



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA**

---

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN  
BIOTECNOLOGÍA**

**EFFECTO DE LA SEQUIA EN EL SISTEMA  
RADICAL DEL FRIJOL**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA PRESENTADO POR

**HERNANDEZ GARCIA ELIZABETH**

**PARA OBTENER EL**

**TITULO DE:**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**DIRECTOR DEL PROYECTO:  
DR. RAMON DIAZ RUIZ**

**REVISORES:  
D. EN C. JORGE LOZADA LECHUGA  
D. EN C. EDUARDO MOLINA GAYOSSO**

Estadía profesional realizada, dentro del marco de la carrera de Ingeniería en Biotecnología, en el invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla número 205, Santiago Momoxpan. San Pedro Cholula, Puebla. C.P. 72760.

**SAN MATEO CUANALÁ, PUEBLA. 23 DE AGOSTO DE 2018**

El presente proyecto de investigación titulado: **EFFECTO DE LA SEQUIA EN EL SISTEMA RADICAL DEL FRIJOL** y realizado por **Elizabeth Hernández García**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**Consejo Particular:**

**Firma**

**Director:** Dr. Ramón Díaz Ruiz

---

**Revisor:** Dr. Jorge Lozada Lechuga

---

**Revisor:** Dr. Eduardo Molina Gayosso

---

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado:  
**Ingeniería en Biotecnología** y de la Línea de Investigación: **Efecto de la sequía en el sistema radical del frijol**. Dicho trabajo, fue financiado por:  
**Colegio de Postgraduados Campus Puebla**.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a mi familia que siempre estuvo conmigo desde el comienzo de mi formación académica, a mi papá le doy las gracias por apoyarme en todo momento y el enseñarme que las cosas que uno anhela, así como sus sueños se pueden cumplir siempre y cuando uno se lo proponga, a mi mamá por su persistencia de nunca dejar las cosas sin terminar y de nunca darse por vencido aun que las cosas no vayan del todo bien.

A mi Dr. de proyecto Ramón Díaz Ruiz por haberme permitido realizar mi estadía profesional con él, donde aprendí la importancia y el impacto que tiene la sequía en una planta y ver en que partes de la planta se ve más afectada, así como su resistencia a este factor.

## **Efecto de la sequía en el sistema radical del frijol**

### **RESUMEN**

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de grano más importante a nivel mundial, su cultivo está extendido en los cinco continentes y es uno de los alimentos básicos de los pobladores de algunas regiones de África, América Latina y el Caribe (Lépiz, 2000). En América Latina, se ha estimado que el estrés hídrico reduce el rendimiento del frijol hasta un 73% según Van Scoonhoven y Voyset (1989). Durante el periodo de cultivo, el frijol puede ser afectado por múltiples factores adversos que reducen el rendimiento, como la sequía y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y foliares que disminuyen hasta 50% los rendimientos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes periodos de sequía en el sistema radical de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y el efecto de sequía en la formación de nódulos en las raíces de frijol, así como la acumulación y distribución de materia seca en raíz y vástago en la etapa fenológica V-4, Se utilizó un diseño de tratamientos de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron dos, una con riego y otra con sequía y en las parcelas pequeñas se tuvieron los tratamientos 10, 15, 20, 25 y 30 días repetidos cada uno cuatro veces, donde los resultados demostraron que se presenta una gran afectación a partir del tratamiento 4 y 5 generando una disminución en el crecimiento y rendimiento de la planta.

Palabras clave: estrés hídrico, frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), sequia.

## **Effect of drought on the bean root system**

### **Abstract**

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important legumes of grain worldwide, its cultivation is widespread in five continents and is one of the staple foods of the inhabitants of some regions of Africa, Latin America and the Caribbean (Lépiz, 2000). In Latin America, it has been estimated that water stress reduces bean yield up to 73% according to Van Scoonhoven and Voyset (1989). During the growing period, beans can be affected by multiple adverse factors that reduce yield, such as drought and diseases caused by root and foliar pathogens that reduce yields by up to 50%. The objective of this work was to evaluate the effect of different periods of drought in the root system of the common bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) and the effect of drought on the formation of nodules in the bean roots, as well as the accumulation and distribution of dry matter in root and shoot in the phenological stage V-4, a design of treatments of divided plots was used, where the large plots were two, one with irrigation and another with drought and in the small plots the treatments were repeated 10, 15, 20, 25 and 30 days each four times, where the results showed that there is a great affectation from the treatment 4 and 5 generating a decrease in the growth and yield of the plant.

Key words: water stress, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), drought.

## ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	MARCO TEORICO.....	3
2.1.	Antecedentes .....	3
2.2.	Producción del frijol en México.....	4
2.3.	Clima y suelo .....	5
2.4.	Clasificación taxonomía de la planta del frijol.....	6
2.5.	Descripción botánica .....	6
2.5.1	Raíz .....	6
2.5.2	Tallo .....	7
2.5.3	Ramas y complejos axiliares.....	7
2.5.4	Hojas.....	8
2.5.5	Inflorescencia .....	9
2.5.6	Flor.....	10
2.5.7	Fruto .....	10
2.5.8	Semilla .....	11
2.6.	ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA DEL FRIJOL.....	11
2.6.1.	Fase vegetativa (V) .....	12
2.6.2.	Etapa v- 0 de germinación.....	12
2.6.3.	Etapa V-1 de emergencia .....	13
2.6.4.	Etapa V-2 de hojas primarias.....	14
2.6.5.	Etapa V-3 de primera hoja trifoliolada .....	14
2.6.6.	Etapa V-4 de tercera hoja trifoliolada .....	15
2.6.7.	Fase reproductiva (R) .....	16
2.6.7.1.	Etapa R-5 de prefloración.....	16
2.6.7.2.	Etapa R-6 de floración .....	16

2.6.7.3.	Etapa R-7 de forma de vainas.....	17
2.6.7.4.	Etapa R-8 de llenado de las vainas .....	17
2.6.7.5.	Etapa R-9 de maduración .....	18
2.6.7.6.	Secuencia de la floración.....	18
3.	OBJETIVO GENERAL.....	19
3.1.	OBJETIVOS PARTICULARES .....	19
4.	MATERIALES Y METODOS.....	19
4.1.	Ubicación del trabajo .....	20
4.2.	Método estadístico .....	20
4.3.	Siembra .....	20
4.4.	Muestreo .....	20
4.5.	Cuantificación y morfología de nódulos.....	21
4.6.	Tinción de nódulos .....	22
4.7.	Cuantificación de las dimensiones de la planta de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	22
4.7.1.	Hojas.....	22
4.7.2.	Altura de la planta.....	23
4.7.3.	Tallo e hipocótilo .....	23
4.8.	Peso seco .....	23
4.8.1.	Peso del tejido de la planta de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	23
5.	Resultados y discusiones.....	23
6.	Conclusiones.....	36
7.	BIBLIOGRAFIA .....	37

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) .....	6
Cuadro 2. Análisis de varianza de las dimensiones en distintos órganos del vástago de frijol. ....	24
Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables longitud de hipocótilo (LonHipo), diámetro de nódulos superior, central e inferior (DiaNodsup, DiaNodcen, DiaNodinf). ....	28
Cuadro 4. Análisis de varianza para las variables de número de nódulos superior, central e inferior (NuNodsup, NuNodcen, NuNodinf) y número total de nódulos (NuToNod). ....	31
Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables de peso fresco y peso seco en raíz y vástago para riego (R) y sequía (S). ....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales estados de México productores de frijol .....	5
Figura 2. sistema inicial radical.....	7
Figura 3. Localización esquemática de la triada de yemas axilares. ....	8
Figura 4. Desarrollo de una inflorescencia, (líneas punteadas desarrollo teórico).....	9
Figura 5. Componentes de la flor de la planta de frijol.....	10
Figura 6. Fruto de la planta de frijol.....	11
Figura 7. Etapas de desarrollo del frijol. ....	12
Figura 8. Desarrollo de la etapa de germinación.....	13
Figura 9. Desarrollo de la etapa de emergencia. ....	13
Figura 10. Hojas primarias .....	14
Figura 11. Primera hoja trifoliolada .....	15
Figura 12. Tercera hoja trifoliolada.....	15
Figura 13. Hoja trifoliolada y racimo mostrando órganos en anthesis (a) y vainas en formación (b). 17	
Figura 14. Etapa de maduración.....	18
Figura 15. Plantas de frijol en etapa V-4.....	21
Figura 16. Morfología de nódulos .....	22
Figura 17. Tinción de nódulos a las 2 horas.....	22
Figura 18. Altura de la planta de frijol en diferentes tratamientos bajo sequía y riego.....	25
Figura 19. Ancho y largo de las hojas de la planta de frijol en riego (R) y sequía (S).....	26
Figura 20. Número de hojas totales en la planta de frijol en riego (R) y sequía (S). ....	27
Figura 21. Diámetro del tallo de la planta de frijol en riego (R) y sequía (S). ....	28
Figura 22. Longitud de hipocótilo en riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol. ....	29
Figura 23. Diámetro de nódulos en la parte superior, central e inferior para riego (R) y sequia (S) para la planta de frijol. ....	30
Figura 24. Número de nódulos en la parte superior, central e inferior para la planta de frijol en riego (R) y sequía (S). ....	32
Figura 25. Número de nódulos totales en riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol .....	33
Figura 26. Peso fresco (Pesofresraiz) y peso seco (Pesoseraiz) en raíz para riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol . ....	34
Figura 27. Peso fresco (Pesofresvas) y peso seco (Pesosevas) en vástago para riego (R) y sequía (S) en la planta de frijol.....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de grano más importante a nivel mundial, su cultivo está extendido en los cinco continentes y aunque no está considerado dentro de los cuatro cultivos prioritarios, es uno de los alimentos básicos de los pobladores de algunas regiones de África, América Latina y el Caribe (Lépiz, 2000). Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, habichuela, vainita, caraota y feijao. Una de las principales fuentes de proteína en Latinoamérica y África es el frijol, es una fuente significativa de vitaminas, minerales y fibra dietética, muy utilizada por los habitantes de países en desarrollo.

Fue hasta hace no más de medio siglo que se estableció una base sólida de la taxonomía del *Phaseolus*. Para México, es un cultivo estratégico, ya que ocupa el segundo lugar en superficie a nivel nacional, con un promedio de 1.688 millones de hectáreas. Su producción es de casi un millón de toneladas con un valor de 6.94 mil millones de pesos (SAGARPA, 2009).

En México, 85% del frijol se cultiva durante el ciclo de primavera-verano en diversas regiones del país, entre ellas, la semiárida y la tropical húmeda baja, en condiciones de temporal con 250 a 400 mm de precipitación durante el ciclo del cultivo, con un rendimiento promedio de 450 kg ha<sup>-1</sup>.

En la actualidad, el cultivo se realiza con diferentes regímenes de humedad del suelo. En la región semiárida de altura, el frijol se siembra durante el ciclo primavera-verano con un régimen de precipitación deficitario y errático, registrándose con frecuencia sequía intermitente, la cual puede presentarse durante las etapas vegetativa y reproductiva del cultivo. En la zona tropical húmeda baja, el frijol se siembra al final de la estación lluviosa, durante el ciclo otoño-invierno, y su producción en parte depende de la humedad residual almacenada en el suelo, observándose con frecuencia sequía terminal, la que ocurre en las últimas etapas del cultivo, durante el llenado de grano y madurez fisiológica. Acosta-Gallegos *et al.* (1998).

En América Latina, se ha estimado que el estrés hídrico reduce el rendimiento del frijol 73% según Van Scoonhoven y Voyset (1989). Durante el periodo de cultivo, el frijol puede ser afectado por múltiples factores adversos que reducen el rendimiento, como la sequía y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y foliares que disminuyen hasta 50% los rendimientos, esto ha obligado a investigadores a desarrollar nuevas estrategias que permitan estabilizar la producción y contribuir a la competitividad del frijol (Van Bruggen *et al.*, 1986).

El déficit de agua sigue siendo uno de los más significativos problemas de los cultivos de importancia agrícola, afectando el crecimiento, el desarrollo, y el rendimiento Verslues *et al.* (2006). Las plantas adaptadas a regiones áridas y semiáridas han desarrollado mecanismos para sobrevivir y tener éxito en estas condiciones adversas. Trejo-Calzada y O'Connell (2005). La respuesta de las plantas a este estrés ambiental depende de varios factores, incluyendo la etapa de desarrollo de la planta, la longitud, severidad y el estrés aplicado Bray (2002); Torres *et al.* (2006).

En los tejidos de las hojas, la percepción de estrés por sequía hace que al cerrar los estomas se reduzca la transpiración y por lo tanto limita la absorción de dióxido de carbono y reduce las tasas de fotosíntesis Turkan *et al.* (2005). Como resultado del déficit hídrico también puede haber mayor crecimiento de raíces Lazcano-Ferrat and Lovatt, (1999). Esto aumenta el volumen del suelo explorado por la planta para tener mayor disponibilidad de agua. Las plantas también sintetizan compuestos que funcionan como osmolitos para mantener el potencial hídrico y otras proteínas que usan para proteger las células de daños O'Connell, (1995); Maggio *et al.* (2006).

La sequía conjuntamente con la salinidad de los suelos, constituye un grave problema que afecta el rendimiento de los cultivos y la sostenibilidad de la agricultura. Cerca del 10 % de la superficie del planeta está afectada por uno de este estrés y muchas hectáreas de tierras constantemente son abandonadas a causa de los mismos (Royo *et al.*, 2000). Un estrés severo de sequía induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como, disminución de la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de intercambio gaseoso, pérdida de turgencia y síntesis de algunos metabolitos secundarios. Estas alteraciones y su impacto en la morfología y fisiología de las plantas, van a depender del grado

de tolerancia de los tejidos a la deshidratación, principalmente en las hojas (Mailén y Alexander, 2002).

Los efectos de la sequía con frecuencia se manifiestan por la ocurrencia de otros estreses, tanto bióticos (pudriciones de raíz) como abióticos (altas temperaturas, baja fertilidad del suelo, etc.). En el Altiplano Mexicano la mayoría de los suelos donde se cultiva frijol son pobres en materia orgánica, nutrientes y con baja capacidad de retención de humedad, el estrés por sequía, causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modifica negativamente la productividad del frijol. Esta puede ser más o menos afectada dependiendo de la intensidad y duración de la escasez de agua, de la rapidez con la cual se alcance dicha intensidad y además de la etapa fenológica en que el efecto ocurra, así como el pre acondicionamiento de la planta (Hsiao *et al.*, 1983).

A pesar de varias décadas de investigación, la sequía sigue siendo la principal limitante de los rendimientos del frijol en México. En el Altiplano Mexicano la sequía es impredecible en cualquier etapa durante el ciclo biológico del cultivo, es una amenaza constante para los agricultores, sobre todo en la región semiárida. En las partes bajas tropicales, aun cuando la precipitación anual registrada es alta, la principal siembra de frijol en el año se realiza al final de la temporada de lluvias y el cultivo con frecuencia enfrenta sequía terminal, sobre todo en suelos con baja capacidad para almacenar humedad.

El objetivo de dicha investigación se basó en la adaptación de sequía en el frijol común a una etapa V-4 de tercera hoja trifoliada, donde se evaluó su tolerancia y adaptación a la sequía infiriendo en su crecimiento (altura de la planta, hipocótilo, diámetro del tallo, conteo de nódulos, así como el ancho y altura de las hojas).

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. Antecedentes**

El cultivo del frijol se considera uno de los más antiguos. Algunos de los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica indican que se conocía hace algunos 5000 años antes

de Cristo. Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao.

Fue hasta hace no más de medio siglo que se estableció una base sólida de la taxonomía del *Phaseolus*. Taxonómicamente, el frijol corresponde a la especie del género *Phaseolus*. Su nombre completo es *Phaseolus vulgaris* L., asignada por Linneo en 1753, a la tribu Phaseoleae, subfamilia Papilionoideae, familia Leguminosae y al orden Rosales (Ulloa *et al.*, 2011).

## **2.2. Producción del frijol en México**

El frijol es producido en las 32 entidades del país, sin embargo, las que aportan el mayor volumen son Zacatecas, con el 35.9 por ciento de la producción nacional; Durango, 11.6 por ciento; Chihuahua, 9.5 por ciento; Sinaloa, 8.9 por ciento y Chiapas 5.5 por ciento, como se muestra en la figura 1. En conjunto, estos cinco estados generan el 71.4 por ciento de la producción de frijol en México, lo que equivale a 768 mil 334 toneladas.

En 2016, Zacatecas produjo 386 mil 861 toneladas; Durango, 124 mil 379 toneladas; Chihuahua, 101 mil 991 toneladas; Sinaloa, 95 mil 504 toneladas y Chiapas, 59 mil 599 toneladas. (SAGARPA, 2016).

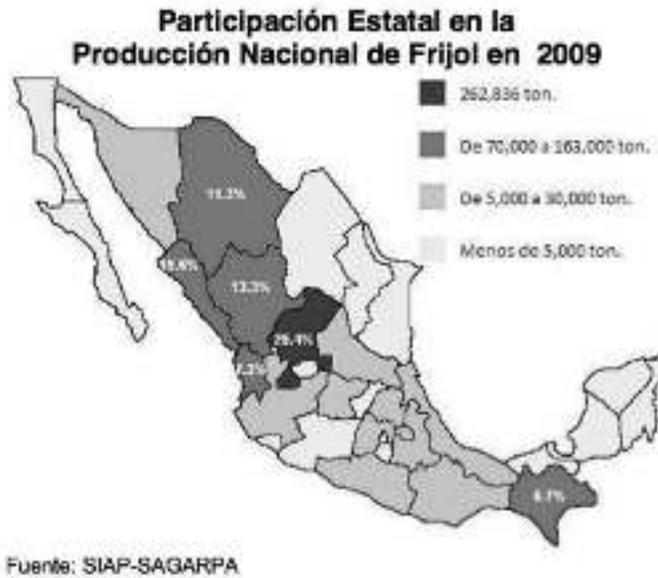


Figura 1. Principales estados de México productores de frijol

### 2.3. Clima y suelo

El cultivo necesita entre 300 a 400 mm de lluvia. La falta de agua durante las etapas de floración, formación y llenado de vainas afecta seriamente el rendimiento. El exceso de humedad afecta el desarrollo de la planta y favorece el ataque de gran número de enfermedades. Se recomienda que los suelos para el cultivo de frijol sean profundos, fértiles y preferiblemente de origen volcánico con no menos de 1.5% de materia orgánica en la capa arable y de textura liviana con no más de 40% de arcilla como los de textura franco, franco limoso y franco arcilloso ya que el buen drenaje y la aireación son fundamentales para un buen rendimiento de este cultivo.

Se debe evitar sembrar en suelos ácidos, con contenidos altos en manganeso y aluminio y bajos en elementos menores. El pH óptimo para frijol está comprendido entre 6.5 y 7.5 aunque es tolerante a pH entre 4.5 y 8.2. Los terrenos deben ser preferiblemente ondulados o ligeramente ondulados. San José, Costa Rica. 1991

Cuadro 1. Taxonomía del frijol (*Phaseolus vulgaris*)

<b>Taxonomía</b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Rosidae
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Subfamilia</b>	Faboideae
<b>Tribu</b>	Phaseoleae
<b>Subtribu</b>	Phaseolinae
<b>Genero</b>	<i>Phaseolus</i>
<b>Sección</b>	<i>Phaseolus</i>
<b>Especie</b>	<i>Phaseolus vulgaris</i>

#### **2.4. Clasificación taxonomía de la planta del frijol**

El frijol es una planta herbácea anual, erecta o trepadora, de tallo pubescente o glabrescente cuando adulta.

El estudio de la morfología de frijol, se hará en el siguiente orden: raíz, tallo, ramas y complejos axiliares, hojas, inflorescencia, flor, fruto y semilla. Daniel (2000).

#### **2.5. Descripción botánica**

##### **2.5.1 Raíz**

En la primera etapa de desarrollo el sistema radical está formado por la radícula del embrión la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria. A los pocos días de la emergencia de la radícula es posible ver las raíces secundarias, que se desarrollan especialmente en la parte superior o cuello de la raíz principal (Fig.2); se encuentran de 3 a 7 de estas raíces en disposición de corona y tienen un diámetro un poco menor que la raíz principal.

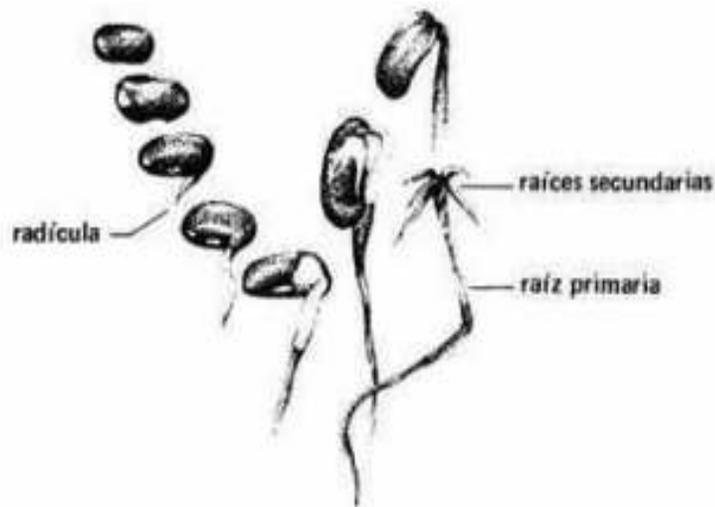


Figura 2. sistema inicial radical

Fuente: Hidalgo, G. (1993). Morfología de la planta de frijol común

### 2.5.2 Tallo

El tallo puede ser identificado como el eje central de la planta el cual está formado por una sucesión de nudos y entrenudos. Se origina del meristema apical del embrión de la semilla; desde la germinación y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristema tiene una fuerte dominancia apical y en su proceso de desarrollo genera nudos. Un nudo es el punto de inserción de las hojas (o de los cotiledones) en el tallo. Tiene generalmente un diámetro mayor que las ramas, puede ser erecto, semipostrado o postrado, según el hábito de crecimiento de la variedad; pero en general, el tallo tiende a ser vertical ya sea que el frijol crezca solo o con algún soporte.

### 2.5.3 Ramas y complejos axiliares

Las ramas se desarrollan a partir de un complejo de yemas localizado siempre en la axila de una hoja o en la inserción de los cotiledones. Este es el denominado complejo axilar que generalmente formado por tres yemas visibles desde el inicio de su desarrollo. Una rama en sus primeros estados de desarrollo se puede distinguir porque las estípulas de la primera hoja trifoliada de esa rama, cubren casi totalmente dicha estructura. Estas estípulas tienen forma triangular y aplanada; además son visibles los ápices de los folíolos de dicha hoja. De este

complejo axilar, además de ramas se pueden desarrollar otras estructuras como las inflorescencias; el predominio de ramas y/o inflorescencias depende del hábito de crecimiento y de la parte de la planta considerada. Estas tres yemas forman un complejo axilar llamado Triada (Fig. 3). Las yemas pueden tener tres tipos de desarrollo:

Caso 1: desarrollo completamente vegetativo.

Caso 2: desarrollo floral y vegetativo.

Caso 3: desarrollo completamente floral.

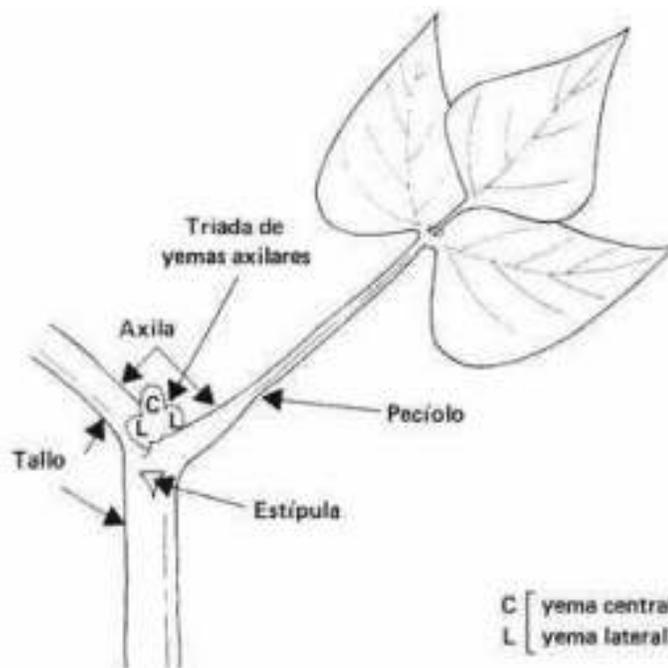


Figura 3. Localización esquemática de la triada de yemas

Fuente: Hidalgo. G. (1993). Morfología de la planta de frijol común

#### 2.5.4 Hojas

En la planta de frijol solo hay dos hojas simples: las primarias; aparecen en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogénesis. Son opuestas, cordiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acuminadas. Estas caen antes de que la planta esté

completamente desarrollada. Las estípulas son bífidas al nivel de las hojas primarias. Atilio et al. (2008).

### 2.5.5 Inflorescencia

Las inflorescencias pueden ser axilares o terminales. Desde el punto de vista botánico se consideran como racimos de racimos: es decir, un racimo principal compuesto de racimos secundarios, los cuales se originan de un complejo de tres yemas (tríada floral) que se encuentra en las axilas formadas por las brácteas primarias y la prolongación del raquis (Fig. 4). La inflorescencia tiene tres partes principales: el eje de la inflorescencia que se compone de pedúnculo y de raquis, las brácteas primarias y los botones florales. Antes de abrir las primeras flores, el pedúnculo de la inflorescencia se alarga rápidamente. El raquis es una sucesión de nudos. Los nudos se distinguen por que en ellos se localizan las brácteas primarias.

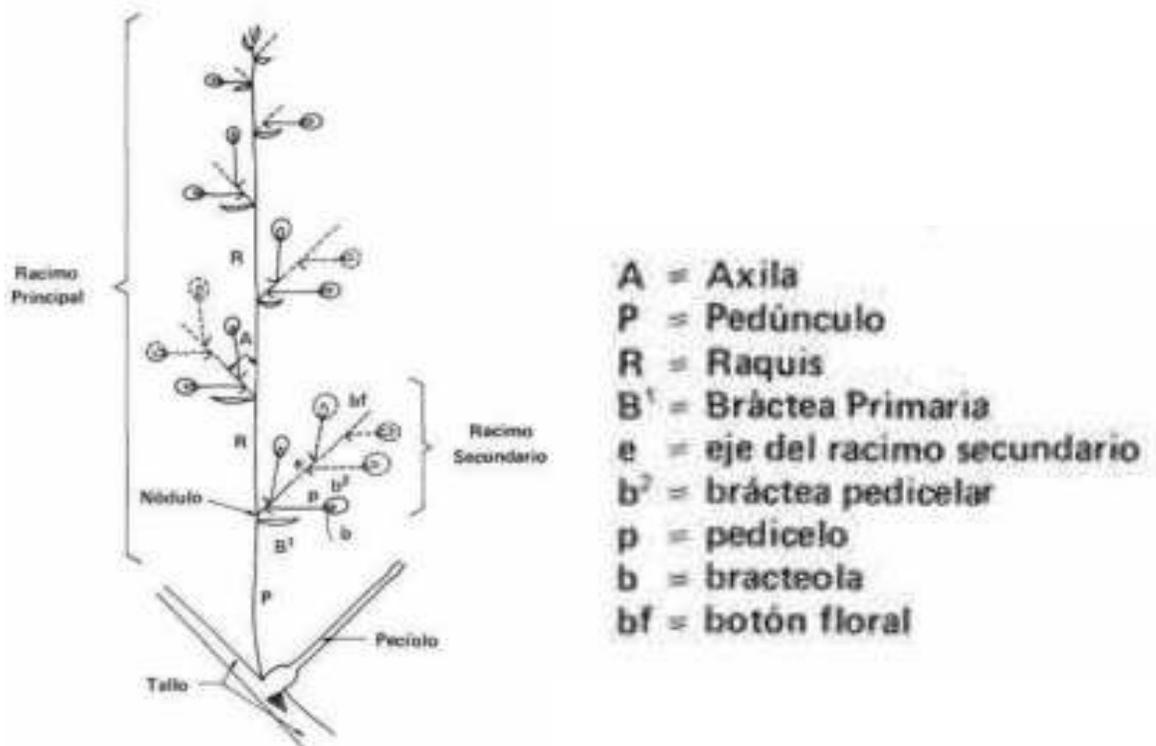


Figura 4. Desarrollo de una inflorescencia, (líneas punteadas desarrollo teórico)

Fuente: Hidalgo. G. (1993). Morfología de la planta de frijol común

### 2.5.6 Flor

La flor del frijol es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. El botón floral, bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila, en su estado inicial está envuelto por las bractéolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola que aún está cerrada sobresale y las bractéolas cubren sólo el cáliz. Fig. 5.

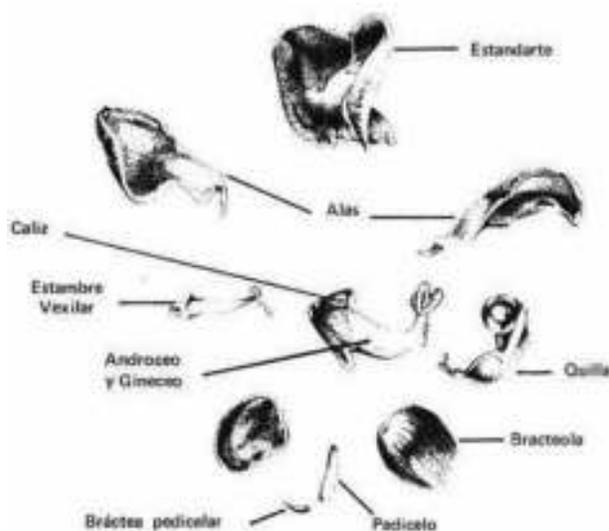


Figura 5. Componentes de la flor de la planta de frijol

Fuente: Hidalgo, G. (1993). Morfología de la planta de frijol común

### 2.5.7 Fruto

El fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Dos suturas aparecen en la unión de las dos valvas: una es la sutura dorsal, llamada placentar; la otra sutura se denomina sutura ventral. Fig. 6

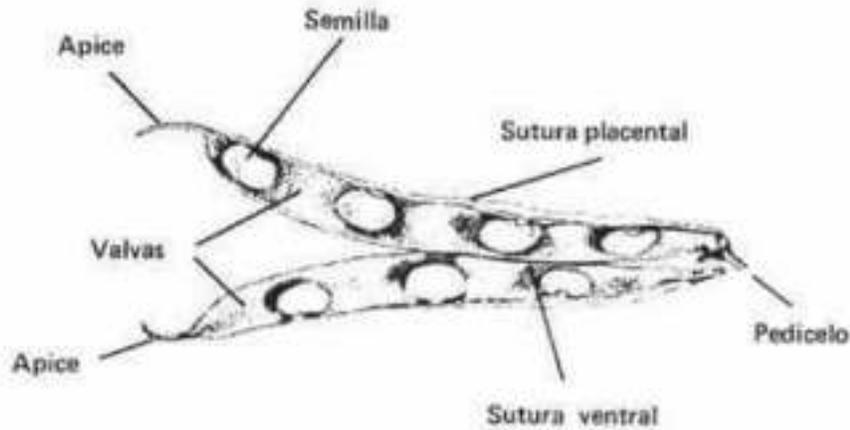


Figura 6. Fruto de la planta de frijol.

Fuente: Hidalgo, G. (1993). Morfología de la planta de frijol común

### 2.5.8 Semilla

La semilla es ex albuminosa es decir que no posee albumen, por lo tanto, las reservas nutritivas se concentran en los cotiledones. Se origina de un óvulo compilótropo que puede tener varias formas: cilíndrica, de riñón, esférica u otras.

## 2.6. ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA DEL FRIJOL

El cultivo del frijol se distribuye en 10 etapas de desarrollo, de las cuales cinco son para desarrollo vegetativo y cinco para desarrollo reproductivo (Figura 7), para desarrollo vegetativo están: Germinación (Vo), Emergencia (V1), Hojas primarias (V2), Primera hoja trifoliolada (V3) y Tercera hoja trifoliolada (V4); y en desarrollo reproductivo: Prefloración (R5), Floración (R6), Formación de vainas (R7), Llenado de vainas (R8) y Maduración (R9). (IICA-RED SICTA-COSUDE, 2009).

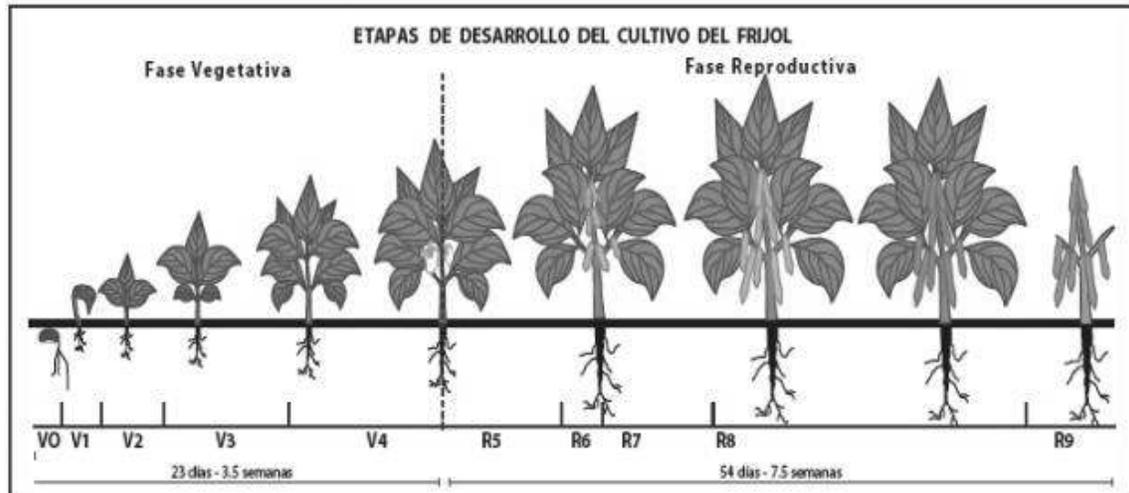


Figura 7. Etapas de desarrollo del frijol.

Fuente: Manual del cultivo de frijol en Bolivia. Instituto Boliviano de comercio exterior. (2013).

### 2.6.1. Fase vegetativa (V)

Esta fase comprende desde el inicio de la germinación hasta el momento de la diferenciación de los primordios florales.

La fase vegetativa se inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos en las variedades de crecimiento indeterminado y consta de las cinco etapas siguientes: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada, tercera hoja trifoliada.

### 2.6.2. Etapa v- 0 de germinación

La germinación es la reanudación del crecimiento del embrión. Se considera como inicio de la etapa V-0 (CIAT, 1982), el día en que la semilla tiene a su disposición suficiente humedad para embeberse y, consecuentemente, iniciar la germinación.

Entre el inicio de la germinación y la siguiente fase, que es la emergencia, la raíz crece hacia abajo. Por otro lado, el crecimiento de la plúmula hacia arriba, y especialmente el alargamiento (elongación) del hipocótilo, son responsables de que la plántula se abra paso a través del suelo hacia la superficie, emergiendo primero el gancho plumular (fig. 8) con la cual termina la etapa V-0.

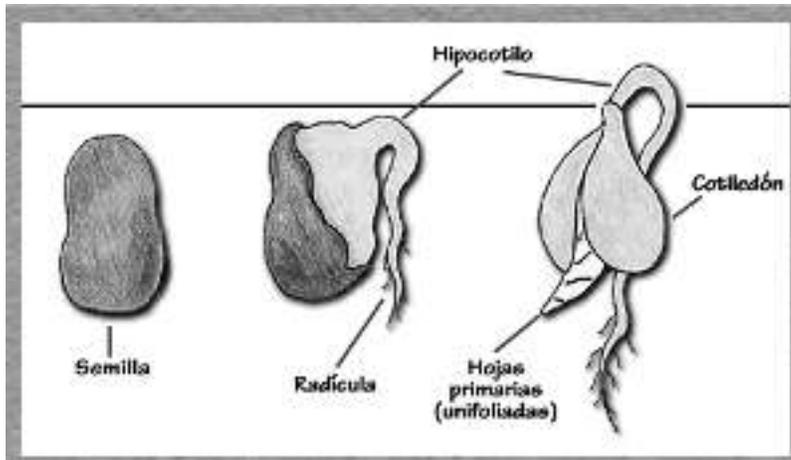


Figura 8. Desarrollo de la etapa de germinación

Fuente: Guía tecnológica, cultivo del frijol. Instituto de Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Segunda edición – Noviembre 2009.

### 2.6.3. Etapa V-1 de emergencia

Esta etapa se inicia cuando en el 50% de la población esperada en un cultivo, enseguida de que emerge el gancho plumular, los cotiledones aparecen al nivel del suelo, posteriormente se endereza el gancho plumular y los cotiledones pueden verse en posición horizontal en el nudo 1. El desarrollo de la planta prosigue con la elongación del tallo y la expansión y el proceso de despliegue de las hojas primarias. Las plantas que se encuentran en las condiciones descritas del desarrollo se consideran dentro de la etapa V-1 (fig. 9).

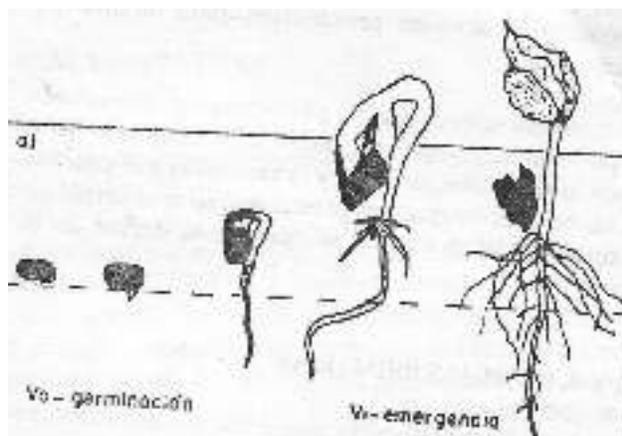


Figura 9. Desarrollo de la etapa de emergencia.

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993)

#### **2.6.4. Etapa V-2 de hojas primarias**

Esta etapa comienza cuando las hojas primarias, que son simples y están en posición opuesta en el nudo 2, están completamente desplegadas en el caso de una planta, o cuando esto ocurre en el 50% de las plantas de un cultivo. El desarrollo continúa con la expansión de las hojas primarias y de los folíolos de las hojas compuestas o trifoliadas, mismos que se encuentran plegados; su desarrollo posterior implica la continuación de su expansión, su separación y despliegue (fig. 10).

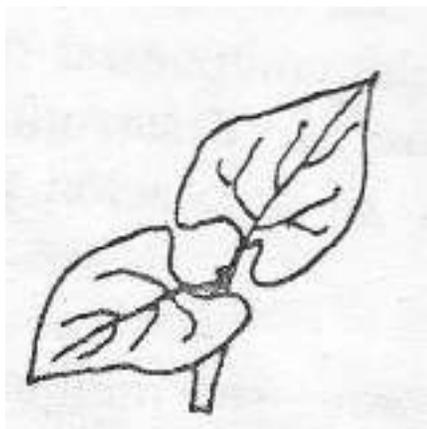


Figura 10. Hojas primarias

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993).

#### **2.6.5. Etapa V-3 de primera hoja trifoliolada**

Esta etapa inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliolada completamente abierta y ubicada en un plano. Es importante apuntar que normalmente, a las hojas compuestas se les conoce como trifoliadas, pero esta denominación es incorrecta, ya que indicaría “tres hojas” y trifolioladas, que es la denominación correcta, que indica tres folíolos (fig. 11).

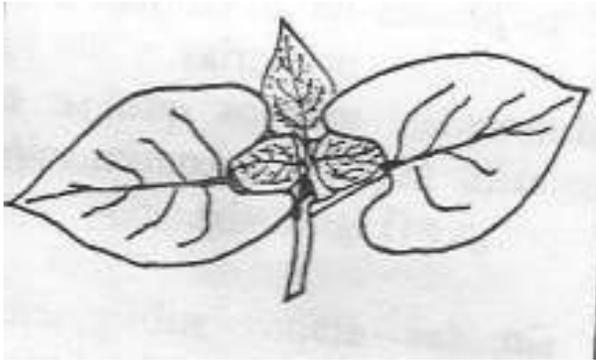


Figura 11. Primera hoja trifoliolada

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993)

#### **2.6.6. Etapa V-4 de tercera hoja trifoliolada**

Esta se inicia cuando la tercera hoja compuesta se encuentra completamente desplegada y los folíolos se localizan en solo plano. Esta etapa V-4, continua con la expansión de la tercera hoja trifoliolada y el crecimiento de las siguientes hojas compuestas, así como del tallo (fig. 12).

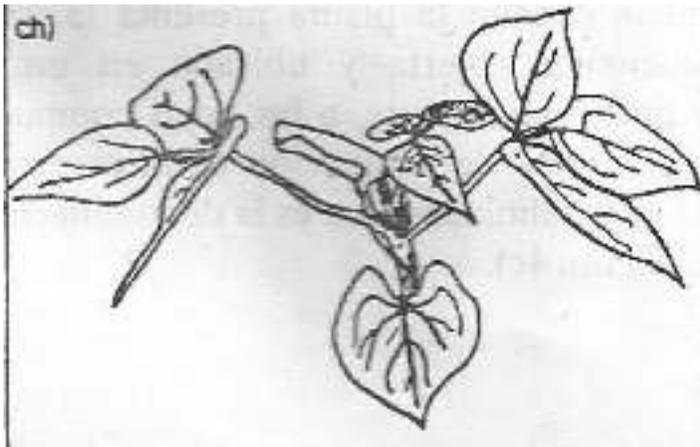


Figura 12. Tercera hoja trifoliolada

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993)

### **2.6.7. Fase reproductiva (R)**

Se inicia desde el momento de la diferenciación de las yemas florales, esta fase termina en el momento en que la semilla completa su desarrollo.

Desde el punto de vista fisiológica, es un proceso que consiste de una serie de eventos que, en las plantas que responden en su floración al fotoperiodo, se inicia probablemente en las hojas con la biosíntesis del estímulo floral, prosigue con el transporte de dicho estímulo, la síntesis de sustancias que son responsables de la iniciación de la floración y continúan con la iniciación morfológica de los primordios florales, y el desarrollo de las estructuras reproductivas, es decir botones tempranos, botones maduros y termina con la antesis.

En el frijol la antesis se caracteriza por que la estructura reproductiva presenta las alas y el estandarte expuesto (fig. 13). De acuerdo con la CIAT (1982), 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 reproductiva de la planta.

Las etapas que comprenden esta última fase, son: prefloración, floración, formación de vainas, llenado de las vainas y maduración.

#### **2.6.7.1. Etapa R-5 de prefloración**

Esta etapa se inicia con la aparición en las plantas del primer botón o el primer racimo.

#### **2.6.7.2. Etapa R-6 de floración**

Esta etapa inicia cuando la planta presenta la antesis de la primera flor (la primera flor abierta). Las flores permanecen frescas y turgentes y poseen la coloración característica de la especie, lo cual sucede solamente en el mismo día de la antesis. Al día siguiente se tornan flácidas y marchitas y cambian de color. Tres o cuatro días después de la antesis, la corola se marchita y puede estar colgando próxima desprenderse o puede haberse desprendido, dejando visible la vaina joven (fig. 13).

### 2.6.7.3. Etapa R-7 de forma de vainas

Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida. Esto sucede alrededor de tres o cuatro días después de la antesis (fig. 13).

La vaina es botánicamente un fruto seco y dehiscente llamado legumbre y es el resultado del desarrollo del ovario fertilizado. La vaina crece rápidamente en longitud, de tal manera que alrededor de dos o tres semanas alcanza su máxima longitud constituyendo este estado del fin de la etapa R-7. Sin embargo, este estado del desarrollo de la vaina, las semillas no son mayores que el tamaño de una lenteja y corresponde al estado de desarrollo en que las vainas se cosechan para ejote.

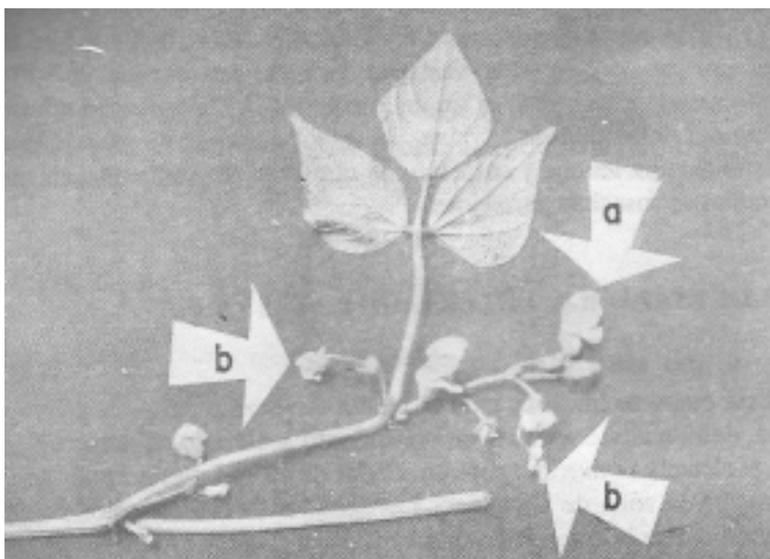


Figura 13. Hoja trifoliolada y racimo mostrando órganos en antesis (a) y vainas en formación (b).

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos.  
Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993)

### 2.6.7.4. Etapa R-8 de llenado de las vainas

Esta etapa se inicia cuando la planta empieza a llenar la primera vaina, debido a que se inicia un crecimiento acelerado de las semillas, la cual alcanza su máximo peso alrededor de 40 – 45 días después de la antesis en la zona de Chapingo. Las semillas tienen un color verde, pero

al final de la etapa R – 8 van adquiriendo el color característico de la variedad, es decir la testa empieza a pigmentarse. Asimismo, empieza la senescencia de las hojas, perdiendo el color verde y tornándose amarillas y finalmente ocurre la abscisión de los folíolos individuales.

#### **2.6.7.5. Etapa R-9 de maduración**

Esta etapa se caracteriza por la decoloración y el secado de las vainas. En un cultivo, el inicio de esta etapa se considera cuando la primera vaina inicia el proceso citado en el 50% de las plantas. Al final del ciclo la planta ha perdido todos los folíolos, quedando algunas veces el raquis unido a los tallos y las vainas unidas a la planta (fig. 14).



Figura 14. Etapa de maduración.

Fuente: El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. (1993)

#### **2.6.7.6. Secuencia de la floración**

El periodo de floración difiere con el hábito de crecimiento, la precocidad, etc. Este periodo se define como el lapso que media entre el inicio y el final de la floración. Se considera inicio de la floración cuando en una planta ocurre la antesis de la primera flor, o en una población, cuando el 50% de las plantas tiene cuando menos la primera flor. Se considera final de

floración cuando en una planta ocurre la antesis de la última flor, o en una población, cuando el 50% de las plantas tiene la última flor.

En las variedades de habito determinado, la floración progresa de la parte superior del tallo o de las ramas hacia abajo, y en las de habito indeterminado (tipos II, III y IV de CIAT), de abajo hacia arriba. En todos los casos, en una inflorescencia, la floración empieza en su base y prosigue hacia arriba (en sentido acrópeto).

La secuencia de la floración es importante, ya que los primeros botones y las primeras flores en el periodo de floración tienen una probabilidad más alta de transformarse en vainas maduras. Dicha probabilidad va disminuyendo conforme avanza el periodo de floración, con el aumento consiguiente de vainas que se caen por abscisión, especialmente aquellas menores de 3 cm de longitud. Asimismo, en una misma inflorescencia, los primeros botones y las primeras flores que se desarrollan son las de la base de la inflorescencia y tienen una alta probabilidad de transformarse en vainas normales en comparación con las situadas hacia el ápice.

### **3. OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar el efecto de diferentes periodos de sequía en el sistema radical de la planta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

#### **3.1. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Evaluar el efecto de distintos periodos de sequía en la formación de nódulos en las raíces de frijol.
- Estimar la acumulación y distribución de materia seca en raíz y vástago de la planta de frijol sometida a diferentes periodos de sequía en la etapa fenológica V4.

### **4. MATERIALES Y METODOS**

#### **4.1. Ubicación del trabajo**

El trabajo se desarrolló en los invernaderos de las instalaciones del colegio de postgraduados Campus Puebla ubicado en Boulevard Forjadores de Puebla 205, Santiago Momoxpan, 72760 San Pedro de Cholula, Pue.

#### **4.2. Método estadístico**

Se utilizó un diseño de tratamientos de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron dos, una con riego y otra con sequía y en las parcelas pequeñas se tuvieron los tratamientos 10, 15, 20, 25 y 30 días repetidos cada uno cuatro veces. Todos los muestreos de los tratamientos en las dos condiciones se llevaron a cabo al mismo tiempo, considerando la parcela bajo riego como testigo. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y la desviación estándar con el programa estadístico SAS para Windows Versión 9.0.

#### **4.3. Siembra**

Se utilizaron semillas de frijol Negrito CP, las cuales se sembraron en 80 macetas que contenían suelo nuevo hasta dejar una altura de 5 cm aproximadamente, posteriormente se regaron las macetas a saturación; se dejó toda una noche esto para que todo el suelo se humedeciera completamente, al día siguiente se sembraron todas las macetas colocando 3 semillas por maceta.

#### **4.4. Muestreo**

Las macetas se regaron de forma normal y una vez llegada la etapa vegetativa V4 (Figura 15) se sometieron a 10, 15, 20, 25 y 30 días de sequía considerando como testigos plantas regadas a capacidad de campo, la primera muestra se tomó a los 10 días y posteriormente cada 5 días se fueron tomando las demás hasta completar 30 días. Se cuantificó el número de nódulos totales, la cantidad formada en la parte superior, central e inferior de la raíz, el diámetro de los mismos y la tinción de nódulos; así como el vástago en donde se estimó el ancho y largo

de las hojas, longitud del hipocótilo, altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, peso seco de raíz y vástago.



Figura 15. Plantas de frijol en etapa V-4

#### **4.5. Cuantificación y morfología de nódulos**

Cada nódulo se midió con la ayuda de un vernier digital de la marca Mitutoyo Absolute, para la cuantificación de los nódulos la raíz se dividió en tres partes (superior, central e inferior) esto para indicar en que parte de la raíz se encuentra una cantidad mayor de nódulos, así como su distribución en toda la raíz; posteriormente los nódulos fueron observados a un microscopio estereoscópico para ver su morfología en cada tratamiento como se muestra en la figura 16.

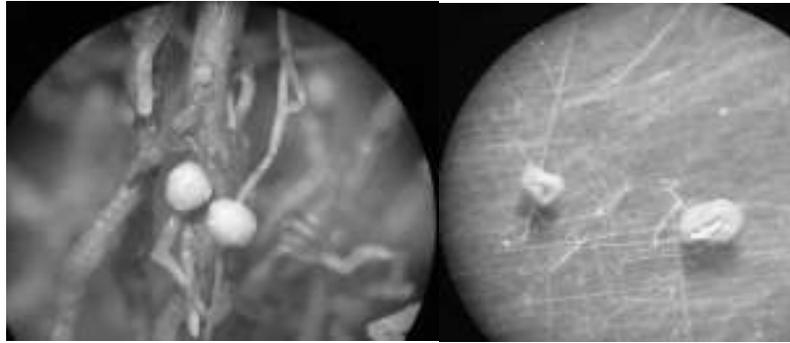


Figura 16. En la parte izquierda se observaron nódulos esféricos y mejor definidos para el testigo (riego) a los 25 días, mientras que en la parte derecha se observó una deshidratación de los nódulos, así como una deformidad en su tamaño para el tratamiento (sequia) a los 25 días.

#### 4.6. Tinción de nódulos

Los nódulos fueron teñidos con cloruro 2, 3, 5-Trifeniltetrazolio (para microbiología) preparando una solución al 1% para contabilizar los nódulos activos (teñidos) y no activos (sin teñir) en cada tratamiento, los nódulos se sumergieron con la sustancia por un periodo de 2 horas hasta observar la tinción de ellos, como se muestra en la imagen 17.



Figura 17. Tinción de nódulos a las 2 horas

#### 4.7. Cuantificación de las dimensiones de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

##### 4.7.1. Hojas

Se midió la longitud y ancho foliar de las hojas con la ayuda de una cinta métrica común de 150 cm.

#### **4.7.2. Altura de la planta**

La altura de la planta se midió utilizando un flexómetro de un metro.

#### **4.7.3. Tallo e hipocótilo**

Para la medición del diámetro del tallo y la altura del hipocótilo se utilizó un vernier digital de la marca Mitutoyo Absolute.

### **4.8. Peso seco**

#### **4.8.1. Peso del tejido de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Para el peso seco la planta se dividió en tallo – rama, raíz y hojas, cada órgano se colocó dentro de bolsas de papel, las cuales se colocaron en una estufa marca Thermo scientific modelo JEC-41 a una temperatura de 75°C por 3 días; obtenido esto se prosiguió a pesar cada muestra en una balanza analítica marca Ohaus con capacidad de 2610 g, obteniendo así su peso final.

## **5. Resultados y discusiones**

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos de la varianza realizada a las variables altura de planta (Altplan), ancho y largo de hoja (HoAncho y HoLargo), numero de hojas (Nuhojas) y diámetro del tallo (DiaTallo). Donde se observa que fue altamente significativo para la condición riego y sequía, tratamiento (Tra) y la interacción condición\*tratamiento para las variables mencionadas, a excepción del largo de hoja para tratamiento que no fue

significativa y en el caso de la condición y la interacción fue solamente significativa. Es posible inferir que la sequía afecta la mayoría de las variables, sin embargo puede haber algunos órganos y dimensiones menos sensibles como ocurrió en lo largo de la hoja de frijol.

Cuadro 2. Análisis de varianza de las dimensiones en distintos órganos del vástago de frijol.

Fuente	Altplan	HoAncho	HoLargo	Nuhojas	DiaTallo
Condición: riego/sequia	48004.1 **	15.50 **	11.130 *	8122.5**	0.026**
Tratamiento	2949.11 **	4.315 **	2.3810	688.52 **	0.283**
Condición*tratamiento	3437.09 **	6.52087**	5.3727*	925.50 **	0.0066**
CV	24.40013	15.49849	12.60248	15.18615	15.08911

En la figura 18 se presenta el efecto de los tratamientos sobre la altura de la planta, donde los resultados mostraron que hubo diferencias significativas entre tratamientos y condición (riego y sequía), obteniendo alturas máximas de 171 cm en riego y 75 cm en sequía, a los 30 días se obtuvo una diferencia de 105 cm en sequía, además se observa que la planta que estuvo en constante riego su crecimiento fue en aumento mientras que la de sequía su crecimiento fue descendiendo a partir del día 15, mostrando una afectación significativa en el día 30. Por lo que queda claro que las plantas que fueron cultivadas con riego, fueron más eficientes que las que lo hicieron en sequía. Un comportamiento similar fue reportado por Godoy y Huitron (1995) al observar diferencias significativas en cuanto a la altura de este cultivo, cultivadas a diferentes niveles de humedad del suelo en campo.

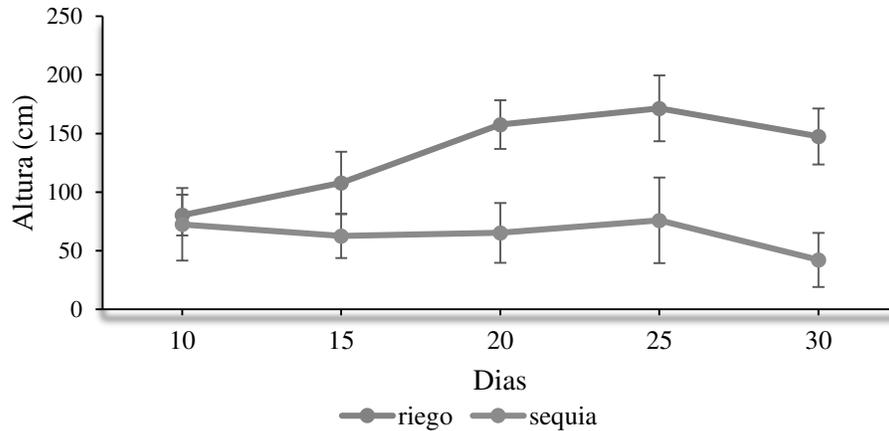


Figura 18. Altura de la planta de frijol en diferentes tratamientos bajo sequía y riego.

En la Figura 19 se presentan las dimensiones ancho y largo de las hojas de frijol tanto en riego (R) como en sequía (S). En el ancho de las hojas hay diferencia significativa en cada condición, el número máximo para riego fue de 7.15 cm mientras que para sequía fue de 6.42 cm, en el tratamiento donde se vio más afectada fue en el día 30, con diferencia entre ellos de 4.2 cm. Para el largo de hoja en los días donde se vio más afectado en sequia fue en el segundo y último tratamiento con diferencia de 2.8 y 2.4 cm respectivamente. Entre estas dos dimensiones de la hoja se observó una tendencia de mayor sensibilidad en la longitud, se observó que la hoja empezó primero a doblarse hacia dentro como respuesta al estrés hídrico con la finalidad de perder menos agua, posteriormente la misma respuesta se detectó en el ápice de la hoja.

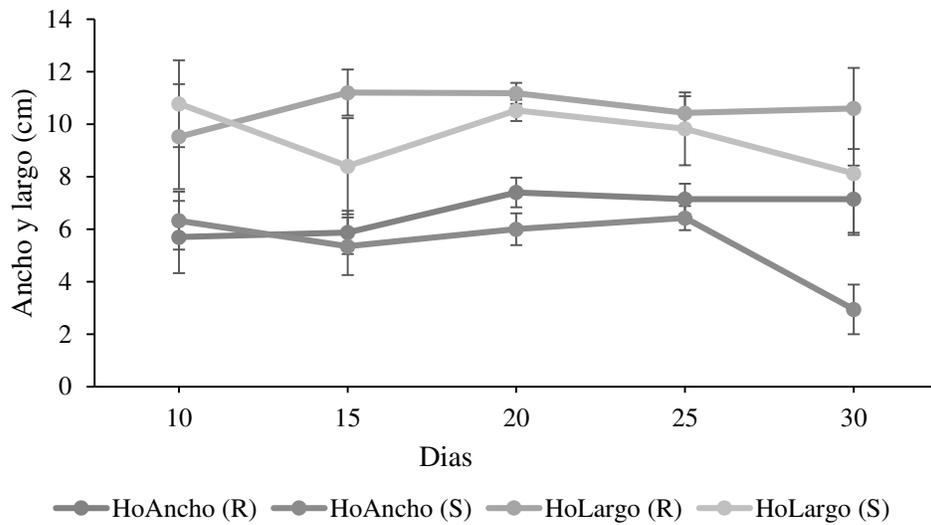


Figura 19. Ancho y largo de las hojas de la planta de frijol en riego (R) y sequía (S).

En la figura 20 se muestra el comportamiento de la superficie foliar del cultivo del frijol, donde se pudo observar que esta variable estuvo relacionada gradualmente con disponibilidad de agua, resultando mejor el tratamiento con riego donde se obtuvo un número de hojas máximas en el día 25 con un número de 75.5, mientras que en sequía el número de hojas se mantuvo similar a partir del día 10 hasta el 25 descendiendo en el día 30, se observa que en el penúltimo tratamiento hay una gran diferencia entre el número de hojas entre sequía y riego, teniendo una diferencia de 51 hojas. Un déficit hídrico prolongado da origen a un menor número de hojas y a la reducción de su tamaño, este inhibe la expansión foliar, estudios detallados sobre las relaciones entre el agua disponible para las plantas y la superficie foliar, han demostrado que el déficit hídrico por sequía afecta el número de hojas, su crecimiento y desarrollo al verse afectada la superficie foto sintetizadora (Bruce *et al.*, 2002).

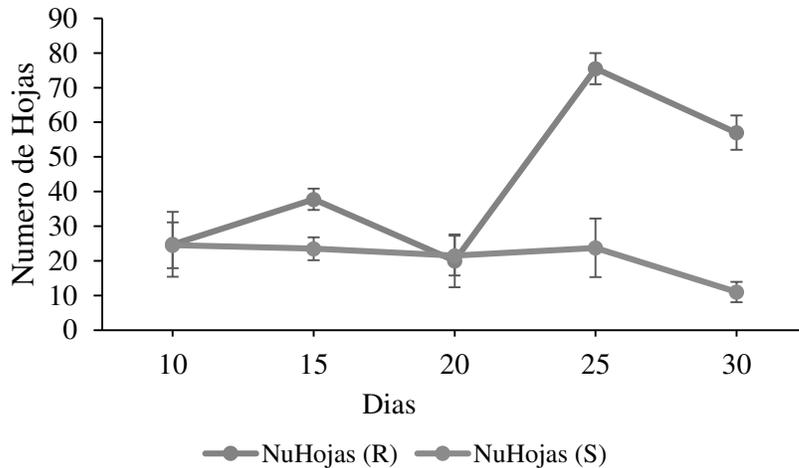


Figura 20. Número de hojas totales en la planta de frijol en riego (R) y sequía (S).

La Figura 21 se muestra el efecto de los tratamientos sobre el diámetro del tallo en la planta de frijol, de forma general esta variable se ve afectada por la sequía, evidenciando resultados favorecidos para las plantas que recibieron suministro de agua obteniendo un mayor diámetro. A los 20 días se registró un mayor diámetro de 0.47 cm en riego, mientras que en sequia el mayor diámetro fue de 0.36 cm. Siendo el tratamiento a los 20 días el más afectado con una diferencia de 0.14 cm entre ambas condiciones. Este comportamiento se debe entre otras cosas a que el crecimiento del diámetro esta dado necesariamente por la división celular que se ve afectado por la baja disponibilidad hídrica (de Santa, 2005).

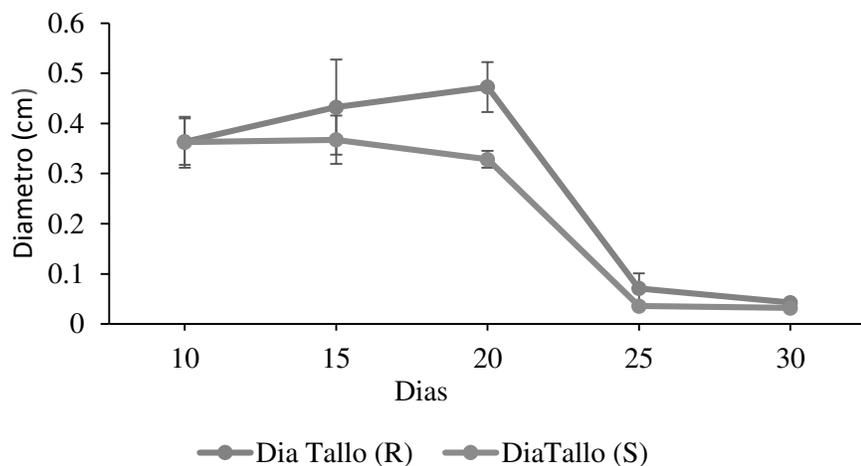


Figura 21. Diámetro del tallo de la planta de frijol en riego (R) y sequía (S).

En el cuadro 3 presenta el análisis de varianza de las variables relacionadas con el sistema radical y el hipocótilo, entre las cuales se tiene el diámetro de los nódulos de la parte superior (DiaNodsup) de la raíz, la parte central (DiaNodcen) y la parte inferior (DiaNodinfe) así como la longitud del hipocótilo (LonHipo). Se observaron valores altamente significativos para el diámetro de nódulos formados en la región superior para la condición riego/sequía, tratamiento y la interacción condición\*tratamiento, mientras que para el diámetro central solo fue altamente significativo para la condición y en la interacción condición\*tratamiento. El diámetro inferior fue altamente significativo para la condición y tratamiento, en longitud del hipocótilo solo se observó significancia para condición riego/sequía.

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables longitud de hipocótilo (LonHipo), diámetro de nódulos superior, central e inferior (DiaNodsup, DiaNodcen, DiaNodinfe).

Fuente	LonHipo	DiaNodsup	DiaNodcen	DiaNodinfe
Condición: riego/sequia	4.166*	0.0092**	0.01436**	0.00930**
Tratamiento	1.65	0.0023**	0.0012	0.003881**
Condición*tratamiento	2.28	0.0028**	0.0021**	0.0018525
CV	33.44	24.03606	26.70399	36.81691

En la figura 22. Se muestra el efecto de los tratamientos con respecto a la longitud del hipocótilo para riego (R) y sequía (S), donde se observó que en ambas condiciones no presenta una alta significancia en tratamiento y la interacción condición\*tratamiento, pero si se muestra una diferencia entre las dos condiciones: sequía y riego, el valor máximo de longitud para riego fue de 4.05 cm mientras que en sequía fue de 3.8 cm a los 10 días, el tratamiento en donde se presentó una gran diferencia entre las dos condiciones fue en el día 30 con una diferencia de 1.83 cm.

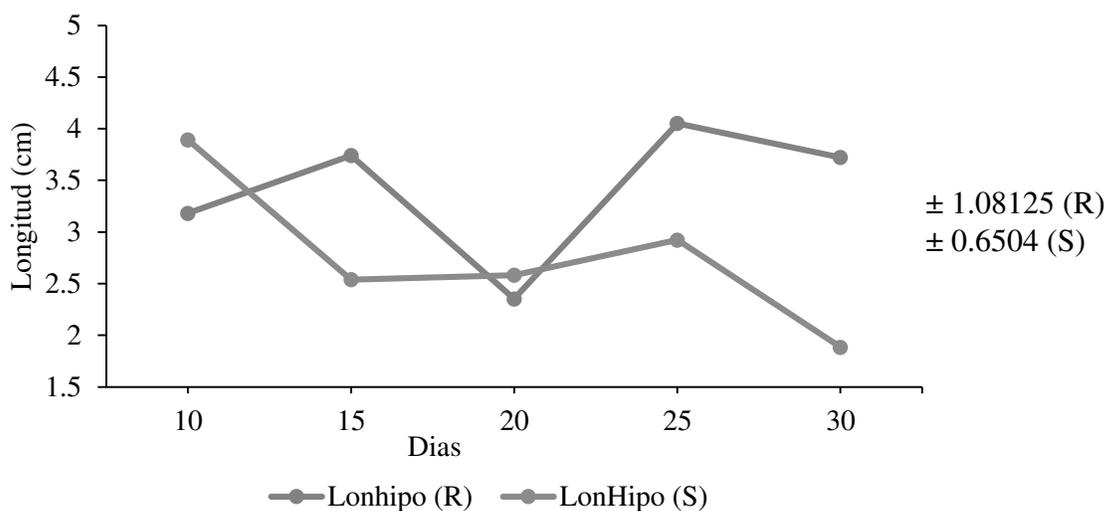


Figura 22. Longitud de hipocótilo en riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol.

En la figura 23 se muestra el efecto de los tratamientos con respecto a los diámetros de los nódulos de la región superior de la raíz, central e inferior para riego (R) y sequía (S). En el tratamiento de riego, el diámetro de los nódulos fue mayor en el área superior a comparación de las otras dos áreas (central e inferior), se obtuvo un valor máximo de 0.53 cm bajo riego, para el tratamiento en sequia el valor máximo fue de 0.37 cm presentándose el valor máximo en la parte superior de la raíz, se presenta una gran diferencia en el tamaño de los nódulos para cada tratamiento entre riego (R) y sequia (S) presentando un mayor diámetro en riego, en sequia los nódulos son más pequeños a los 30 días registrando un diámetro de 0.30 cm. Un estrés severo de sequía induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como, disminución de la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de intercambio

gaseoso, pérdida de turgencia y síntesis de algunos metabolitos secundarios. (Mailén y Alexander, 2002).

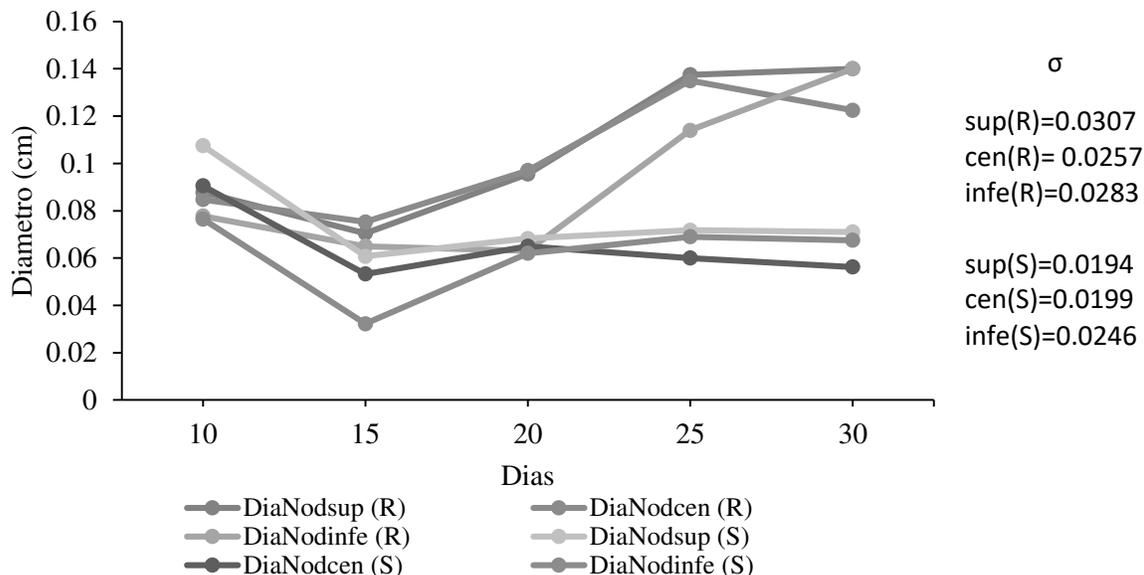


Figura 23. Diámetro de nódulos en la parte superior, central e inferior para riego (R) y sequia (S) para la planta de frijol.

En el cuadro 4 Se presenta el análisis de varianza de las variables en número de nódulos superior de la raíz, central e inferior (NuNodsup, NuNodcen, NuNodinfe) y el número total de nódulos (NuToNod), en donde se observaron valores altamente significativos para el número de nódulos en la parte superior en la condición riego/sequia, mientras que en la parte central tuvo valores altamente significativos en condición riego/sequía y una significancia en tratamiento e interacción condición\*tratamiento, para el número inferior de nódulos se presentó un valor altamente significativo en condición riego/sequía y una significancia en la interacción condición\*tratamiento. En el número total de nódulos fue altamente significativo para todos los rubros (condición riego/sequia, tratamiento e interacción condición\*tratamiento).

Cuadro 4. Análisis de varianza para las variables de número de nódulos superior, central e inferior (NuNodsup, NuNodcen, NuNodinfe) y número total de nódulos (NuToNod).

Fuente	NuNodsup	NuNodcen	NuNodinfe	NuToNod
Condición: riego/sequia	2839.2250**	3802.5000**	1102.500000**	13032.10000**
Tratamiento	297.462500	323.912500*	159.475000	781.22500**
Condición*tratamiento	214.037500	381.187500*	225.125000*	1055.22500**
CV	58.22341	66.55995	92.50830	35.57611

En la Figura 24 se muestran los diferentes tratamientos con respecto al número de nódulos de la región superior de la raíz (NuNodsup), central (NuNodcen) e inferior (NuNodinfe) para riego y sequía, mostrando mayor cantidad de nódulos en la parte superior de la raíz con un valor máximo de 33 nódulos bajo riego, de igual forma en sequía se observó una cantidad mayor de nódulos en la parte superior con un valor máximo de 12 nódulos a los 25 días. Siendo el tratamiento más afectado a los 30 días en sequía con una diferencia de 30 nódulos en la parte superior. En la parte central se registró una diferencia de 33 nódulos en el tratamiento de 25 días y en la parte inferior con una diferencia de 23 nódulos en el tratamiento 25. Adicionalmente, la sequía afectó el tamaño de los nódulos nuevos, su forma y color, como resultado de la deshidratación.

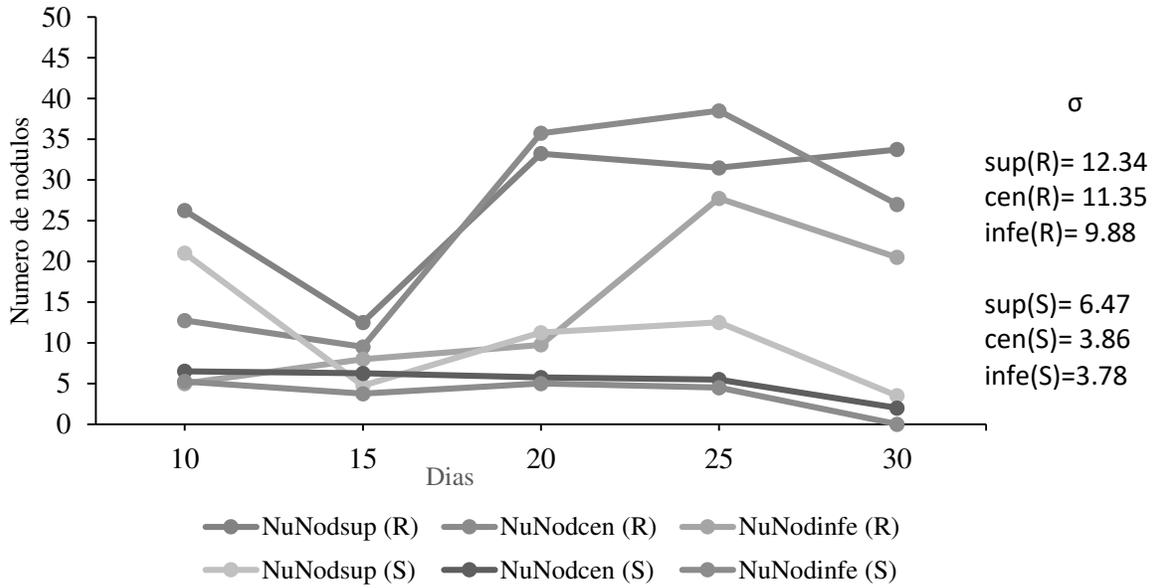


Figura 24. Número de nódulos en la parte superior, central e inferior para la planta de frijol en riego (R) y sequía (S).

En la Figura 25 se muestra el número total de nódulos distribuidos en toda la raíz, a simple vista se logró observar que el mejor tratamiento fue para riego, los nódulos iban en crecimiento mientras pasaban los días y para sequia los nódulos iban descendiendo desde el día 15, se presentó un valor máximo de 77 nódulos en riego a los 25 días y un valor máximo de 32 nódulos en sequía a los 10 días. El tratamiento donde se observó una diferencia fue en el día 30 con una diferencia de 62 nódulos, siendo el tratamiento 30 el más afectado.

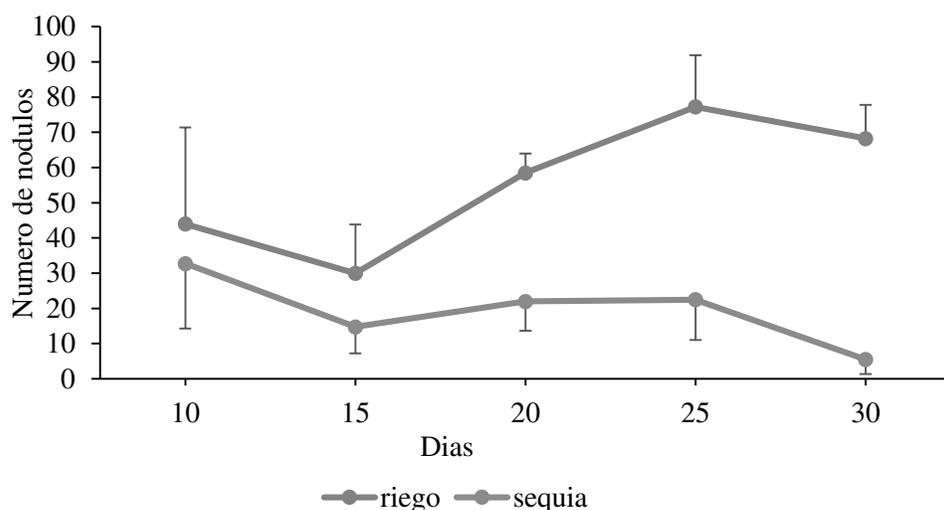


Figura 25. Número de nódulos totales en riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol.

En el Cuadro 5 se presenta el análisis de varianza de las variables peso fresco y peso seco de raíz y vástago (PesoFresraiz y PesoFresvas), donde se observó una alta significancia en peso fresco en raíz para tratamiento y una significancia en la condición riego/sequía, para peso seco de raíz se observó una alta significancia en condición riego/sequía y tratamiento y una significancia en la interacción condición\*tratamiento. En peso fresco de vástago fue altamente significativa para la condición riego/sequia, tratamiento e interacción condición\*tratamiento, de igual forma fue altamente significativo en peso seco de vástago para la condición, tratamiento e interacción condición\*tratamiento.

Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables de peso fresco y peso seco en raíz y vástago para riego (R) y sequia (S).

Fuente	PesoFresraiz	Pesoseraiz	PesoFresvas	Pesosevas
Condición: riego/sequia	2.88906250*	0.3027600**	5423.775210**	161.8855225**
Tratamiento	4.5520787**	0.4047587**	1334.215215**	29.3285312**
Condición*tratamiento	0.6480812	0.08727875*	881.251485**	26.0048412**
CV	55.57763	30.96377	27.74308	11.04805

El peso fresco y seco de la raíz se presenta en la Figura 26, donde se observa que los efectos negativos iniciaron a los 20 días con sequía, posteriormente se obtuvo una diferencia altamente significativa en materia seca a los 25 y 30 días en el caso de peso fresco en riego y sequía, mientras que en el caso de peso seco se mostró diferencia altamente significativa a los 25 días para riego y sequía. Este resultado concuerda con estudios realizados por Hayward y Supurr (1943); Madueño *et al.* (2006); y Guzmán (2010) quienes registraron que el efecto del estrés hídrico inhibe la actividad meristemática y como consecuencia la elongación y volumen de las raíces.

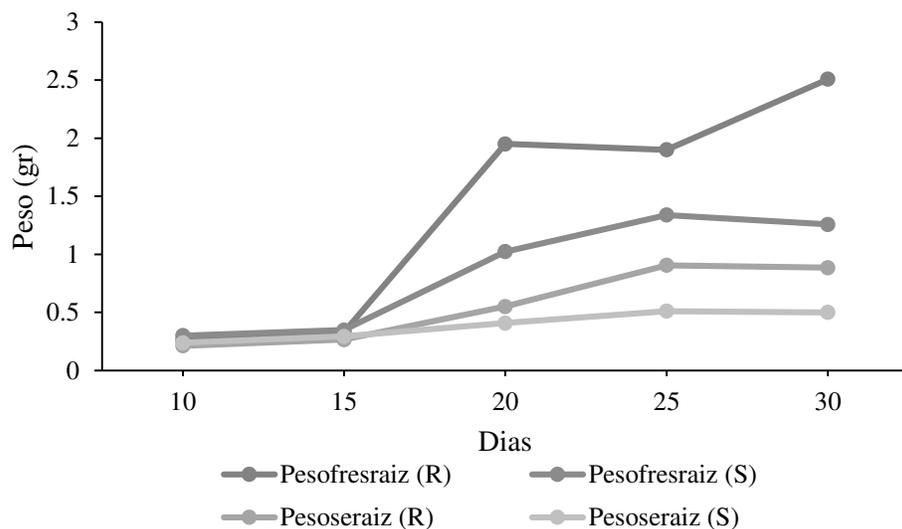


Figura 26. Peso fresco (Pesofresraiz) y peso seco (Pesoseraiz) en raíz para riego (R) y sequía (S) para la planta de frijol.

En la Figura 27 se muestra el peso seco y peso fresco del vástago, donde se observa que en el tratamiento de 25 días para riego se obtuvo un peso máximo de 52.41 g mientras que para sequía fue de 12.62 g. Para peso seco en riego se obtuvo una diferencia máxima en materia seca a los 25 días de 10.6 g en riego y 2.8 en sequía. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Kramer (1983); Loggini *et al.* (1999); Ludlow (1989) y Kohashi *et al.* (2002), quienes llegan a la conclusión de que el estrés hídrico induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como: disminución de la tasa de crecimiento

en el vástago y hojas. Por lo tanto, estas alteraciones son ocasionadas por el impacto que se tiene en la morfología y fisiología de las plantas, que van a depender del grado de tolerancia de los tejidos a la deshidratación, principalmente en las hojas por la superficie fotosintética y en la capacidad de acumular solutos de esta manera se mantiene el contenido de agua necesaria para no verse afectada en cuanto a mecanismos de crecimiento.

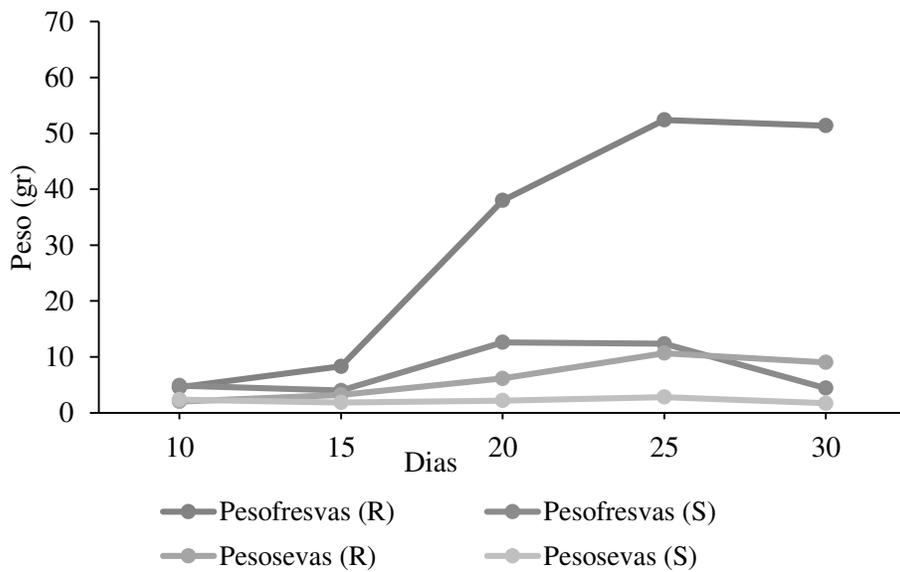


Figura 27. Peso fresco (Pesofresvas) y peso seco (Pesosevas) en vástago para riego (R) y sequía (S) en la planta de frijol.

## **6. Conclusiones**

La formación de nódulos en las raíces de frijol fue afectada por los diferentes periodos de sequía a los que fueron sometidas las plantas. La formación de nódulos fue afectada con mayor intensidad en la parte inferior. En general los nódulos mostraron deshidratación, deformación y cambio de color. A los 30 días la cantidad de nódulos fue más afectada formándose 5 nódulos en sequía y en riego 68. De igual manera el diámetro de los nódulos fue afectada por la sequía, registrando diámetros de 0.03 cm y bajo riego de 0.08 cm.

La cantidad de materia seca acumulada en raíz y vástago disminuyó con la sequía, siendo más acentuada a partir de los 20 días. La mayor parte de los órganos de la planta se vieron afectadas con más intensidad a los 25 días. Las hojas fueron las más dañadas seguidas del tallo, sin embargo fueron los órganos donde se distribuyó mayor cantidad de materia seca. En el vástago se registró mayor cantidad de materia seca que en la raíz.

Las características morfológicas presentaron también efectos negativos, tales como la altura de planta, largo y ancho de las hojas, así como el número de hojas y diámetro del tallo. Entre los cuales, los que sufrieron menos afectación fueron el diámetro del tallo y la longitud de las hojas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- A. Madueño, J.D. García, J. Martínez y C. Rubio, "Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* L. con diferentes potenciales osmóticos", *Terra Latinoamericana*, 2006, 24(2): 187-192.
- Acosta-Gallegos, J.A., E. Acosta-Díaz, S. Padilla-Ramírez, E. López-Salinas, R.A. Salinas Pérez, N. Mayek Pérez y J.D. Kelly. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 41: 151-152.
- Alberto Escalante, Josue Kohashi. (1993). El rendimiento y crecimiento del frijol, Manual para toma de datos. Centro de Botánica Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México.
- Andrade Aguilar, J. 1986. Cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.-) en Aguascalientes, México: Situación actual y comparación del plasma germinal 1940-1984. Tesis de Maestría en Ciencias, C.P. (Consejero: E. Hernández Xolocotzi; Asesor: J. Kohashi-Shibata). 253 pags.
- Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1991.
- Atilio Cabrera, Reyes castillo. (2008). Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- B. Loggini, A. Scartazza, E. Brugnoli y F. Navari, "Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought", *Plant Physiology*, 1999, 119: 1091-1099.
- Bray, E. A. 2002. Classification of genes differentially expressed during water deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data, *Ann. Bot.* 89:803-811
- Daniel G. debouk & Rigoberto Hidalgo. Morfología de la planta de frijol común.
- G. Guzmán, " Evaluación bajo condiciones controladas de estrés hídrico las diferencias fenotípicas del crecimiento y desarrollo de raíces de genotipos promisorios de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.)", Centro Experimental Campos Azules. Instituto de Nicaragua de Tecnología Agropecuaria, 2010.
- Guía tecnológica, cultivo del frijol. Instituto de Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Segunda edición – Noviembre 2009.
- H.E. Hayward y W.B. Supurr, "Effect of osmotic concentration of substrate on the entry of water into corn roots", *Botanical Gazette*, 1943, 105: 162-174.
- Hsiao, C. y Bradford, F. (1983) Physiological consequences of cellular water deficit en: *Limitations to efficient water use in crop production*. Londres. Howward. M. Taylor. 265 p.

IICA-RED SICTA-COSUDE, 2009, Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua.

J.P. Kramer, "Water relations of plants", USA. Academic Press Inc., CA, 1983.

José Armando, U., & José Carmen Ramírez, R. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fotoquímicos. Centro de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit.

Lazcano-Ferrat, I. and Lovatt, C. J. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Sci.* 39:467-475.

Lépiz I. R. 2000. Simposio: contribución de la fitopatología al mejoramiento de los cultivos agrícolas. El caso del frijol. *Rev. Mex. Fitopatol.* 17:54-72.

M.M. Ludlow, "Strategies in response to water stress", in: H.K. Kreeb, H. Ritcher and T.M. Hickley (eds.), *Structural and functional response to environmental stresses: Water shortage*, The Hague, The Netherlands, Academic Press, 1989, pp. 269-281.

Mailén García Corría & Alexander Espinosa Aguilar. 2002 Efecto de la sequía en el rendimiento del cultivo del frijol. Universidad de Granma. Filial Universitaria Municipal de Guisa.

Martín de Santa Olalla, M.F., P.L. Fuster, y A.C. Belmonte. 2005. Agua y agronomía. Universidad de Castilla- La Mancha. Eds. Mundi Prensa. España.

O'Connell, M. A. 1995. The role of drought-responsive genes in drought resistance, *Ag. Biotechnol. News Inform.* 7:143N-147N.

Royo, I.M.; Beebe S.; Ricaurte J., Terán H., Gracia R., Jara C., and Mahuku., (2000). Bean improvement for sustainable productivity, input use efficiency, and poverty alleviation. En Annie L. Jones (Ed.). *CIAT Annual Report 2001 Project IP-1*. CIAT, Cali. Colombia. 188p. (Working doc. No.189).

S. Kohashi, T. Galván, E. García, J. Yáñez, V. Martínez y P. Ruíz, "Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agric. Téc. Méx.*, 2002, 28(1): 65-75.

Santa Olalla F; Juan, V. J. (1993.) Análisis de crecimiento de la soja (*Glycine max* (L) marr) sometida a diferentes tratamientos hídricos. *Producción vegetal*, 89 (3): 145: 166.

Trejo-Calzada, R. and O'Connell, M. A. 2005. Genetic diversity of drought-responsive genes in populations of the desert forage *Dactylis glomerata*, *Plant Sci.* 168:1327-1335.

Turkan, I.; Bor, M.; zdemir, F, O" and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.* 168:223-231.

Van Bruggen, A. H. C.; Whalen, C. H. and Arneson, P. A. 1986. Emergence, growth, and development of dry bean seedlings in response to temperature, soil moisture, and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 76:568-572.

Van Schoonhoven, A. y O. Voyset. 1989. Common bean in Latin America and their constraints. pp. 33-57. In: Schwartz, H.F. y M.A. Pastor-Corrales (eds.). *Bean production problems in tropics*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Calí, Colombia.

Verslues, P. E.; Katiyar-Agarwal, S.; Zhu, J.; and Zhu, J -K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J.* 45:523-539.