amarillento. Las paredes más gruesas a menudo presentan perforaciones con proyecciones gruesas hacia el interior. La conexión hifal es oclusas en la madurez y presentan un diámetro entre 5-15  $\mu\text{m}$ . (Catálogo de la biodiversidad de Colombia)

### VII.2.2. Funciones y beneficios de las micorrizas.

Las micorrizas actúan a nivel de la raíz produciendo una plántula más sana ya que el micelio del hongo realiza las siguientes funciones.

- ❖ Consume los exudados de las raíces compitiendo con los patógenos, no permitiéndoles obtener alimento.
- ❖ Cada punto de unión con la raíz libera antibióticos.
- ❖ Recubre la raíz protegiéndola de hongos y bacterias.
- ❖ Libera hormonas de crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas), aumentando el volumen radical y favoreciendo el enraizamiento de las plantas.
- ❖ Tiene mayor superficie de acción que las raíces en la captura de nutrientes y agua.

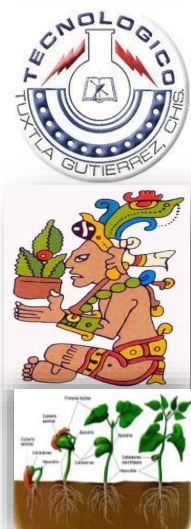


Es ampliamente conocida la multitud de ventajas que tiene una planta micorrizada con respecto a una que no lo esté. Entre éstas ventajas, se encuentran:

- ❖ Contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo, por absorción, translocación y transferencia; en la nutrición nitrogenada de la planta, y en la adquisición de otros nutrientes como zinc y cobre, y se considera que probablemente, podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre.
- ❖ Control biológico para algunos patógenos provenientes de suelo, e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.
- ❖ Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa.
- ❖ Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y salinidad
- ❖ Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera.
- ❖ Producción de hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal
- ❖ Incremento en la relación parte aérea / raíz de la planta micorrizada.
- ❖ Aportes en recuperación de suelos por ser formadores de agregados del suelo.
- ❖ Uso potencial en suelos degradados o áridos en programas de revegetación y/o reforestación.
- ❖ Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de la rizósfera.
- ❖ Mayor desarrollo de la parte aérea (follaje).
- ❖ Mayor éxito en el trasplante.

### VII.2.3. Importancia y aplicación de las micorrizas arbusculares.

La población para el año 2,025 se duplicará y para satisfacer las crecientes demandas es necesario incrementar la producción agropecuaria en una tasa cercana al 2% anual. Estas demandas en producción podrán ser satisfechas



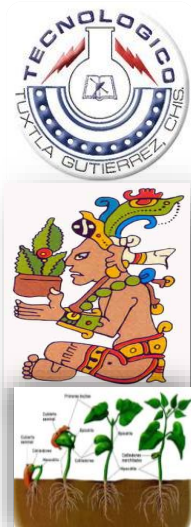
mediante aumentos en la productividad y/o a través de la incorporación de nuevas tierras a la producción agropecuaria.

El uso de tecnologías apropiadas facilita la producción competitiva y sostenible de las regiones. En la actualidad, la producción comercial para el consumo en fresco o para la agroindustria requiere superar múltiples limitantes, que permitan reducir pérdidas en la producción, uso excesivo de insumos fertilizantes y pesticidas, que aumentan los costos de producción y afectan la competitividad de estas especies, hasta la cosecha y postcosecha que incluye procesos agroindustriales.

Las tecnologías existentes cuentan con escaso conocimiento y poco desarrollo, la mayoría de las cuales han sido desarrolladas a partir del conocimiento empírico de los productores y que deben ser revisadas y validadas por la ciencia y la tecnología.

En condiciones naturales la mayoría de las plantas se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, como micorrizas, estableciendo relaciones benéficas (simbióticas). Esta estrategia de evolución ha sido muy exitosa, y a pesar de que su conocimiento se reporta desde hace más de un siglo, solo durante las últimas décadas el hombre ha empezado a utilizarla en las producciones hortícolas y frutícolas, donde existen evidencias de su potencial y éxito para el desarrollo competitivo y sostenible de estas especies. Adicionalmente, las nuevas tendencias del mercado tanto mundial como regional, buscan ser más cautelosas en lo referente a la aplicación de agroquímicos y pesticidas en la agricultura, por los problemas que ocasionan sobre la salud humana.

Dentro de la diversidad de esos microorganismos del suelo, y sus diferentes interacciones, se destacan grupos de relaciones positivas como el de algunas asociaciones simbióticas micorrízicas, presentadas entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo, que juegan un papel clave en el reciclaje de nutrientes en el ecosistema y en la protección de las plantas contra estrés cultural y



ambiental, que han demostrado efectos positivos en la absorción de nutrientes, dentro de los cuáles el más estudiado a nivel mundial ha sido el fósforo. Las principales limitantes para la absorción de fósforo por las plantas son la baja disponibilidad de fósforo en los suelos (deficiencia del nutriente y procesos de fijación) y la baja movilidad del elemento que no permite que la planta lo pueda absorber. Las micorrizas, permiten aumentar el área de exploración de las raíces en el suelo, permitiendo una mayor zona de contacto y por tanto de absorción de nutrientes y agua, favoreciendo a las plantas que establecen relaciones simbióticas con ellas.

Azcón y Barea, 1997 afirman que los microorganismos tienen un gran potencial para contribuir a la solución de múltiples problemas de la agricultura, dentro de los cuales, los biofertilizantes con base en Micorrizas Arbusculares (MA) son una alternativa para reducir pérdidas en los procesos de multiplicación de especies frutales, mejorar la aclimatación y nutrición de frutales de importancia actual y potencial. Estas tecnologías tienen aplicación en un gran número de especies, incorporadas a la producción de semilla de buena calidad, tanto a nivel de vivero como en el manejo de los materiales micropropagados en el área de la biotecnología vegetal.

#### VII.2.4. Función de las micorrizas en la planta.

La colonización del hongo a la raíz de la planta puede ser originada por el micelio precedido por la germinación de esporas de resistencia que permanecen en el suelo. Las clamidiosporas que resisten condiciones adversas en el suelo, germinan frecuentemente a circunstancias favorables, emitiendo un tubo germinal, el cual muere a no ser que encuentre y penetre con éxito en una raíz. La presencia de un sistema micelial, integrado por dos fases, un micelio externo, el cual coloniza el suelo, cuya extensión puede ser considerable, sin embargo esta característica varía, y un micelio interno que se ubica dentro de la corteza de las raíces micorrizadas.



Según Augé la presencia de micelio externo constituye uno de los principales pilares de la asociación, ya que estas hifas se desarrollan más allá del suelo que circunda la raíz, trascienden la rizósfera y transportan nutrientes directamente a la planta. Se presentan dos tipos de hifas extramatriciales: las hifas de avance "runner" en el suelo y las hifas absorbentes.

Las primeras son de paredes gruesas, grandes, con proyecciones angulares muy definidas, las cuales siguen la trayectoria de las raíces en el suelo, o en algunos casos, simplemente crecen a través del suelo en busca de ellas; estas aunque absorben nutrientes, su función primordial aparentemente, es de soporte y base permanente de la red micelial. Las hifas que penetran las raíces se inician a partir de estas hifas de avance. Las hifas absorbentes de paredes más finas, se desarrollan a partir de las de avance y se dividen dicotómicamente extendiéndose en el suelo, son las componentes del hongo que absorben los nutrientes para transportarlos al hospedero. Su escaso diámetro les permite explorar los poros más finos del suelo, especialmente cuando estos tienen altos contenidos de arcillas y materia orgánica. No se conoce aún la distancia a la cual puede extenderse. Dada la alta relación área/volumen que genera su presencia, el micelio externo de la endomicorriza arbuscular permite que la planta pueda explorar intensamente un gran volumen de suelo.

A partir del micelio externo del hongo se pueden formar células auxiliares aisladas o agrupadas, cuya función no se ha determinado totalmente y grandes esporas de resistencia de paredes gruesas, las cuales pueden sobrevivir por años y cuya germinación inicia un nuevo ciclo de la simbiosis. El desarrollo de micelio interno se inicia cuando una clamidospora entra en contacto con la raíz, forman un apresorio, penetra la epidermis desarrollando hifas que crecen intra e intercelularmente. Forman enrollamientos al interior de algunas células del hospedero, extendiendo la infección longitudinalmente en la raíz, penetran a las células más internas de la corteza. En este lugar, a partir de hifas intercelulares,

55





se forman ramificaciones laterales que trascienden las paredes de las células del hospedero, cuyo plasmalema se invagina y rodea totalmente la estructura fungosa, la cual una vez en el interior de la célula, se ramifica en forma dicotómica repetidamente, dando lugar a una estructura tridimensional arborescente que se ha denominado arbusculo. En la zona de contacto hospedero-arbusculo se forma una matriz interfacial, en donde se ha comprobado ocurre la mayor transferencia de nutrientes entre los asociados.

Algunos géneros de micorrizas arbusculares producen vesículas, las cuales consisten en ensanchamientos de hifas, que se disponen inter o intracelularmente, ocupando posiciones terminales o intermedias en las hifas. Las vesículas se desarrollan posterior a los arbusculos, en las regiones más antiguas de la infección y contienen material lipídico, por lo cual se las ha aceptado comúnmente como órganos de almacenamiento de algunos de los hongos micorrizógenos arbusculares. Estas estructuras poseen una pared fina, que puede espesarse en algunas ocasiones, transformándose en clamidiospora. El hecho de encontrarlas asociadas con raíces viejas o muertas, sugiere que también desempeñan un papel como órganos de reposo o de propagación del hongo. Esta estructura la forman todos los hongos micorrizógenos arbusculares, con excepción de los géneros Gigaspora y Scutellospora.

### VII.3. *Rhizobium etli*.

#### VII.3.1. Taxonomía y morfología.

**Clase:** Alfaproteobacteria

**Orden:** Rhizobiales

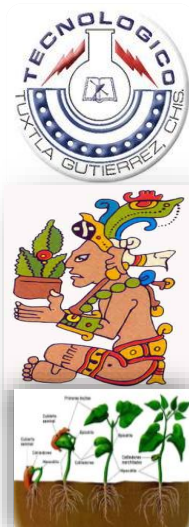
**Familia:** Rhizobiaceae

**Género:** Rhizobium

**Especie:** Rhizobium etli



56



Esta bacteria es conocida como promotora del crecimiento vegetal (BPCV, plant growth promoting rhizobacteria) que influye sobre las raíces para promover su crecimiento y desarrollar pelos radicales.

Es una bacteria fijadora de nitrógeno del medio ambiente, específica para cultivos de leguminosas, en particular el frijol, que permite reducir 100% el uso de fertilizantes químicos nitrogenados. Esta bacteria ha sido mejorada para incrementar la producción de la enzima nitrogenasa, responsable de la fijación de nitrógeno, permitiendo una fijación tres veces superior a la de otros tipos de *Rhizobium*.

Esta mayor capacidad de fijación de nitrógeno permite incrementos significativos en rendimientos de frijol, a la vez, el producto obtenido contiene entre 20 y 30% más proteína, respecto a las plantas en donde no se aplica esta bacteria.

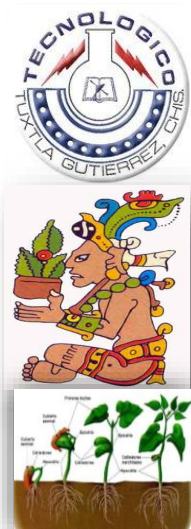
### VII.3.2. Fijación simbiótica en leguminosas.

Unas de los puntos mas importantes dentro de la fijación biológica del nitrógeno es el de la simbiosis entre leguminosas y bacterias del genero *Rhizobium etli*. La manera en que se produce la infección y como los factores ambientales intervienen y alteran la simbiosis va a ser los dos puntos que vamos a tratar en este apartado.

### VII.3.4. Fijación simbiótica en leguminosas

Muchos de los estudios en este campo se desarrollan en la investigación de este paso. Mayoritariamente la infección viene por los pelos radicales.

-Antes de que la bacteria entre en la raíz hay una multiplicación de la primera a una velocidad superior a lo normal, esto es debido a la exudación de homoserina por la raíz, que es un estimulador del crecimiento de la población bacteriana. Esto es frecuente en *Rhizobium leguminosarum* pero no en otras especies de este genero que no afectan a leguminosas.



Entre los aminoácidos que exuda la planta se encuentra el triptófano que es fácilmente convertido por *Rhizobium* en AIA (ácido indolacético). Esto tiene una importancia crucial en la infección pues lleva consigo un crecimiento y engrosamiento del pelo radical. Es decir el AIA favorece la infección.

### Atadura

Antes de la infección tiene lugar un íntimo contacto entre *Rhizobium* y el pelo radical, este contacto tiene lugar de un modo perpendicular. Este anclaje se debe a unas proteínas azucaradas segregadas por la planta que actúan como haptenos determinantes de antígenos bacterianos. La especificidad de esta unión depende del tipo de bacteria en cuestión y las características de la misma en ese momento.

### Infección

La deformación de los pelos radicales es el preludio para la infección. La infección comienza con un acumulo de metabolitos en la bacteria, paso primordial en esta etapa. En este punto intervienen enzimas proteolíticas de pared, que se encargan de abrir en la planta un hueco, lo que significa la entrada de la "invasión". Normalmente la infección crece centrípetamente hacia la estela, atravesando las células, corticales. Se han hecho experimentos con Fe-EDTA - inhibidor de la nodulación- y se observa una desorganización en los nódulos pues ya no siguen el esquema de la infección modelo dicha antes.

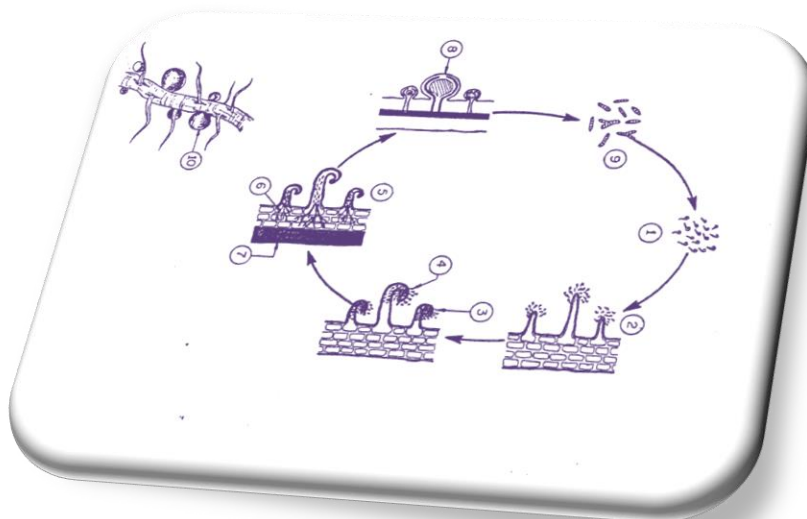
### Desarrollo del nódulo

Los primeros pasos que se conocen es la segregación de fitohormonas como citoquininas y auxinas por las bacterias que inducen una proliferación celular. Hay otros factores de crecimiento desconocidos que se difunden por el xilema. Se sabe que en los siguientes pasos tienen lugar la formación de la enzima nitrogenasa pero el conocimiento sobre estos estadios es muy leve. Los estudios son complicados y hay que decir que la gran arma que se utiliza para desenmarañar este complejo proceso es la disponibilidad de distintos mutantes y su estudio.



Figura 22. Dinámica de formación de un nódulo en la raíz de una leguminosa causado por *Rhizobium etli*.

1. *Rhizobium etli* libre.
2. *Rhizobium etli* atraído por el pelo radical.
3. Inicio de la infección por *Rhizobium etli* en el pelo radical.
4. Cayado del pastor (pelos radicales, infectados por *Rhizobium etli*).
5. 5 y 6. El cordón de infección de *Rhizobium etli* invade la matriz de células corticales de la leguminosa en la raíz.
6. 7. *Rhizobium etli* se reproduce en células haploides de la raíz y pierde su pared celular se sobreproduce auxina.
7. 8. Resultado se da la hipertrofia radical y aparece el nódulo.
8. 9. *Rhizobium etli* sin pared (Bacterioide) en las células corticales fija nitrógeno.
10. El nódulo con leghemoglobina fija N<sub>2</sub>. (Carrera, 2004)



### VII.3.3. Factores ambientales limitantes de la simbiosis.

Hay muchos factores limitantes de la simbiosis, pero presumiblemente las mas importantes son las clases de terreno, la luz, la temperatura, el agua, los elementos minerales, etc.

**Elementos minerales:** Deficiencias o excesos en determinados elementos minerales afectan directamente o indirectamente en la nodulación.

Por ejemplo el molibdeno es un constituyente de la nitrogenasa, así que un defecto de Mo en el medio causa un efecto directo y negativo en la fijación



delnitrógeno. Sin embargo el Fe (que también es un elemento constituyente de la nitrogenasa) no tiene un efecto directo sobre la fijación del nitrógeno cuando este escasea en el medio. También son importantes otros elementos como calcio, fósforo, azufre, cobre o zinc ya que originan cambios en el pH que si que va a afectar directamente a la fijación. Los fertilizantes químicos utilizados tratan de influenciar un mayor crecimiento. de la planta y una mayor con fijación del nitrógeno.

#### VII.3.4. Fijación simbiótica en leguminosas

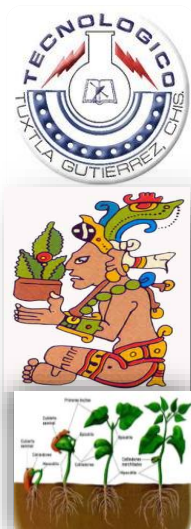
**Temperatura:** Que la temperatura afecta a la simbiosis está claro, pero esta interacción es de modo indirecto aparece de un modo no específico a través de los procesos metabólicos de la planta como respiración, fotosíntesis, transporte y transpiración.

En la leguminosas estudiadas, que tienen un ciclo de Calvin normal, su temperatura óptima es de 15 a 20° C. No se han encontrado leguminosas tropicales c tropicales con metabolismo C4.

La respiración se incrementa con las altas temperaturas, esto hace que haya una menor disponibilidad de carbono para la simbiosis.

Con menos de 7° C la nodulación se hace muy poco probable. En el caso extremo de altas temperaturas, se reduce el número de raíces laterales y pelos radicales, haciendo que la probabilidad de nodulación sea menor. A temperaturas extremas tiene lugar una degradación de los nódulos.

**Luz:** La luz afecta a la simbiosis a través de la fotosíntesis, controlando la cantidad de carbohidratos para el desarrollo y funcionamiento del modulo. Existen evidencias de algunos efectos directos de la luz sobre la nodulación, así es por ejemplo que la nodulación es pobre bajo luz azul y máxima bajo efecto de la luz roja - esto implica una evidencia de la implicación del fitocromo reversible en el



proceso de nodulación). Se han hecho experimento con la defoliación gradual de las plantas y se ve claramente como hay una reducción en la fijación del nitrógeno.

**Agua:** Las deficiencias en la disponibilidad de agua causan un bajada en la fijación del nitrógeno en leguminosas de todo el mundo, de todos modos hay diferentes adaptaciones de estas plantas a las diversas condiciones de sequía, como ejemplo podemos citar a *M. sativa* que llega a proyectar sus raíces hasta siete metros de profundidad.

**Otros factores:** Otros factores posibles pueden ser los gases que hay en el terreno, las enfermedades como hongos, virus o micoplasmas (se ha estimado que estas enfermedades causan una pérdida de al menos el 24 % de las leguminosas del forraje).

Por último debemos decir que las actividades del hombre también han modificado las cantidades de fijación de nitrógeno, la mayor parte de las veces es en beneficio (como puede ser la contribución a la nodulación con diferentes fertilizantes que ofrecen minerales al suelo que ayuda a la nodulación). (Galindo, 1989)

## VII.4. Vermicomposta.

### VII.4.1. Antecedentes

La concentración de basura en la periferia de las ciudades constituye una de las imágenes que identifican nuestra sociedad de consumo. La generación de residuos se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas y es previsible que



continúe creciendo. Este problema está estrechamente relacionado con el modelo productivo actual y representa, hoy en día, una de las principales formas de deterioro del medio ambiente.

Por otro lado, una inadecuada gestión de los residuos supone, por un lado un derroche de energía y recursos insostenible; pero además, constituye una fuente de problemas ambientales entre los que se encuentran: la contaminación de las aguas subterráneas, la emisión de gases perjudiciales, humos y malos olores, el impacto sobre el paisaje o el incremento del riesgo de los incendios forestales. Y aunque la aplicación de residuos orgánicos, lodos de aguas negras, residuos agrícolas e industriales, a la tierra puede beneficiar la calidad del suelo debido a la incorporación de elementos nutritivos y materia orgánica (MO). Los residuos pueden contener productos, incluyendo metales pesados, compuestos orgánicos y organismos patógenos, los cuales son nocivos para la calidad del suelo y pueden persistir durante largos períodos de tiempo (SEPA, 2001).

La única forma de reducir la cantidad de residuos es no generarlos. Para conseguir este objetivo los productos deberían ser duraderos, fáciles de reparar y, sobre todo, reutilizables, así los desechos orgánicos deben ser mayoritariamente reciclados. El reciclaje de residuos industriales y domésticos está siendo usado ampliamente como un medio para el manejo sustentable de los residuos y para reducir la necesidad de incineración y de basureros. Al mismo tiempo, esta estrategia de manejo ayuda a generar MO, la cual es de gran importancia para la calidad de los suelos. Adicionalmente, el reciclaje ayuda a preservar grandes cantidades de elementos nutritivos, particularmente N y P, los cuales normalmente se encuentran en grandes concentraciones en los residuos mencionados, reduciéndose en consecuencia la necesidad de fertilizantes sintéticos (Ambus et al., 2002).

Una de las ventajas con que cuenta la humanidad, además de la generación del conocimiento, es el saber que en la naturaleza todo se recicla. La materia cumple



un ciclo que comienza cuando las plantas transforman la materia inorgánica del medio (agua, sales minerales, elementos nutritivos) en MO (tejidos vivos), y continúa, en pasos sucesivos a través de los diferentes niveles tróficos (herbívoros y carnívoros), hasta los descomponedores: lombrices, insectos, microorganismos (Wurst et al., 2003) que se encargan de cerrar el ciclo, manteniendo la fertilidad del suelo, al consumir MO, animal o vegetal, y degradarla o descomponerla en materia inorgánica y humus, aprovechables otra vez por las especies vegetales. Dentro del suelo, la descomposición de la MO se debe principalmente a la actividad de macro y microorganismos, estos organismos también contribuyen a la cadena alimenticia de gran parte de la fauna del suelo (Trewavas, 2004; Hansen et al., 2001). De hecho, el ciclo de la MO en la naturaleza conlleva el intercambio de diversos elementos entre las partes vivientes y no vivientes del ecosistema (Quintero-Lizaola et al., 2003).

#### VII.4.2. Descomposición de residuos orgánicos.

La descomposición de la MO del suelo es una fuente principal de elementos nutritivos para la planta, especialmente en los ecosistemas con baja aplicación de insumos, como las praderas (Hodge et al., 2000). En consecuencia, la disponibilidad de los elementos nutritivos en el suelo depende principalmente del proceso de descomposición de la MO (Jégou et al., 2000).

La mayoría de los desechos, independientemente de que provengan de hojas caídas o de raíces incorporadas, están sujetos a la descomposición por una vasta serie de descomposiciones primarios (que incluyen bacterias, hongos y fauna), cuyas poblaciones e índices de actividad están determinadas por factores físicos (principalmente temperatura y humedad) y químicos (calidad de los recursos). Por lo tanto, las velocidades de descomposición de los residuos están determinados por una amplia gama de factores que operan en escalas espaciales y temporales tremendamente diferentes (McInerney y Bolger, 2000).





Para llevar a cabo la mineralización de los residuos orgánicos, los suelos contienen una miríada de microorganismos que se caracterizan por su capacidad para provocar la descomposición de la MO, y en consecuencia liberan elementos nutritivos en formas asimilables para las plantas. La participación de estos organismos se debe a que la mayoría de ellos son de tipo heterótrofo y requieren de compuestos orgánicos para su crecimiento. Adicionalmente, como parte de la macrofauna del suelo, las lombrices de tierra ingieren grandes cantidades de suelo, MO y residuos de hojas. En consecuencia, también las lombrices tienen un papel destacado sobre la descomposición de la MO y la transformación de los elementos nutritivos (Zhang et al., 2000).

La descomposición de los residuos vegetales y animales es un proceso biológico básico en el cual el C es reciclado a la atmósfera como bióxido de carbono; el N se libera en forma disponible como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  y también se liberan otros elementos como P, S y diversos microelementos requeridos por las plantas superiores (Quintero-Lizaola et al., 2003).

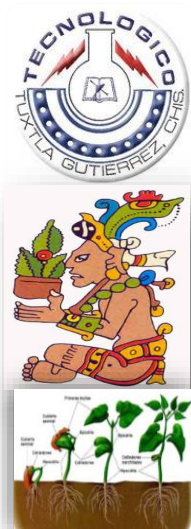
#### VII.4.2.1. Proceso de composteo.

Habitualmente la descomposición de los residuos orgánicos es un proceso de baja velocidad, sin embargo otros mecanismos de humificación, como el composteo, pueden acelerar dicha velocidad. El composteo frecuentemente es utilizado, cuando la conversión de la MO fresca a substratos, con un alto grado de descomposición, es realizada en un período de tiempo relativamente corto (habitualmente pocos meses). Durante el proceso de composteo, los residuos orgánicos se descomponen bajo la acción de diversos microorganismos y factores ambientales, y los productos principales son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , iones minerales y MO estabilizada, rica en sustancias húmicas que recibe el nombre de humus (Atiyeh et al., 2000a; Soto y Muñoz, 2002; Pereira y Zezzi-Arruda, 2003).



En el proceso de composteo la MO es utilizada por los microorganismos aeróbicos como sustrato de crecimiento, pues éstos son organismos heterótrofos que demandan compuestos orgánicos para su ciclo de vida (Trewavas, 2004). Las materias primas utilizadas en el composteo representan una amplia gama de residuos orgánicos tales como los residuos sólidos municipales (MSW, por sus siglas en inglés), los lodos de aguas negras (biosólidos), residuos de jardín y verdes, estiércoles, entre otros (Chafetz et al., 1998). El composteo es una técnica muy antigua que consiste en mezclar desechos animales, vegetales, ceniza, elementos minerales proporcionándoles niveles de humedad, aireación y temperatura favorables a la actividad de los microorganismos capaces de convertir esos materiales en compuestos orgánicos estabilizados (Leal y Madrid de Cañizalez, s/f; Raviv, 2005).

En consecuencia, el compostaje supone el reciclaje de los residuos orgánicos de la basura, para el aprovechamiento de sus componentes, con el propósito de volver a incorporarlos a su ciclo natural a través del producto final de este proceso: la composta, que puede ser utilizada como fuente de elementos nutritivos y mejorador del suelo ya que ayuda a remediar la carencia de MO de éstos y contribuye físicamente a su fijación. La práctica del compostaje se puede realizar en casa, reciclando nuestra propia basura, contribuyendo así como buenos ciudadanos a la mejora del medio ambiente en los barrios, pueblos y ciudades (Soto y Muñoz, 2002). El compostaje es un proceso aeróbico, biológico, termófilo de degradación y de estabilización de la MO bajo condiciones controladas. Durante el proceso los sustratos más lábiles de la MO (azúcares, aminoácidos, lípidos y celulosa) son descompuestos, bajo condiciones controladas, en menor tiempo por bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos tolerantes a temperaturas medias. La proporción de esos microorganismos varía según el sustrato. Posteriormente, se lleva a cabo la descomposición de los materiales más recalcitrantes (hemicelulosa y lignina) (Hoitink y Changa, 2004) por organismos termófilos (resistentes a altas temperaturas) como las levaduras y algunos actinomicetos - las altas temperaturas (45 - 65 °C), durante la fase termófila,



causan la muerte efectiva de patógenos y semillas de malezas evitando que sean transferidos a cultivos sucesivos - para pasar luego a la formación de sustancias húmicas, durante la fase de enfriamiento y maduración. La formación de ácidos húmicos es realizada principalmente por hongos y algunos actinomicetos (Leal y Madrid de Cañizalez, s/f; Soto y Muñoz, 2002; Raviv, 2005).

Como resultado del proceso de composteo, los residuos orgánicos son reciclados en productos estabilizados que pueden ser aplicados al suelo como una fuente de MO relativamente seca y sin olor, la cual podría responder más segura y eficientemente a los requerimientos de fertilidad orgánica del suelo que la incorporación de materiales frescos (Atiyeh et al., 2000a). Así pues, para acelerar el proceso de recuperación del suelo, muchos productores utilizan además de las fuentes frescas de MO, la elaboración y aplicación de abonos orgánicos como la composta y la lombricomposta o vermicomposta (Soto y Muñoz, 2002).

El método convencional y más tradicional de composteo consiste en la bioxidación acelerada de la MO conforme pasa a través de una etapa termofílica (45 a 65°C). Sin embargo, para facilitar la descomposición y estabilización de los residuos orgánicos, diversos investigadores han optado por utilizar otro proceso biológico, el cual no incluye la etapa temofílica, sino que incluye el empleo de lombrices de tierra, el cual recibe el nombre de vermicomposteo (Atiyeh et al., 2000a).

### VII.4.3. Papel de las lombrices en el vermicomposteo.

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando sólo utilizan sólo una pequeña porción para la síntesis de sus cuerpos, ellas excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de vermicomposta en un período de tiempo corto (Ghosh et al., 1999).



Hoy en día existen diversas evidencias de que las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y diversos investigadores han demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados. Estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta (Atiyeh et al., 2002).

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la MO inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta (VC) es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh et al., 2000a). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del  $N-NH_4^+$  a  $N-NO_3^-$  (Atiyeh et al., 2000b; Atiyeh et al., 2000c; Atiyeh et al., 2002).

Mientras los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la MO en el proceso de vermicomposteo, las lombrices son importantes para acondicionar el sustrato y para promover la actividad microbiana. Las lombrices actúan como batidoras mecánicas ya que éstas desintegran el material orgánico, incrementan el área superficial expuesta a los microorganismos y mueven los fragmentos y los excrementos ricos en bacterias, en consecuencia homogenizan el material orgánico (Domínguez et al., 2003). Adicionalmente, la actividad de las lombrices en el proceso de vermicomposteo es tanto física/mecánica y bioquímica.



Los procesos mecánicos incluyen: aeración del sustrato, mezclado, y molienda. El proceso bioquímico es afectado por la descomposición microbiana del sustrato en el intestino de las lombrices (Buck et al., 2000). También, a diferencia del tradicional tratamiento microbiano de los residuos, el vermicomposteo provoca la bioconversión de los desechos en dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y la VC (Ghosh et al., 1999; Ndgewa et al., 2000; Domínguez et al., 2001;). La aplicación de lombrices a los residuos orgánicos acelera la estabilización de estos materiales en términos de descomposición y mineralización de la MO, generando un medio más apropiado para el crecimiento de la planta (Atiyeh et al., 2000b). Por lo tanto, el empleo de las lombrices de tierra en la descomposición de una amplia gama de residuos orgánicos, incluyendo lodos de aguas negras, desechos de animales, residuos de cultivos, y residuos industriales, para generar vermicompostas se ha incrementado de manera considerable (Atiyeh et al., 2002). Hoy en día, debido a que las reglamentaciones para la aplicación y disposición del estiércol han sido más rigurosas, ha crecido el interés por utilizar las lombrices como un sistema ecológicamente seguro para manejar el estiércol. Lo anterior debido a que diversos estudios han demostrado la capacidad de algunas lombrices de tierra para consumir una amplia gama de residuos orgánicos (Atiyeh et al., 2000c). Como ejemplo del papel de estos organismos, Atiyeh et al. (2000b) concluyeron que las lombrices *Eisenia andrei* tuvieron un papel destacado en el procesamiento del estiércol vacuno, ya que la actividad de éstas aceleró el proceso de descomposición y estabilización del estiércol y promovió características bioquímicas que resultaron favorables para el crecimiento de la plantas.

Por lo anterior, recientemente se ha mostrado gran interés en el desarrollo de novedosos procesos ecoamistosos, basados en la utilización de los sistemas biológicos. Uno de estos sistemas incluye la crianza de lombrices (vermicultura o lombricultura) para estabilizar una gran variedad de residuos orgánicos (vermicomposteo). En consecuencia, resulta de gran importancia el utilizar la capacidad que tienen ciertas especies de lombrices e.g. *Eisenia foetida*, *Eisenia*



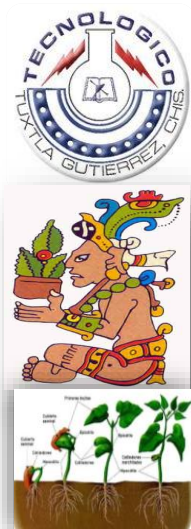
andrei, Eudrilus eugeniae, Lumbricus rubellus, para adaptarse y reproducirse, con un apetito voraz y gran velocidad de crecimiento, fuera de su hábitat natural, para provocar la descomposición de los residuos orgánicos (Ghosh et al., 1999; Maboeta et al., 1999; Atiyeh et al., 2000c; Berry y Jordan, 2001; Domínguez et al., 2001; Gajalakshmi et al., 2001).

#### VII.4.4. La vermicomposta o humus de lombriz.

La VC es un tipo de composta (Soto y Muñoz, 2002) en la cual cierto tipo de lombrices de tierra, e.g., Eisenia foetida, Eisenia andrei, Lumbricus rubellus, transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado "vermicomposta" o "worm casting". Los residuos de la ganadería son una "fuente de alimento" común para las lombrices, pero los residuos de los supermercados, los biosólidos (lodos de aguas negras) la pulpa de papel, y de la industria de la cerveza también se han utilizado en el proceso de vermicomposteo (Atiyeh et al., 2000a; McGinnis et al., 2004).

La VC - lombricomposta o humus de lombriz - se genera en el tubo digestor de la lombriz, y de acuerdo al uso que se destine, se puede clasificar como: fertilizante orgánico, mejorador del suelo y medio de crecimiento (MC) para especies vegetales que se desarrollan en invernaderos (Edwards y Steele 1997; Farrell, 1997; Jensen, 1997; Riggle, 1998; Eastman, 1999; Atiyeh et al., 2000a; Brown et al., 2000; Buck et al., 2000; Ndegwa et al., 2000; Domínguez et al., 2000; Gajalakshmi et al., 2001; Atiyeh et al., 2002).

La descomposición de la MO bajo condiciones ambientales variables es una característica fundamental de los ecosistemas terrestres. En el caso del vermicomposteo, las interacciones complejas entre residuos orgánicos, microorganismos, lombrices y otros animales de la fauna del suelo provocan la bioxidación y estabilización de dichos residuos. Una gran variedad de microorganismos y organismos invertebrados del suelo proliferan e interactúan



contribuyendo al "ciclo de la materia" dentro del vermicomposteo. El sistema de vermicomposteo soporta complejas cadenas alimenticias, y al mismo tiempo, modifica diferentes formas químicas de diversos elementos nutritivos contenidos en los compuestos orgánicos, los cuales son importantes para la dinámica de los elementos nutritivos (Domínguez et al., 2003).

#### VII.4.5. Características de la vermicomposta.

La vermicomposta, en términos generales posee, entre otras, las características que se describen en el siguiente párrafo (Edwards y Steele 1997; Farrell, 1997; Jensen, 1997; Riggle, 1998; Eastman, 1999; Atiyeh et al., 2000a; Brown et al., 2000; Buck et al., 2000; Ndegwa et al., 2000; Gajalakshmi et al., 2001; Atiyeh et al., 2002; Canellas et al., 2002; Pereira y Zezzi-Arruda, 2003).

Material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, y facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo y favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas. Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favoreciendo la CIC de los suelos. Favorece e incrementa la actividad biótica del suelo. Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas en contra de plagas, enfermedades y organismos patógenos. Se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nematodos. Los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo y, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Posee un pH neutro. Mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Durante el transplante previene enfermedades y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Amortigua el efecto de los



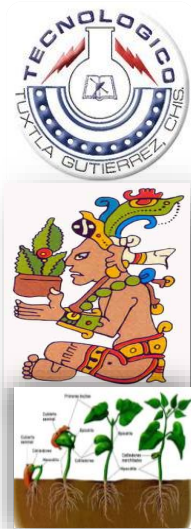
compuestos químicos aplicados al suelo. Aumenta la retención hídrica de los suelos (4 – 27%) disminuyendo el consumo de agua por los cultivos.

Su elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe a la presencia de grupos carbonilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos, entre otros, en su estructura (Pereira y Zezzi-Arruda, 2004).

La vermicomposta se caracteriza por estar conformada por materiales finamente divididos como el peat con gran porosidad, aireación drenaje, capacidad de retención de humedad. Además presentan una gran área superficial, la cual le permite adsorber y retener fuertemente los elementos nutritivos, los cuales se encuentran en formas que son fácilmente asimilables para las plantas tales como los nitratos, el fósforo intercambiable, potasio, calcio y magnesio solubles. En consecuencia, las vermicompostas pueden tener un gran potencial en las industrias hortícolas y agrícolas como sustrato para el crecimiento de la planta (Atiyeh et al., 2000a; Atiyeh et al; 2000c).

Adicionalmente, las vermicompostas, comparadas con sus materiales originales, tienen reducidas cantidades de sales solubles, mayor CIC, y un creciente contenido de ácidos húmicos totales. También contienen sustancias biológicamente activas tales como reguladores de crecimiento vegetal, que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos. (Atiyeh et al., 2000c) Por lo tanto, sus propiedades fisicoquímicas y biológicas parecen ser de mejor calidad para el crecimiento de las plantas que las propiedades de los materiales que dan origen a la vermicomposta (Atiyeh et al., 2000b; Gajalakshmi et al., 2001).

Por lo anteriormente señalado, hoy en día se reconoce por diversos autores que el empleo de la vermicomposta en las actividades hortícolas produce en las plantas mejoras significativas en su aspecto, sanidad y rendimiento (Castillo et al., 2000).





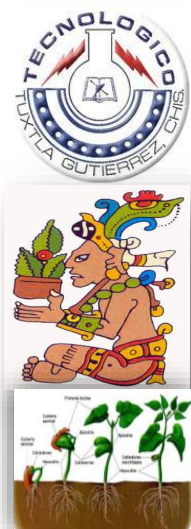
#### VII.4.6. Materias primas utilizadas en el vermicomposteo.

El proceso de vermicomposteo, favorecido por la acción transformadora de las lombrices y como método de reciclaje, es ideal para el tratamiento tanto de las deyecciones animales, como los residuos urbanos de tipo orgánico, ya que, además de acelerar el proceso de generación de abonos orgánicos de calidad, evita la contaminación del medio ambiente (Castillo et al., 2000).

En términos generales, existen tres clases principales de residuos orgánicos apropiados para el proceso de vermicomposteo: residuos de origen animal, residuos de plantas, y residuos urbanos. El patrón de crecimiento de las lombrices epigéicas *Eisenia fetida* (Savigny) en diferentes residuos orgánicos ha sido investigado por diversos autores bajo condiciones de laboratorio. Entre los diferentes materiales que se han utilizado como sustrato para el desarrollo de lombrices *Eisenia fetida* se destacan los estiércoles de vaca, patos, caballos, cerdos, de aves de corral, conejo y borregos, también se han utilizado residuos de plantas (pastos composteados, recortes municipales, malezas de ríos, de especies vegetales, café molido) y residuos municipales (biosólidos, y sobrantes de restaurantes y supermercados) (Gunadi y Edwards, 2003).

De la comparación de seis diferentes sustratos utilizados para evaluar al dinámica poblacional de las lombrices *Eisenia andrei*, Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato (2002) concluyeron que los desperdicios orgánicos de mercado son un excelente sustrato alimenticio para este tipo de lombrices, ya que en sólo cuatro meses obtuvieron un incremento superior a 1200% en el número de lombrices.

Por otro lado, aunque una amplia gama de materiales, principalmente diferentes tipos de estiércol, se han utilizado para el crecimiento y desarrollo de las lombrices, Gunadi y Edwards (2003) determinaron que no es recomendable el uso de estiércoles frescos de ganado vacuno y de cerdos, pues bajo estas condiciones la temperatura de las camas tiende a incrementarse, afectando la sobrevivencia de estos organismos.



## VII.4.7. La vermicomposta en desarrollo de las especies vegetales.

### VII.4.7.1. Promoción de crecimiento.

Como se señaló anteriormente, debido a que las reglamentaciones para la aplicación del estiércol a los suelos se han vuelto más rigurosas, se ha incrementado el interés por utilizar las lombrices como un sistema ecológicamente sano para manejar el estiércol. Debido a este enfoque, diversos investigadores han estudiado la utilización potencial de las vermicompostas, dentro de la industria agrícola y hortícola. En éstas se ha demostrado que la aplicación de la vermicomposta ha incrementado el crecimiento y desarrollo de las plántulas y la productividad de una amplia gama de cultivos. El incremento en el crecimiento y productividad de la planta se ha atribuido a las características físicas y químicas que presenta la vermicomposta (Atiyeh et al., 2000b).

Los efectos de las vermicompostas sobre el crecimiento de diversos cultivos incluyendo cereales y leguminosas, especies vegetales, plantas ornamentales y florales ha sido evaluado bajo condiciones de invernadero y en un menor grado bajo condiciones de campo (Atiyeh et al., 2002).

En ensayos de invernadero, el crecimiento de plántulas de maravillas (caléndula) y tomate se incrementó significativamente al sustituir el medio de crecimiento comercial Metro-Mix 360 con 10 o 20% de desechos de cerdo vermicomposteados o de residuos de alimentos vermicomposteados, cuando todos los requerimientos nutritivos fueron suministrados (Atiyeh et al., 2000a).

La vermicomposta generada a partir de estiércol de ganado vacuno, estimuló el crecimiento de las plantas de tomate y lechuga en comparación con el estiércol a partir del cual se generó la vermicomposta. Esto sugiere que las lombrices incrementaron la maduración de los residuos orgánicos. Por lo tanto, el incremento en el crecimiento de la planta podría ser debido a las características fisicoquímicas más favorables de los residuos procesados y el más alto contenido de N-NO<sub>3</sub>-,

73



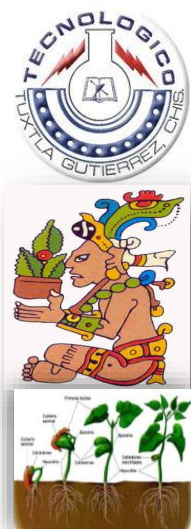
una forma de nitrógeno que es fácilmente disponible para la asimilación de las plantas (Atiyeh et al., 2000b).

Los estudios con vermicomposta han demostrado consistentemente que los residuos orgánicos vermicomposteados tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de la planta independientemente de las transformaciones y la disponibilidad de los elementos nutritivos. Cuando las VC se han utilizado como mejoradores del suelo o como componentes de los MC hortícolas, éstas han mejorado consistentemente la germinación de las semillas, el incremento en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, y una creciente productividad de la planta, mucho más de la que pudiera ser posible de la mera conversión de los elementos minerales en formas más accesibles para la planta (Atiyeh et al., 2002).

En correspondencia a lo anterior, Atiyeh et al. (2002) señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando las vermicompostas constituyen una proporción relativamente pequeña (10 - 40%) del volumen total del medio de crecimiento de la planta dentro de los cuales estos materiales son incorporados. Generalmente, ni proporciones más grandes o más reducidas de vermicompostas sustituyendo a los medios de crecimiento no han incrementado el crecimiento de las plantas.

Las posibles variables asociadas con el hecho de que la VC pueda ser en parte responsable del incremento en el crecimiento de los cultivos, incluyen la fertilidad, el ajuste del pH, las propiedades físicas del sustrato, la actividad microbiana y/o los componentes de la MO (McGinnis et al., 2004).

Por lo tanto, parece muy probable que las vermicompostas, las cuales consisten de una amalgama de heces de lombrices humificadas y MO, estimulan el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en las vermicompostas o debido a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh et al., 2002).



#### VII.4.7.2. Efecto sobre rendimiento.

Atiyeh et al. (2000b) al sustituir el MC comercial "Metro – Mix 360" con 20 % de VC de estiércol de cerdo, concluyeron que además de mejorar el crecimiento de plántulas de tomate, también se logró incrementar significativamente el rendimiento de este cultivo bajo condiciones de invernadero, con una producción de 5.1 kg planta<sup>-1</sup>. Este valor resultó 58 % más alto que el rendimiento del testigo (Metro – Mix 360 sin VC).

De acuerdo con Atiyeh et al. (2002) las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y sobre los medios de crecimiento, en consecuencia se ha demostrado que estos efectos pueden incrementar el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas controlados. Los efectos benéficos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y de la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos, a una creciente población microbiana y de metabolitos biológicamente activos, que participan como los reguladores de crecimiento de la planta.

Como resultado de la aplicación de VC y la inoculación con el hongo endomicorrízico arbuscular *Glomus intraradix* y la bacteria *Azospirillum brasilense* sobre la producción de tomate de cáscara, Velasco-Velasco et al. (2003) concluyeron que, la adición de VC, sola o combinada con *G. intraradix* y *A. brasilense*, mostró efecto positivo sobre la tasa fotosintética, acumulación de materia seca y rendimiento de tomate de cáscara. Además señalaron que el tratamiento que incluía la combinación de VC + *G. intraradix*, superó al testigo en peso seco total en 120% y en rendimiento en 26%.

Los resultados de la prueba de campo en Juchitepec, Edo. de México en el cultivo de papa var. Alpha usando combinaciones de abonos orgánicos y fertilizantes minerales para ajustar la dosis recomendada de fertilización de 165-200-300,

75



indicaron que la gallinaza fue el abono que aportó mayor cantidad de nutrimentos de origen orgánico, tuvo la mejor respuesta en rendimiento total, comercial, producción de materia seca, acumulación de N por tubérculos y presentó el mayor contenido de C-biomasa microbiana en suelo. Por cada tonelada de gallinaza aplicada se incrementó el rendimiento total de tubérculos en 1468 kg, obteniéndose rendimientos superiores a 43 t ha<sup>-1</sup>. La aplicación de vermicomposta produjo menores niveles de rendimiento que los otros abonos, con reducción de rendimiento al elevar la dosis de vermicomposta, pero en la dosis recomendada obtuvo mayor concentración de N en tubérculos y, por tanto mejor calidad biológica al aumentar el contenido de proteína (Romero-Lima et al., 2000).

En la comparación de dos genotipos de tomate - Adela y André – desarrollados en diferentes mezclas de vermicomposta:arena (VC:A; %:%, en base peso) vs sustrato con arena y solución nutritiva, en invernadero, se destacó lo siguiente, para el genotipo André el rendimiento de 17.05 kg m<sup>-1</sup>, con la mezcla 12.5:87.5 (%:%) aunque resultó estadísticamente igual ( $P < 0.05$ ) al testigo, en el que se obtuvieron 15.10 kg m<sup>-1</sup>, lo superó en un 11.43%. (Moreno – Reséndez et al., 2005). Adicionalmente, los mismos autores establecieron que con la misma mezcla: a) se obtuvieron los valores promedio significativamente más altos para las variables de calidad: número de lóculos (5), sólidos solubles (6.2 ° Brix), diámetro ecuatorial (7.47 cm) y peso de fruto (224.71 g fruto<sup>-1</sup>); b) en el caso del diámetro polar (6.5 cm) esta mezcla sólo fue superada por la mezcla 50:50 (%:%) donde se obtuvo un valor de 6.9 cm; y c) con respecto al espesor de pulpa los diferentes tratamientos fueron estadísticamente iguales con un promedio de 0.8 cm. Los resultados sugieren que la fertilización del genotipo André, a través de la solución nutritiva, puede ser sustituida con la aplicación de VC en el MC.

#### VII.4.8. Control de enfermedades y organismos patógenos.

Existen pocos datos sobre los posibles mecanismos mediante los cuales las vermicompostas generan efectos de incremento en el crecimiento. Sin embargo,

76



se ha demostrado que la incidencia de enfermedades de las plantas puede ser controlada por las vermicompostas. Además, debido a la presencia de este material ha incrementado la actividad de la micorriza vesículo arbuscular y se ha suprimido la población de nematodos (Atiyeh et al., 2002).

Cuando las lombrices se alimentan de los residuos orgánicos ingieren una amplia gama de materiales alimenticios, incluyendo bacterias, hongos, protozoarios y nematodos. Debido a esta situación, Bonkowski et al. (2000), concluyeron que las lombrices, de diferentes grupos ecológicos, prefieren como alimento a diversas especies de hongos, entre las cuales destacan: *Fusarium nivale*, *Rhizoctonia solani*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor* sp. La importancia de esta preferencia se debe a que, la mayoría de estos hongos son organismos patógenos o parásitos del tejido de las plantas, y en consecuencia limitan su óptimo crecimiento.

Gajalakshmi et al. (2001), señalan que dentro de los beneficios que aporta las VC, al comparar su incorporación con el material original (pre-vermicompostado) se encuentran el incremento de la capacidad de la retención de humedad del suelo, una mejor disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas. También han establecido que las VC contienen enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos. Por otra parte, Domínguez et al. (2003), determinaron que durante el proceso de vermicomposteo de dos residuos orgánicos: estiércol de vaca y lodos de aguasnegras, con lombrices *Eisenia andrei*, se logró reducir significativamente la presencia de nematodos (>50%) en ambos sustratos debido a la actividad de descomposición que realizan estas lombrices.

#### VII.4.8.1. Producción de sustancias húmicas.

En la literatura existe un gran número de referencias que demuestran que los reguladores de crecimiento de las plantas, tales como el ácido indol-acético

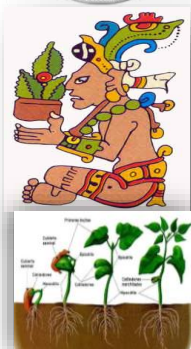


(auxinas), giberelinas y citoquininas, son generados por microorganismos, y en dichas referencias se ha sugerido que la promoción de la actividad microbiana en la MO por las lombrices podría provocar la producción de cantidades significativas de reguladores de crecimiento: auxinas, giberelinas y citoquininas (Atiyeh et al., 2002). Esta situación se debe al papel relevante que las lombrices tienen en el proceso de formación de humus, en el cual la VC contiene sustancias húmicas que pueden afectar el crecimiento de la planta a través de efectos fisiológicos (Muscolo et al., 1999).

Las sustancias húmicas comprenden un gran número de compuestos orgánicos con una estructura molecular compleja (anillos aromáticos, grupos carbonilos, fenólicos y hidroxil alcohólicos, entre otros). El origen de estas sustancias se debe a la descomposición química y microbiana que actúa sobre los residuos de plantas y animales (Pereira y Zezzi-Arruda, 2003).

Además, se ha demostrado que las vermicompostas originadas a partir de estiércoles, lodos de aguas negras o lodos de residuos de papel contienen grandes cantidades de sustancias húmicas (Atiyeh et al., 2002; Canellas et al., 2002). Estudios sobre los efectos de las sustancias húmicas sobre han provocado efectos consistentemente positivos sobre el crecimiento de la planta independientemente de la nutrición. Por ejemplo, en experimentos controlados, las sustancias húmicas incrementaron la producción de materia seca de plántulas de maíz y avena; el número y la longitud de las raíces de tabaco, los pesos secos de plántulas, raíces, y nódulos de la soya, el nogal y las plantas de trébol, el crecimiento vegetativo de las plantas achicoria, e indujeron la formación de retoños (plántulas) y raíces en cultivos tropicales desarrollados en cultivo de tejidos (Atiyeh et al., 2002).

La incorporación de ácidos húmicos derivados del proceso de vermicomposteo, dentro de cada medio de crecimiento, incrementó significativamente el crecimiento de las plantas de tomate y de pepino, en términos de la altura de las plantas, el



área foliar, y el peso seco de plántula y raíces. El crecimiento de la planta incrementó conforme se incrementó la concentración de los ácidos húmicos dentro de los medios de crecimiento hasta cierta proporción, pero esto difirió de acuerdo con la especie de planta, el origen de la vermicomposta, y la naturaleza del medio de crecimiento. El crecimiento de la planta tendió a incrementarse por los tratamientos de las plantas con 50 - 500 mg kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos, pero con frecuencia disminuyó significativamente cuando las concentraciones de los ácidos húmicos aplicados al medio de crecimiento rebasó los 500 - 1000 mg kg<sup>-1</sup>. Las respuestas de crecimiento probablemente fueron debidas a la actividad que como hormonas tiene los ácidos húmicos de las vermicompostas o podrían haberse debido a hormonas de crecimiento de la planta adsorbidas dentro de los humates. (Morales Reséndez.)

















## VIII. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

### VIII.1. Diseño experimental.

El cultivo se realizó en el invernadero dell.T.T.G se plantaron semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), en recipientes de plástico conteniendo 10 kg de suelo de cultivo. En el bloque (que fue por triplicado de triplicado) que contenía en la fila, 7 recipientes conteniendo como suelo tierra negra de 10 kg's ya que 3 primeros eran sin ningún tratamiento al suelo, los otros 3 eran con químicos y uno era el testigo blanco, otros 3 recipientes contenían 9 kg. (90%) de tierra negra con 1kg. (10%) de vermicomposta, otros 3 recipientes contenían 8kg. (80%) de tierra negra con 2kg. (20%) de vermicomposta y por último otros 3 recipientes contenían 7 Kg. (70%) de tierra negra con 3kg. (30%) de vermicomposta.





N°	SUELO	RHIZOBIUM	MICORRIZA	T 17 Y UREA	V.C 10	V.C 20	V.C. 30	FRIJOL	SIMBOLO
1	*	*						*	
22	*		*					*	
3	*	*	*					*	
4	*	*		*				*	
5	*		*	*				*	
6	*	*	*	*				*	
7	*	*			*			*	
8	*		*		*			*	
9	*	*	*		*			*	
10	*	*				*		*	
11	*		*			*		*	
12	*	*	*			*		*	
13	*	*					*	*	
14	*		*				*	*	
15	*	*	*				*	*	
16	*							*	

Dos semillas de frijol fueron plantadas en cada recipiente de plástico, 180 semillas cubiertas con micorrizas (*Glomus fasciculatum*), 180 semillas sin micorrizas y 18 semillas sin nada.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cada bloque entraran 3 filas ya que en la primera fila entraran 16 tratamientos diferentes, estos a su vez se localizaban al azar esta basa de primer bloque se hizo por triplicado contando una vez más 2 bloque más en total obtuvimos 144 botes.

Las variables de crecimiento de la planta de frijol (longitud de la planta y número de hojas), se contabilizaron a partir de la semana número 5 (30 dde), realizándose esta medición después de días y llegar a los 90 dde para las últimas mediciones.



## VIII. 2. Tratamientos.

1. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero a la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.
2. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*).
3. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), y al crecer la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.
4. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero a la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*, después se le trato con químico (tripe 17) y urea.
5. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), después se le trato con químico (tripe 17) y urea.
6. La superficie de siembra contiene 100% de tierra negra, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), y al crecer la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*, después se le trato con químico (tripe 17) y urea.
7. La superficie de siembra contiene 9 kg. (90%) de tierra negra y 1 kg. (10%) de vermicomposta, pero a la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.
8. La superficie de siembra contiene 9 kg. (90%) de tierra negra y 1 kg. (10%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*).
9. La superficie de siembra contiene 9 kg. (90%) de tierra negra y 1 kg. (10%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), y al crecer la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.
10. La superficie de siembra contiene 8 kg. (80%) de tierra negra y 2 kg. (20%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), y al crecer la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.



11. La superficie de siembra contiene 8 kg. (80%) de tierra negra y 2 kg. (20%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*).

12. La superficie de siembra contiene 8 kg. (80%) de tierra negra y 2 kg. (20%) de vermicomposta, pero a la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.

13. La superficie de siembra contiene 7 kg. (70%) de tierra negra y 3 kg. (30%) de vermicomposta, pero a la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.

14. La superficie de siembra contiene 7 kg. (70%) de tierra negra y 3 kg. (30%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*).

15. La superficie de siembra contiene 7 kg. (70%) de tierra negra y 3 kg. (30%) de vermicomposta, pero la semilla estaba cubierta de micorrizas (*Glomus fasciculatum*), y al crecer la planta se le aplicó 1 ml. de *Rhizobium etli*.

16. La superficie de siembra contiene 10 kg de tierra negra y a la semilla no se le agrego ninguna sustancia ya que este era nuestro testigo blanco.

### VIII.3. MATERIALES Y METODOS

#### Preparación del área del trabajo

Podar el área de trabajo sin quema, colocar los contenedores en forma de azar el primer bloque etiquetando los botes o instintivo de cada tratamiento, colocar en cada bote la tierra pesada de cada tratamiento y posteriormente regar el suelo de cada tratamiento con un litro de agua por tres días.

#### VIII.3.1. Inoculación de la semilla con micorrizas (*Glomus fasciculatum*).

1. Las semillas son sumergidas en agua durante 3 hrs. para ablandar la superficie de estas.
2. Se sumergen en una solución azucarada (bebida comercial) por 10 min. para que se facilite la adhesión de las micorrizas a las semillas.



3. Las semillas son cubiertas con una capa de micorrizas.  
 NOTA: las micorrizas son humedecidas con agua hasta que formen una pasta.
4. Se deja secar las semillas inoculadas con micorrizas por 5 min.
5. Se siembra a una hora del día cuando la temperatura es de 20°C.
6. Los orificios de siembra son de aproximadamente 3 cm de profundidad.

### VIII.3.2. Inoculación con *Rhizobium etli*.

1. Se inocula masivamente una caja petri con la bacteria con un medio selectivo YEM.
2. El contenido del medio YEM:

Agar bacteriologico	15 gr
Fosfato de potasio diausico	0.5 gr
Sulfato de magnesio heptahidratado	0.2 gr
Cloruro de sodio	0.1 gr
Extracto de levadura	1 gr
Manitol	10 gr
Agua destilada	1 L

3. Con un asa se raspa la caja de petri para desprender las ufc.
4. Se agrega 1 ml de agua destilada estéril y se mueve cuidadosamente.
5. Se toma el 1 ml de agua con *Rhizobium etli* y se agregan 19 ml de agua destilada estéril.
6. Se agrega 1 ml de la solución anterior a cada planta.  
 NOTA: la planta debe tener apenas las primeras dos hojas.



### VIII.3.3. Desarrollo y descripción de actividades.

Esta investigación se centra en la búsqueda de biofertilizante para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) basado en la utilización de microorganismos como el *Rhizobium etli*, y *Glomus fasciculatum* (micorrizas) en un suelo enriquecido con vermicomposta, evitando así el uso de fertilizantes químicos.

Las principales actividades de la investigación son:

- ✓ Preparación de la superficie de suelo para la siembra.
- ✓ Sorteado de tratamientos.
- ✓ Inoculación de la semilla según el tratamiento.
- ✓ Monitoreo de la longitud de la planta (con flexometro).
- ✓ Monitoreo de número de hojas (conteo manual).

Nota: los monitoreos se realizaron simultáneamente.

- ✓ Interpretación de los resultados.

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se muestra el análisis estadístico de la variable longitud de la planta, obtenido al aplicar los diferentes tratamientos a las plantas de frijol a los 90 dde.

Los datos obtenidos en el experimento con el valor máximo de longitud de la planta a los 90 días, y diferente tipo de tratamiento aplicado a la superficie de siembra se muestra en la siguiente figura.



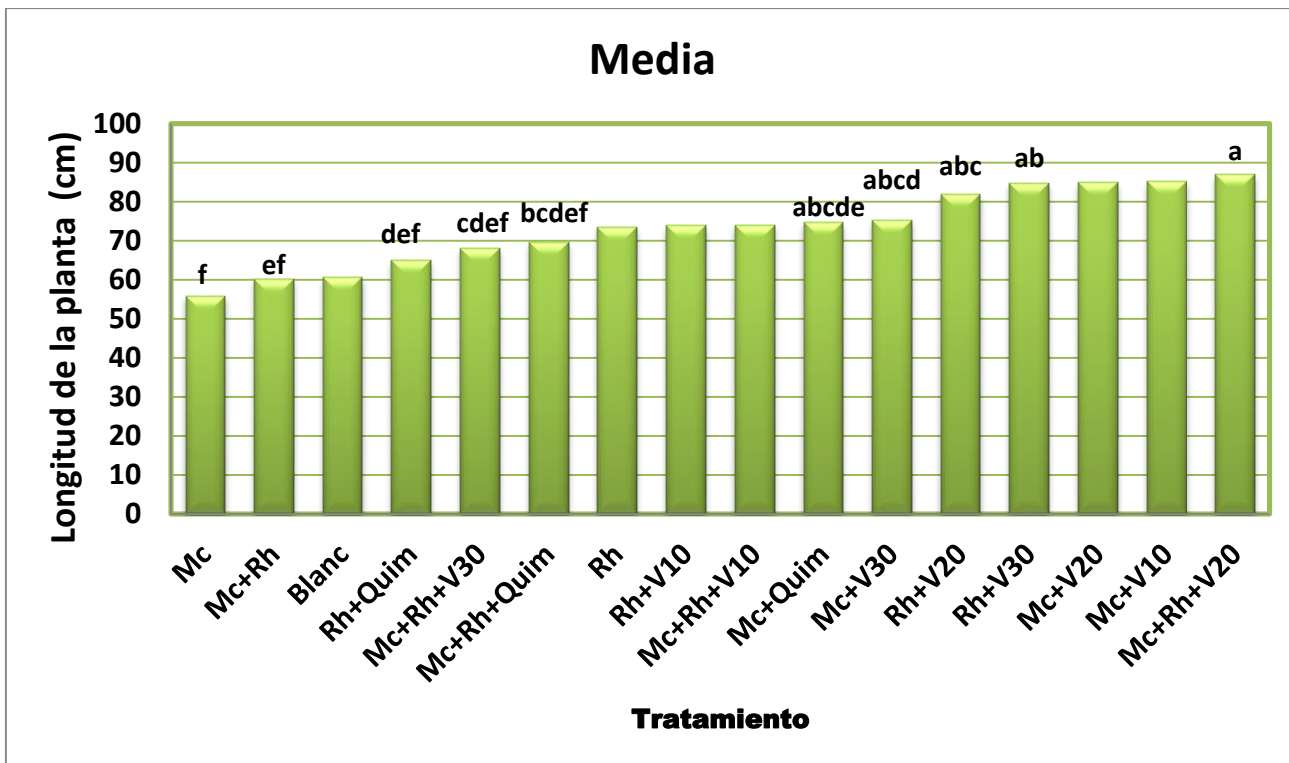


Fig. 23. Análisis de los datos encontrados de la longitud de la planta al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).

El análisis estadístico de la variable longitud de tallo, nos indica que las plantas de frijol sometidas al tratamiento de *Rhizobium etli* + micorriza + vermicomposta 20% mostraron diferencia significativa con respecto a las plantas de frijol tratadas con micorriza + *Rhizobium etli* + Químicos. Mientras que los otros tratamientos si tuvieron demostraciones significativa (fig. 23).

Las plantas tratadas con micorriza tuvo un valor significativo con el tratamiento de Micorriza + *Rhizobium* con vermicomposta al 20% su porcentaje arroja 30% mayor de crecimiento.

En tratamiento en blanco nos arroja que si hubo un valor de mayor importancia Micorriza + *Rhizobium etli* con vermicomposta 20%.



En el rango de una media prolongada y de eficiencia Micorriza con vermicomposta al 30%, el Rhyzobium etli mas vermicomposta 20% produce mayor longitud de la planta.

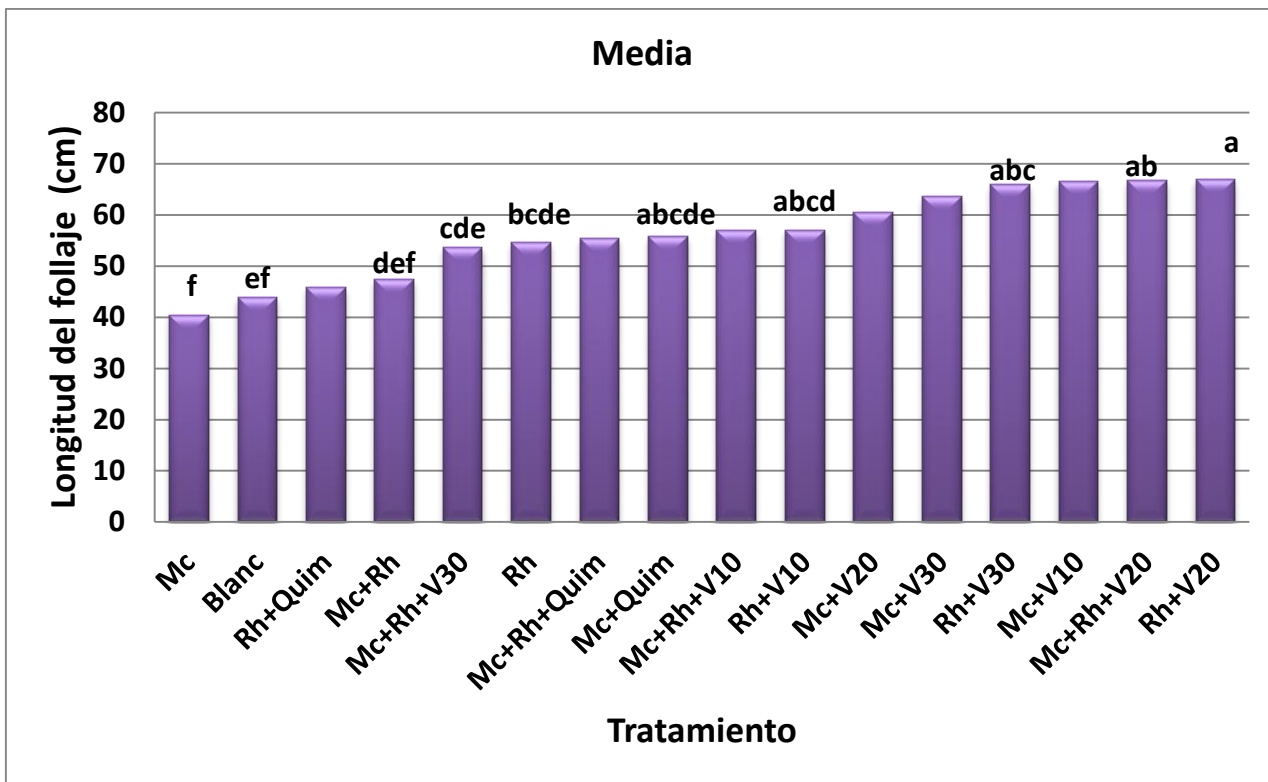
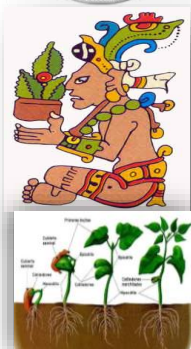


Fig. 24 Análisis de los datos encontrados de la longitud del follaje de la planta al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).

El análisis del follaje la media estadística nos arroja que el mayor producción de follaje fue el Rhyzobium etli con vermicomposta al 20% ya que fue muy significativa con el tratamiento de micorriza que va ala par del tratamiento blanco, es un 10% de diferencia, de estas ultimas.

La que si hubo una variable mas significativa fue micorriza + Rhyzobium etli +vermicomposta 30% ya que con los otro casi no hay valores significativos (fig. 24).



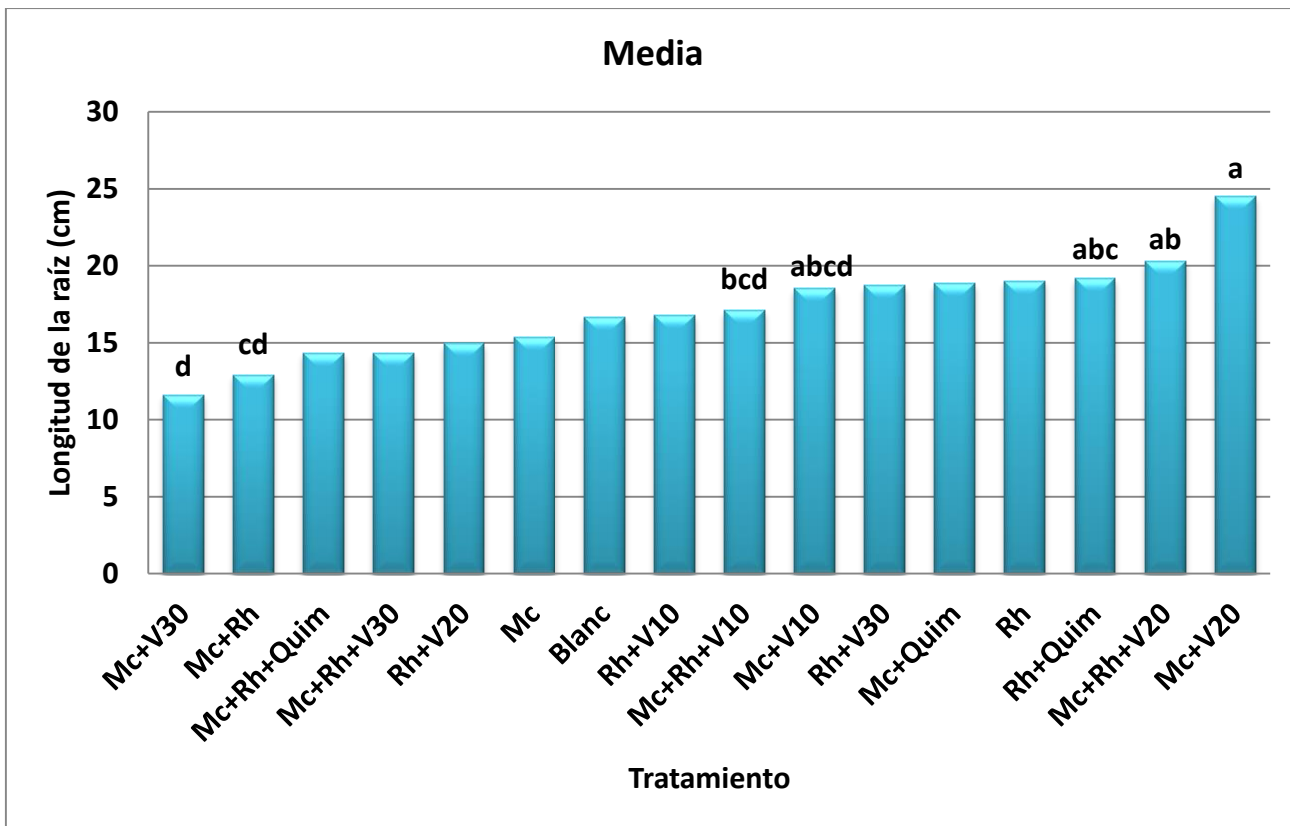


Fig. 25. Análisis de los datos encontrados de la longitud de la raíz al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).

En la descripción de la fig. nos arroja los datos del experimento que si hubo variables significativas. Como micorriza + vermicomposta al 20% que fue la mayor y el menor valor y que fue significativo fue con micorriza con vermicomposta 30%. En el análisis no dice que el tratamiento blanco va a la par con tratamientos químicos y que la comparación con los microorganismos fue en detalle de la función de la vermicomposta (fig. 25).





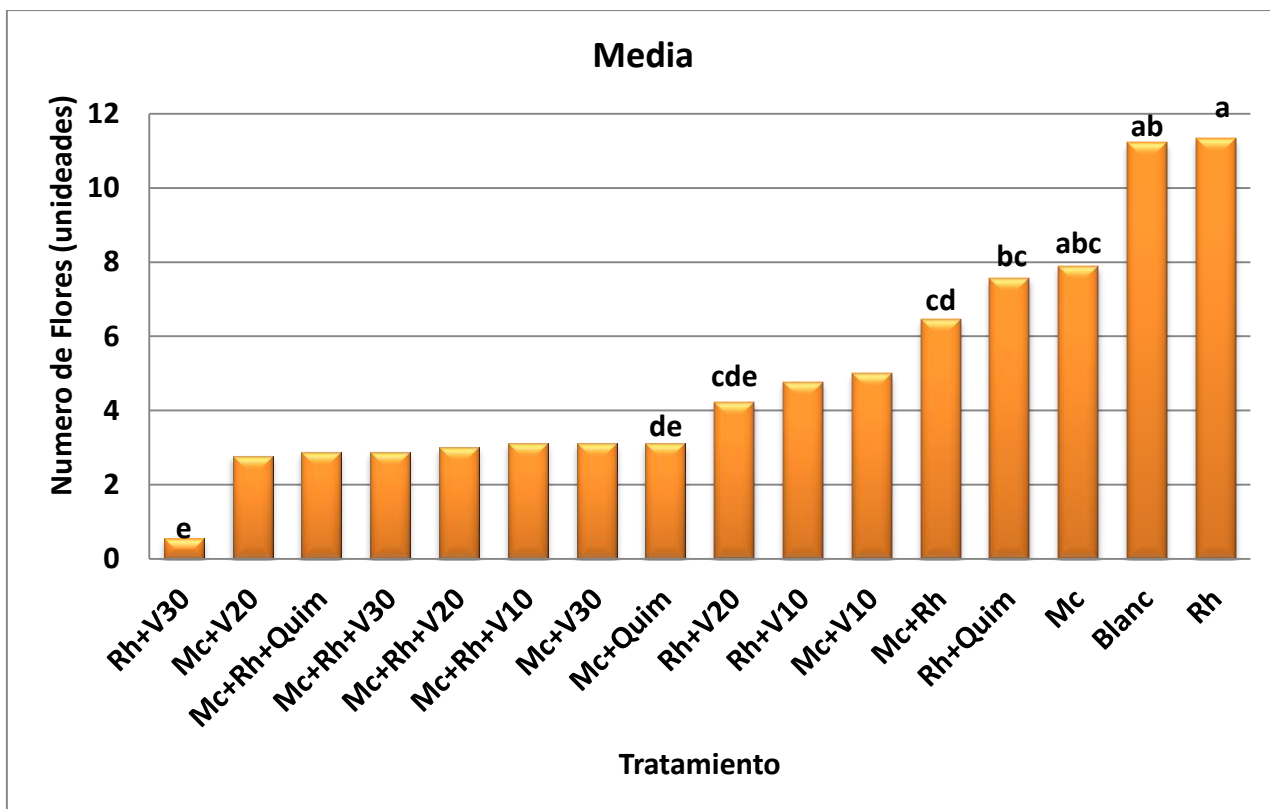


Fig. 26. Análisis de los datos encontrados de números de flores al término de los 90 dde (Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD).

El conteo de la floración de los 90 dde con el tratamiento de Rhyzobium etli dio todavía mayor producción de floración que en el que del tratamiento de Rhyzobium etli con vermicomposta al 30% y una mayor comparación en producción que va a la par de Rhyzobium etli que en los demás (fig.26).



## X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Existe una diferencia significativa entre el tratamiento A y B en el crecimiento de las plantas. Debido a los diferentes aplicación de los tratamientos con cultivos microbiológicos
- El aumento de peso en follaje, semillas, raíz, vainas y el número de floración son factores de crecimiento que evidencian claramente en la correcta aplicación de dichos tratamientos (A). los cuales no se observan en el caso del tratamiento B por el método estadístico de (Tukey HSD 95% probabilidad)
- En el caso de experimento con la aplicación de urea, no hubo crecimiento adecuado de las plantas incluso en algunos lotes el crecimiento fue nulo.
- Además existen factores ambientales que no favorecen el crecimiento adecuado de las plantas, pocos días soleados o la infestación de plagas e insectos y exceso lluvia ya que esto provoca anaerobiosis para el cultivo microbiológico (Rhyzobium) lo limita o anula el crecimiento de este lo que lleva a la no producción de nódulos.
- La aplicación de vermicomposta al 20 al 30% no favoreció al crecimiento de las plantas debido a que el rhyzobium se inhibió por su propio sustrato.
- En el caso de la mezcla de micorriza y Rhizobium lo crecimientos no fueron óptimos debido a que hubo falta de sustrato(vermicomposta) e inhibición por los químicos.
- La actividad metabólica ejercida por los cultivos microbiológicos fue más evidente y favorecida por las concentraciones adecuadas de vermicomposta la cual consta de 10%. Lo cual se puede ver que el co-crecimiento se manifiesta proporcionalmente 1:1 (1ml por cada 1kg de vermicomposta).

### Recomendaciones

- Hacer cultivos de acuerdo a las épocas del años (la aplicación de tratamientos en épocas lluviosas no son recomendables)



- No aplicación de químicos con la mezcla de cultivos microbiológicos
- Controlar adecuadamente la humedad de los cultivos
- Hacer uso de biofertilizantes para el control de plagas se recomendada el uso de *neem o mata ratón* en concentración de 1:3
- Hacer monitoreo de variables de crecimiento de acuerdo a los días estipulados
- Para la obtención de producto casi óptimos se recomienda la aplicación un solo cultivo y su respectiva concentración de vermicomposta
- Para la multiplicación de *rhyzobium* se recomienda que la cepa sea nueva.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. - Alexander, M., 1971. Biochemical ecology of microorganisms. Ann. Rev. Microbiol 25:361-392
2. - Alexander, M., 1977. [Introducción](#) a la [microbiología](#) del suelo. AGT Ed. pp:463-481.
3. - Claridge, C.A. and Schmitz, H., 1978. Microvial and chemical transformations of some 12, 13-Epoxytrichotec. App. Environ. Microbiol. 36:63-67
4. - Ferguson, J. and Korte, K., 1977. Epoxidation of aldrin to exo aldrin by soil bacteria. Appl. Environ. Microbiol 34:7-13.
5. - Ruplal R. and Saxena, D.M., 1982. Accumulation metabolism and effects of organochlorine insecticides on microorganisms. Microbiol. Rev. 46:95-127.
6. - Das A.C. and Mukherjee D., 2000. Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. Appl Soil Ecology 14:55-62.
- 7.- Kantachote D., Naidu, R., Singleton I., McClure N. and Harch. B. D., 2001. Resistance of microbial populations in DDT-contaminated and uncontaminated soils. 16:85-90.
8. - Smith M. D, Hartnett D.C. and Rice C.W., 2000. Effects of long-term fungicide applications on microbial properties in tallgras prairie soil. Soil Biol. Biochem. 32:935-946.
9. - Sommerville L., Greaves, M.P., 1987. Pesticide Effects on the Soil Microflora. [Taylor](#) and Francis, London pp:240.
10. - Vincent, JM., 1975. [Manual](#) practico de Rhizobiología. Ed Hemisferio Sur. Argentina.
11. - CIAT, *morfología del frijol Phaseluos vulgaris L.* Editorial XYZ, año 1980.
12. - PCCMCA , MEJORAMIENTO DEL FRIJOL, 3era reunión centroamericana, Guatemala 1994, secretaria de ALFA

