

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**



**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL  
EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN HIDROPONÍA**

**Por:**

**JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ SALINAS**

**TESIS:**

**Presentada como requisito parcial**

**Para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

**Torreón, Coahuila, México.**

**Diciembre de 2013.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO  
(*Phaseolus vulgaris* L.) EN HIDROPONÍA

POR:

JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ SALINAS

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

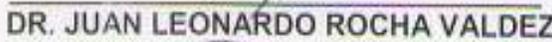
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. PABLO PRECIADO RANGEL

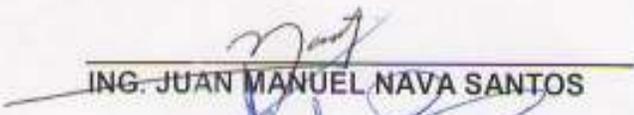
ASESOR:

  
DR. JUAN LEONARDO ROCHA VALDEZ

ASESOR:

  
M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

VOCAL:

  
ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ SALINAS QUE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR. COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

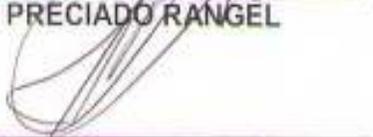
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
DR. PABLO PRECIADO RANGEL

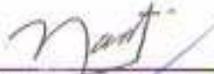
VOCAL:

  
DR. JUAN LEONARDO ROCHA VALDEZ

VOCAL:

  
M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

VOCAL:

  
ING. JUAN MANUEL NAVA SANTOS

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2013.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Pablo Preciado Rangel le agradezco el apoyo brindado, por su dedicación, paciencia, al a verme transmitido los conocimientos teóricos y básico para realizar el presente trabajo.

Al Ing. Juan Manuel Nava Santos por su completa disposición al iniciar este proyecto.

Al ME. Víctor Martínez Cueto le agradezco el tiempo dedicado para la revisión del presente trabajo a pesar de su ocupación, que desempeña a su cargo en el departamento de Horticultura.

A mi ALMA TERRA MATER por las facilidades otorgadas durante mi estancia y formación profesional y la elaboración de este valioso proyecto, así también agradezco a todos los profesores que formaron parte de mi formación como un profesionalista.

## **DEDICATORIAS**

Primeramente a DIOS por a verme dado la vida a este mundo maravilloso, por estar siempre con migo, por ser mi guía y darme fuerzas en los momentos mas crítico de mi vida y bueno momentos que me a enseñado en el transcurso del tiempo, y el espacio para terminar este grandioso trabajo.

### **A MIS PADRES**

Sr. José Luis Rodríguez Clavel y Sra. Josefa Salinas Noyola por a verme dado la oportunidad de vivir, por su confianza que me tienen sobre todo el esfuerzo y apoyo incondicional que siempre están a mi lado; de lo mejor que me han sabido sacar adelante a pesar de las condiciones que hemos pasado, ya que a ustedes les debo la vida, todo este esfuerzo y dedicación que le he dedicado ha este presente trabajo ha sido para ustedes con todo mi cariño ya que sin ustedes no seria el profesionista que ahora soy.

### **A MIS HERMANOS**

Por todos los momentos buenos y malos que la vida nos ha regalado y hemos compartido juntos, por su confianza y motivación de que siga adelante que siempre me han brindado durante mi formación, muchas gracias hermana(os).

Maritza Rodríguez Salinas

Juan Carlos Rodríguez Salinas

Jorge Luis Rodríguez Salinas

### **A MIS SOBRINOS**

Por el cariño que siempre me han tenido y les e tenido, les dedico este triunfo y ejemplo a seguir para que también ellos cumplan sus objetivos al igual que yo, ser un profesionista.

### **A MIS ABUELOS PTERNOS**

Sr. José Rodríguez Calleja y Sra. Porfiria Clavel López<sup>†</sup> (Descansé en paz) por darme su amor y la oportunidad de estar viviendo a su lado, por sus consejos valiosos que son fundamentales para mi formación profesional.

### **A MIS TÍOS(AS)**

Por sus apoyos a quiénes agradezco su confianza que me han brindado en toda este proceso de mi formación profesional, gracias por ser parte de este proyecto.

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS .....	II
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	XI
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivo específico .....	3
1.3 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Origen del frijol .....	4
2.2 Clasificación taxonómica .....	4
2.3 Descripción botánica .....	5
2.3.1 Raíz.....	5
2.3.2 Tallo .....	5
2.3.3 Hoja.....	6
2.3.4 Flor.....	6
2.3.5 Fruto.....	6
2.3.6 Semilla .....	7
2.4 Importancia del frijol en México .....	7

2.5 Solución nutritiva .....	9
2.5.1 El pH de la solución nutritiva .....	10
2.5.2 Presión osmótica.....	11
2.5.3 Relación mutua entre aniones y cationes .....	11
2.5.4 Solución nutritiva de Steiner .....	12
2.5.5 Asimilación de nitrógeno por la planta .....	13
2.5.6 Calidad del agua para la solución nutritiva.....	15
2.5.7 Absorción de nitrato por la planta.....	16
III. MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera.....	18
3.2 Localización del experimento .....	18
3.3 Diseño experimental.....	18
3.4 Análisis de agua .....	20
3.5 Manejo del cultivo.....	21
3.5.1 Germinación de la semilla.....	21
3.5.2 Preparación de sustrato .....	21
3.5.3 Trasplante .....	22
3.5.4 Tutorio.....	22
3.5.5 Preparación de soluciones nutritivas.....	22
3.5.6 Riegos y fertilización .....	23
3.5.7 Plagas y enfermedades .....	23
3.5.8 Cosecha.....	23
3.6 Variables evaluadas .....	24

3.6.1	Altura de las plantas.....	24
3.6.2	Diámetro de los tallos.....	24
3.6.3	Número de folíolos .....	24
3.6.4	Número de vainas .....	24
3.6.5	Número de semillas .....	24
3.6.6	Longitud de la vaina.....	25
3.6.7	Medición indirecta de clorofila con el SPAD (CM 1000 NDVI FieldScout)	25
3.6.8	Medición de área foliar con el medidor portátil GI-202.....	25
3.6.9	Peso fresco de las plantas .....	25
3.6.10	Peso seco total de plantas .....	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
4.1	Variables evaluadas .....	27
4.2	Altura.....	28
4.3	Diámetro del tallo .....	30
4.4	Número de folíolos .....	31
4.5	Vainas por plantas.....	33
4.6	Semillas por vainas .....	34
4.7	Longitud de vainas .....	35
4.8	Medidas indirectas de clorofila con el SPAD (CM 1000 NDVI FieldScout).....	37
4.9	Área foliar .....	38
4.10	Peso fresco total.....	39
4.11	Peso seco total.....	41
V.	CONCLUSIONES .....	43

VI. LITERATURA CITADA.....	44
VII. ANEXOS .....	49

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de estudios.....	19
Cuadro 2. Análisis de agua utilizado en el experimento.....	20
Cuadro 3. Fertilizantes químicos usados para la preparación de soluciones nutritivas de Steiner.....	22
Cuadro 4. Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.....	27
Cuadro 5. Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alturas de las plantas.....	29
Figura 2. Diámetro de tallo.....	31
Figura 3. Número de folíolos.....	32
Figura 4. Número de vainas.....	34
Figura 5. Semillas por vainas.....	35
Figura 6. Longitud de vainas.....	36
Figura 7. Medición indirecta de clorofila.....	38
Figura 8. Área foliar.....	39
Figura 9. Peso fresco total.....	41
Figura 10. Peso seco total.....	42

## RESUMEN

El propósito del estudio fue evaluar los efectos del incremento de  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva Steiner, utilizando como sustrato arena y perlita. Los tratamientos evaluados consistieron en un testigo agua y tres concentraciones 9, 12 y 15  $\text{me L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ , los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, las variables respuesta cuantificadas fueron; altura de planta, diámetro de tallo, número de folíolos, vainas, semillas, longitud de vainas, índice de clorofila, área foliar, peso fresco total de la planta y peso seco total. Los resultados presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para número de folíolos, vainas, clorofila, área foliar, peso fresco total, peso seco total, longitud de vainas, y número de semillas por vainas; mientras que para la altura de las plantas, diámetro del tallo las diferencias no fueron significativas.

El tratamiento con 9  $\text{me L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  presentó los mejores resultados en la altura, número de folíolos, número de vainas y mayor número de semillas, y con 12  $\text{me L}^{-1}$  se presentó el mayor diámetro de tallo, contenido de clorofila, área foliar, peso fresco total, peso seco total y longitud de vainas; en cambio con 15  $\text{me L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  y el testigo presentaron los resultados más bajos en todas las variables evaluadas.

**Palabras clave:** *Soluciones nutritivas, rendimiento, nitratos, sustratos.*

## I. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos (*Gilsanz, 2007*).

La reducción de las tierras agrícolas, la menor disponibilidad de agua de calidad para el riego, y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas, especialmente las de consumo en fresco, han hecho que las técnicas hidropónicas sean potencialmente atractivas tanto para los productores como para los consumidores, como resultado de esta búsqueda se generó la tecnología de producción de cultivos sin suelo. (*Lara, 1999*) y (*Valverde y Rodríguez, 2010*).

La utilización de algún tipo de hidroponía en un cultivo, da un mayor incremento en la producción del cultivo, en comparación con la producción de cultivos convencionales cuando se utiliza el suelo, como medio de crecimiento de la planta (*Marfá, 2000*).

En los cultivos hidropónicos, se tiene un control del abastecimiento de nutrimentos a la planta, ya que ésta obtiene sus nutrimentos a partir de una solución nutritiva balanceada; dicha solución, a diferencia de la del suelo, es homogénea (*García et al., 2003*).

Al utilizar sistemas hidropónicos o semihidropónicos, es recomendable utilizar el nitrato como única fuente principal de N en la solución nutritiva. Tanto el déficit como el exceso de nitrato tienen un impacto negativo sobre las plantas disminuyendo la producción de fruto (*González et al., 2005*).

Las plantas pueden utilizar  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  como fuente de nitrógeno. Sin embargo, no está perfectamente definida la forma de nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ ) adecuada para obtener la máxima productividad de la cosecha. Muchos trabajos diversos, indican que muchas especies de plantas crecen mejor cuando son suministradas con  $\text{NO}_3^-$  que con sales de  $\text{NH}_4^+$ . Considerando que tal respuesta es válida, especialmente cuando las condiciones culturales son optimizadas para cada fuente de N (*Gallegos et al., 2000*).

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar el crecimiento y el rendimiento de plantas de frijol ejotero por efecto de diferentes concentraciones de nitratos en la solución nutritiva.

### **1.2 Objetivo específico**

Evaluar el efecto de los diferentes niveles de nitratos en las soluciones nutritivas en el cultivo de frijol ejotero en hidroponía bajo condiciones de invernadero.

### **1.3 Hipótesis**

Con la menor concentración de nitrato de la solución nutritiva se produce la mejor calidad y rendimiento de frijol ejotero.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen del frijol

Los estudios arqueológicos revelan que el frijol, del género (*Phaseolus vulgaris* L.), se origina en el continente americano. Al respecto se han encontrado evidencias con antigüedad de 500 a 8 mil años en algunas regiones de México, Estados Unidos y Perú (Reyes et al., 2008).

México, como parte de Mesoamérica es considerado como uno de los centros de origen más importantes del mundo de varios tipo de frijoles del género *Phaseolus*, entre ellos el que más destaca por su valor comercial es el *Phaseolus vulgaris* (Sosa, 2005).

### 2.2 Clasificación taxonómica

Súper reino.....Eucariota  
Reino.....Plantae  
División.....Magnollphyta  
Clase.....Dicotiledóneas  
Subclase.....Rósidas  
Orden.....Fabales  
Familia.....Fabáceae  
Género.....*Phaseolus*  
Especie.....*Vulgaris*  
Nombre común..... *Phaseolus Vulgaris* L.

## **2.3 Descripción botánica**

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) pertenece a la familia de las Leguminosas, la planta tienen crecimiento arbustivo (arbolito) o voluble (enredadera) (Ríos et al., 2003). La planta de frijol es anual, herbácea, aunque es una especie termófila, es decir que no soporta heladas; se cultiva esencialmente para obtener la semilla, las cuales tienen un alto grado de proteínas, alrededor de un 22% (Atilio y Reyes, 2008).

### **2.3.1 Raíz**

Consta de una raíz pivotante capaz de alcanzar gran profundidad. La germinación comienza con el desarrollo de la radícula, que se ramifica abundantemente y es la encargada, junto con las sustancias de reserva almacenadas en los cotiledones, de nutrir a la planta durante sus primeros días de vida. Luego, el crecimiento de la raíz principal se detiene y se desarrollan muchas raicillas laterales (Augusto, 2010).

### **2.3.2 Tallo**

El tallo puede ser identificado como el eje central de la planta, el cual está formado por la sucesión de nudos y entrenudos. Se origina del meristemo apical del embrión de la semilla. Desde la germinación, y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristemo tiene 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. El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica o

levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis (*Arias et al., 2007*).

### **2.3.3 Hoja**

El primer par de hojas, que se origina a partir de los cotiledones, es opuesto y de forma acorazonada. Las hojas definitivas las forman tres folíolos; el central es ovoide y simétrico y los laterales, asimétricos. El tamaño varía con el cultivar y las condiciones de cultivo (*Augusto, 2010*).

### **2.3.4 Flor**

Están organizadas en racimos, situados en las axilas de las hojas, y su color varía del blanco al morado. Aunque el frijol produce menos flores que otras leguminosas, como la soya, cuajan en él en mayor proporción. Las flores, hermafroditas y completas, comienzan a desarrollarse por la parte inferior de la planta. Puesto que suelen autofecundarse, los cultivares se pueden multiplicar por semilla sin perder las características genéticas de la planta madre a medio plazo (*Augusto, 2010*).

### **2.3.5 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. Las vainas pueden ser de diversos colores, uniformes o con rayas, dependiendo de la variedad. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, y la sutura ventral los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placentar (*Arias et al., 2007*).

### **2.3.6 Semilla**

Las semillas del frijol ejotero se unen a las valvas en forma alterna sobre la sutura placental. Las divergencias laterales están formadas por los cotiledones y las dos hojas primarias verdaderas; El embrión se encuentra dentro de la semilla entre los cotiledones con la radícula orientada hacia el micrópilo y la plúmula hacia el interior del grano (*Beebe et al., 2000*). Cuya forma, las semillas oscila entre arriñonada y subglobulosa, poseen dimensiones variables y pueden ser de diversos colores (marrón, negro, blanco, jaspeados, etc.) (*Maroto, 2002*).

### **2.4 Importancia del frijol en México**

El cultivo de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) es una leguminosa que se ha cultivado y consumido en todo el mundo, ya sea este en fresco (ejote) o en seco (semillas) proporciona una gran fuente de proteína para la población mundial (*Sánchez et al., 2006*).

El cultivo de esta leguminosa es producido en sistemas, regiones y ambientes tan diversos como América Latina, África, el Medio Oriente, China, Europa, los Estados Unidos, y Canadá. En América Latina, es un alimento tradicional e importante, especialmente en Brasil, México, América Central y el Caribe (*Secretaría de Economía, 2012*).

El frijol en México se considera un producto estratégico en el desarrollo rural y social del país, ya que representa toda una tradición productiva de consumo, cumpliendo diversas funciones tanto de carácter alimentario como para el desarrollo socioeconómico. Por lo anterior, el frijol ocupa el segundo lugar en

importancia dentro de la superficie sembrada total a nivel nacional, sólo después del maíz (*Secretaría de Economía, 2012*). Así como una garantía en seguridad alimentaria, vía autoconsumo; mientras que en la dieta significa, una importante fuente de proteínas para amplias capas de la población mexicana, principalmente de bajos recursos económicos (*INEGI, 2013*).

El cultivo de frijol ejotero tiene vainas con mesocarpio grueso y succulento, y una pequeña cantidad de fibra. Esto depende de las variedades que se cultiven o las características morfológicas que distingue a la especie (*Myers, 2000*).

A nivel nacional existen alrededor de 500 mil agricultores dedicados a la producción. Como generadores de empleos, que demanda 35 jornales por hectárea, generando, sólo en la etapa de producción agrícola, un total de 78,316,105 jornales. Ello equivale a 382,029 empleos permanentes en el sector rural (*Acosta y Pérez, 2003*).

En México se producen diferentes variedades de frijol, las cuales corresponden a los diferentes hábitos de consumo existentes en nuestro país (*INEGI, 2013*).

En México, su nivel de producción y consumo en el escenario mundial lo ubican en la quinta y tercera posición, produciendo y consumiendo (de conformidad con la información disponible) en promedio 1.1 millones de toneladas anuales (*Secretaría de Economía, 2012*).

Se estima que durante 2010, el consumo per cápita de frijol en México se ubicó en 11.0 kilogramos por persona, en tanto que para 2011 haya reportado una fuerte reducción, para ubicarse entre 6 y 7 kilogramos por persona al año (*Gaucín y Torres, 2012*).

## **2.5 Solución nutritiva**

Es el conjunto de sales inorgánicas (fertilizantes) disueltas en el agua de riego, que origina una solución con nutrimentos asimilables y en proporciones adecuadas, de los elementos nutritivos requeridos por las plantas, como son: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Azufre (S), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl) (*SAGARPA, 2007*).

Castillo, (2001) indica que Cada elemento es vital en la nutrición de la planta, la falta de uno solo limitará su desarrollo, porque la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser reemplazado por otro. Todos estos elementos le sirven para la construcción de la masa de tejido vegetal.

Gilsanz, (2007) menciona que componentes de la solución nutritiva se caracterizan por su alta solubilidad, se deberán elegir por tanto las formas hidratadas de estas sales Existen una variedad de soluciones nutritivas a ser utilizada. En general se usan soluciones de aplicación general, que luego, a través de la experiencia y la práctica, se van especializando para un cultivo, para una etapa del cultivo y/o variedad.

### 2.5.1 El pH de la solución nutritiva

El desarrollo de los cultivos depende en general en gran parte de la acidez o alcalinidad de las soluciones nutritivas. Mediante la acidez o la alcalinidad de las soluciones nutritivas, se rompen los enlaces de los elementos nutrientes, formando compuestos más simples y, por lo tanto más asimilables para la planta (Samperio, 1999).

Favela *et al.*, (2006) menciona que el pH de la SN no es estático, ya que depende del CO<sub>2</sub> en el ambiente, de que la SN se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutrimental, de la fuente nitrogenada utilizada.

Gilsanz, (2007) indica que un parámetro a controlar en los sistemas de hidropónicos es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel del pH influye directamente sobre la absorción de los nutrientes por parte de la planta. Entre los valores de pH 5.5-7.0, se encuentran la mayor disponibilidad de nutriente para la planta. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH. En caso de encontrarnos con valores de pH superiores a 7.0 es posible corregir la solución nutritiva mediante la acidificación, usando ácidos nítricos, fosfórico y/o sus mezclas. Deberán contemplarse en la reformación los respectivos aportes de nitrógeno y fosforo realizado por estos ácidos.

### **2.5.2 Presión osmótica**

Favela *et al.*, (2006) menciona que la cantidad total de los iones de las sales disueltas en la SN ejerce una fuerza llamada presión osmótica (PO); en la medida que aumenta la cantidad de iones se incrementa esta presión. La PO es una propiedad físico-química de las soluciones, la cual depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos. En la medida que la PO es mayor, las plantas deben invertir más energía para absorber el agua y los nutrimentos, por lo cual la PO no debe elevarse (Asher y Edwards, 1983).

Preciado *et al.*, (2003) indica que una concentración de iones total en una presión osmótica alta en la solución nutritiva disminuye la energía libre del agua y, por lo tanto, restringe la absorción de agua y algunos nutrimento por lo cual esto disminuye el crecimiento de la planta.

Flores *et al.*, (2005) menciona que cuando no se alcanza el punto máximo de desarrollo de los órganos de la planta en un cultivo en hidropónico, esto se deba a que en la solución nutritiva se encuentra un valor mayor de la presión osmótica y esto ocasiona una disminución de desarrollo de la planta a comparación con una presión osmótica mas baja en la solución nutritiva.

### **2.5.3 Relación mutua entre aniones y cationes**

Steiner, (1961) estableció el concepto de relación mutua entre aniones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^-$ , y entre los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Se basó en que una solución nutritiva debe estar regulada en sus macronutrientes contenidos en los iones mencionados. La regulación nutritiva consiste no solo en la cantidad

absoluta de cada elemento aportando sino, además en la relación cuantitativa que se establece entre los aniones por una parte y los de cationes por la otra.

Lara, (1999) indica que las diferencias en las relaciones entre los iones resultan de las soluciones nutritivas se deben, en parte, a que éstas se generan en condiciones ambientales diferentes. Por lo que los nutrimentos demandados por las plantas en la relación mutua entre aniones y entre cationes, dependen de la etapa fenológica.

Juárez *et al.*, (2006) quién a comprobado, cuando la solución nutritiva es aplicada constantemente las plantas pueden adquirir los nutrimentos en pequeñas concentraciones, esto provoca que las plantas no adquieranlas cantidades necesarias de agua y nutrimentos y provoque una deficiencia, ya que una absorción excesiva provoca una toxicidad en la planta.

#### **2.5.4 Solución nutritiva de Steiner**

En los cultivos sin suelo se puede dar o establecer cualquier relación de iones y cualquier concentración total de sales, siempre que no supere los límites de precipitación para ciertas combinaciones de iones. Así, la selección de solución de la concentración de una solución nutritiva debe ser tal que el agua y los iones totales sean absorbidos por la planta por la misma proporción en la cual están presentes en la solución (Steiner 1968).

Steiner, (1961) quien desarrolló un método para calcular una fórmula para la composición de una solución nutritiva, la cual satisface ciertos requerimientos.

Coic (1973) y Steiner (1973, 1980) indican que la composición y concentración de una solución nutritiva depende de la clase de cultivo, de la fase de desarrollo, del medio ambiente, del tipo de hidroponía (frecuencia de renovación de soluciones). Añaden que las plantas poseen una cierta elasticidad con relación al ambiente nutritivo; es decir, que la planta absorbe los iones en su propia relación mutua, dentro de amplios límites, independientemente de la relación mutua entre los iones de la solución nutritiva.

Steiner, (1984) elaboró una solución nutritiva universal que se distingue por sus relaciones mutuas entre aniones y cationes, expresadas en por ciento del total de me L<sup>-1</sup>. Este autor indica que el uso de la solución nutritiva universal demanda únicamente que se determine la presión osmótica requerida para el cultivo en particular en una cierta época del año. Las relaciones mutuas entre los iones en la Solución Nutritiva Universal de Steiner en porcentaje del total de mmo L<sup>-1</sup> es de 60:5:35 para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>:SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 35:45:20 para K<sup>+</sup>:Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>.

### **2.5.5 Asimilación de nitrógeno por la planta**

El nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) constituye el 80 por ciento de la atmosfera y es, junto con el agua, unos de los principales factores que limitan el crecimiento de las plantas. El nitrógeno es necesario, para todos los seres vivos, por que forma parte de los aminoácidos, proteínas, coenzimas, fosfolípidos, ácidos nucleicos y clorofilas, entre otras moléculas (Díaz *et al.*, 2002).

Reynaldo *et al.*, (2002) mencionan que los nutrientes inorgánicos son generalmente absorbidos por el suelo a través de la raíz y posterior mente

incorporados a compuestos orgánicos que son esenciales para la planta; esta incorporación se le denomina asimilación de nutrientes.

La asimilación del nitrógeno requiere el 25 por ciento de la energía acumulada en las raíces y las hojas, para convertir compuestos inorgánicos de baja energía ( $\text{NO}_3^-$ ) en compuestos orgánicos de las energías, tales como los amino ácidos y las proteínas (*Reynaldo et al., 2002*)

Sánchez *et al.*, (2006) menciona que el incremento de las plantas depende, entre otros factores, de un adecuado suplemento de nitrógeno para sintetizar aminoácidos, proteínas, ácidos nucleídos y otros constituyentes celulares necesarios para el desarrollo. Un factor que influye en las regulaciones de las enzimas responsables de la asimilación del N, es el propio estado nutricional de N en las plantas.

Pliego *et al.*, (2003) presencio que la acumulación de nitrato resulta favorecida de forma proporcional con las dosis de fertilización nitrogenada, de forma más notoria en nódulos de cultivo de frijol, siguiéndose en la hojas y la menor proporción en la raíz.

### **2.5.6 Calidad del agua para la solución nutritiva**

Gilsanz, (2007) indica que en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no debemos olvidar que producimos hortalizas que van a ser consumidas en fresco. Respecto a la calidad química, deberán usarse aguas con bajos contenidos de sales. Los contenidos elevados de calcio o magnesio (mayores a 30 ppm en cada caso), obligarán a realizar correcciones en la formulación de la solución nutritiva. Por su parte, elementos como sodio o cloro en forma excesiva podrán ser tóxicos para la planta. En todos los casos se recomienda la realización de análisis del agua antes de comenzar con estos sistemas, además de análisis cíclicos, en especial cuando la fuente es subterránea.

Flores *et al.*, (2005) indica que el análisis químico del agua es un pre-requisito para determinar las cantidades y tipos de fertilizantes que se deben utilizar en la preparación de la SN, ya que según sus propiedades químicas, se realizan los ajustes necesarios para que la SN tenga un adecuado pH, contenido de sales, PO y balance entre los iones. Las principales propiedades del agua que se deben tomar en cuenta para la preparación de la SN, son las siguientes: el pH, las sales disueltas, (aniones, cationes, micronutrientes y los elementos tóxicos). El pH del agua no representa una gran restricción, debido a que puede ajustarse al valor deseado (pH de 5.5) mediante el uso de ácidos.

Dado que en el agua de riego se van a incorporar distintas sales (abonos), es conveniente que esta agua no tenga muchas disueltas de partida para poder ajustar mejor la solución nutritiva. Por otro lado no conviene que tenga una conductividad alta, ya que con los abonos que incorporemos, ésta se incrementará. No debemos olvidar que trabajamos sin suelo, por lo que todas aquellas condiciones hostiles para la planta (y el exceso de conductividad del agua es una de ellas) se reflejarán inmediatamente e irán en detrimento de los objetivos buscados de calidad y cantidad (*Navarra Agraria, 2003*).

### **2.5.7 Absorción de nitrato por la planta**

Las plantas absorben  $\text{NO}_3^-$  desde el suelo y son capaces de mantener concentraciones muchos mayores de este ion dentro de las células o en la savia xilemática con respecto al suelo. El  $\text{NO}_3^-$  atraviesa la membrana plasmática mediante proteínas transportadoras específicas (*Díaz et al., 2002*).

Rivera, (2009) menciona que la adsorción de  $\text{NO}_3^-$  se refiere al paso específico que consiste en el transporte a través de la membrana plasmática de una célula de la raíz. Una vez en la célula de la raíz, los iones de  $\text{NO}_3^-$  pueden difundirse dentro del simplasto, de la célula a célula, a través de plasmodesmo.

Gallegos *et la.*, (2000) menciona que la absorción del  $\text{NO}_3^-$  es de tipo activo, ya que su transporte al interior de la célula se reduce considerablemente se inhibe la síntesis de ATP y se acepta que el  $\text{NO}_3^-$  es transportado con  $\text{H}^+$  con un estequiometria de  $2\text{H}^+ : 1 \text{NO}_3^-$ , lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben  $\text{NO}_3^-$ .

Pliego *et al.*, (2003) observo en el frijol que la exposición prolongada a nitrato provoca que la absorción de éste decaiga, lo que indica que el proceso está controlado por un mecanismo de retroalimentación negativo.

Gallegos *et al.*, (2000) presencio que en el cultivo de nopal utilizando  $\text{NO}_3^-$  como fuente nitrogenada en la solución nutritiva, obtuvo una absorción alta de  $\text{N-NO}_3^-$  lo que resulto una mayor producción de materia seca, por lo que se confirma que el nopal, así como muchas otras especies vegetales, crece mejor cuando se suministra esta forma nitrogenada.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera**

La comarca lagunera se localiza en las partes central de la zona norte de México. Se encuentra ubicada entre las coordenadas 25° 32' 40" Latitud Norte y 103° 26' 30" longitud Oeste. La altitud de esta región es de 1, 140 msnm. La región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan las tres áreas agrícolas, así como las áreas urbanas.

El clima es seco-desértico, con escasas lluvias, apenas entre 100 y 300 mm como media anual; la mayoría de estas precipitaciones van desde abril hasta octubre. La temperatura promedio fluctúa entre los 0 y 40 °C, pero puede alcanzar hasta 44.4 °C en verano y -8.5 en invierno.

#### **3.2 Localización del experimento**

El experimento se desarrolló en un invernadero del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, que se localiza entre las coordenadas 25° 34' N y 103° 22' O a una altitud 1,126 msnm.

#### **3.3 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y diez repeticiones teniendo 40 parcelas experimentales que fueron conformadas por una maceta de cinco litros de capacidad y en cada maceta contenía una planta de frijol. Los tratamientos en estudio se indican en el cuadro siguiente.

Cuadro 1. Tratamientos de estudio.

Tratamiento	% $\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
			<b>me L<sup>-1</sup></b>				
TESTIGO	0.592	0	4.24	0.01	6.86	0.16	0
9 me L <sup>-1</sup> N- $\text{NO}_3^-$		1.375	9.625	7	9	4	0
12 me L <sup>-1</sup> N- $\text{NO}_3^-$		1	7	7	9	4	0
15 me L <sup>-1</sup> N- $\text{NO}_3^-$		0.625	4.375	7	9	4	0

**NOTA:** El testigo representa la concentración de nitratos en el agua potable.

### 3.4 Análisis de agua

Se realizó el análisis de agua correspondiente para conocer la cantidad de elementos que contenía y así poder preparar la solución nutritiva. Los resultados del análisis de agua se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Análisis de agua utilizada en el experimento.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALOR</b>
pH	<b>7.45</b>
C.E (dS m <sup>-1</sup> )	<b>1.01</b>
<b>CATIONES SOLUBLES</b>	
Ca (me L <sup>-1</sup> )	6.86
Mg (me L <sup>-1</sup> )	0.16
Na (me L <sup>-1</sup> )	2.20
K (me L <sup>-1</sup> )	0.01
Σ Cationes	<b>9.23</b>
<b>ANIONES SOLUBLES</b>	
CO <sub>3</sub> (me L <sup>-1</sup> )	0.00
HCO <sub>3</sub> (me L <sup>-1</sup> )	1.79
Cl (me L <sup>-1</sup> )	3.64
SO <sub>4</sub> (me L <sup>-1</sup> )	4.24
Σ Aniones	<b>9.67</b>
<b>SAL PREDOMINANTE</b>	
RAS (me L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	1.17
Nitratos (NO <sub>3</sub> mg L <sup>-1</sup> )	8.30
Clasificación	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

### **3.5 Manejo del cultivo**

#### **3.5.1 Germinación de la semilla**

El 28 de Septiembre del 2012 se pusieron a germinar las semillas de frijol ejotero variedad *Humilis* utilizando perlita como sustrato, para la germinación se usaron vasos desechables y se deposito una semilla por vaso; después se aplico un riego con la regadera, para que las semillas y el sustrato quedaran mojados.

#### **3.5.2 Preparación de sustrato**

El 30 de Septiembre del 2012 se inicio con la elaboración del sustrato, se utilizo el 25 por ciento de arena y el 75 por ciento de perlita con una granulometría de 1-3 mm. Luego se midieron 24 botes (de 20 L) tomando la medida del bote con una altura de 26.25 cm para la perlita y para la arena 8.75 cm de altura se combinaron ambos sustratos hasta quedar una mezcla homogénea.

El 3 de Octubre se inicio el llenado de bolsas (perforadas de la base) de cinco litros de capacidad utilizando aproximadamente 3½ kg de sustrato combinado (25% arena y 75% perlita).

Se llenó un tambo de 200 L de agua el cual se le aplicaron 20 mL de hipoclorito de sodio, para la esterilización del sustrato en las bolsas con el agua tratada con cloro se les aplico a las macetas agua hasta saturarlas a toda las macetas y se les dio tres lavado con agua potable en los siguientes días hasta lixiviar el agua clorada.

### 3.5.3 Trasplante

Las plantas germinaron a los cinco días de haber sido depositadas en los vasos desechables y a los 10 días (7 de septiembre del 2012) se realizó el trasplante en las macetas con el sustrato.

### 3.5.4 Tutoreo

Para el tutoreo de las plantas se tendieron 4 hileras de alambre horizontal de acero inoxidable a una altura de 3.5 metros con una distancia de largo 20 metro. Se le dio un nudo en el alambre con la rafia y dándole un nudo en el tallo de la planta con una vuelta sobre la maceta.

### 3.5.5 Preparación de soluciones nutritivas

Para preparar las soluciones nutritivas se utilizaron fertilizantes comerciales. Fertilizantes utilizados en la preparación de soluciones nutritivas para tratamientos de estudios.

Cuadro 3. Fertilizantes químicos usados para la preparación de soluciones nutritivas de Steiner.

Nombre	Fórmula	% del nutrientes que aportan	
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5	26 CaO
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	14.2 ( $\text{NO}_3$ ) 13 $\text{NO}_3$ 0.86 (P)	1.3 ( $\text{NH}_4$ ) 2 $\text{P}_2\text{O}_5$ 36.7 (K)
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	11 $\text{NO}_3$	15.5 MgO
Sulfato de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	52 $\text{K}_2\text{O}$	18 S
Ácido nítrico	$\text{HNO}_3$	55 %	$\rho$ 1.35
Ácido Fosfórico	$\text{H}_3\text{PO}_4$	52 %	$\rho$ 1.60

$\rho$  =Densidad

### **3.5.6 Riegos y fertilización**

La primera aplicación de riego con la solución nutritiva se realizó a los 29 días después de la germinación de la semilla, hasta la cosecha, de igual manera con los demás tratamientos. Se les aplicó 300 mL de solución nutritiva por el día y 300 mL por la tarde a cada maceta, teniendo como riego total por maceta 600 mL diario.

### **3.5.7 Plagas y enfermedades**

Durante el ciclo del cultivo se presentaron plagas como la mosquita blanca (*Trialeurodes spp.*), minador de la hoja (*Liriomyza sp.*) y chicharrita (*Empoasca fabae*). No se presentaron enfermedades durante el establecimiento del cultivo. Para controlar las plagas de mosquita blanca, minador de la hoja y chicharrita se utilizó un insecticida de ingrediente activo permetrina, con una dosis ( $1.5 \text{ mL L}^{-1}$ ) y ( $2 \text{ mL L}^{-1}$ ).

### **3.5.8 Cosecha**

Esta se realizó cuando la vaina del ejote se comenzaban a notar los granos del frijol se basó en el toque de la vaina. Se realizaron dos cosechas una el 29 de noviembre y la segunda el 5 de diciembre del 2012.

### **3.6 Variables evaluadas**

#### **3.6.1 Altura de las plantas**

Esta actividad se realizó cada 15 días, se midieron cada una de las plantas con una cinta métrica y se registraron los datos.

#### **3.6.2 Diámetro de los tallos**

Esta actividad se realizó cada 15 días, se midieron cada una de las plantas con un vernier en milímetros y se recopilaron los datos.

#### **3.6.3 Número de foliolos**

Esto se realizó al momento que se tomaron las últimas medidas de las plantas, al mismo tiempo se contabilizó el número de foliolos por planta.

#### **3.6.4 Número de vainas**

Esto se realizó después de cosechar las vainas de frijol ejotero, se sacó un promedio de acuerdo a cada maceta de cada bloque de las dos cosechas que se obtuvieron.

#### **3.6.5 Número de semillas**

Esta determinación se realizó después de cosechar las vainas de frijol, colocándose las vainas debajo de un foco, para poder observar las semillas a través de la cubierta y asegurando la presencia de la semilla se tocó con la yema de los dedos y se realizaba el conteo de semillas.

### **3.6.6 Longitud de la vaina**

Se utilizó una regla, se procedió a medir las vainas para registrar la longitud en cm con la regla.

### **3.6.7 Medición indirecta de clorofila con el SPAD (CM 1000 NDVI FieldScout)**

Esta variable se determinó con el SPAD (CM 1000 NDVI FieldScout Medidor de Clorofila) se le apunto con el rayo laser a las vez se le disparo a los foliolos de una distancias de 12 pulgadas para determinar la cantidad de clorofila indirecta. Se tomaron tres foliolos completamente al azar porcada tratamiento al finalizar el ciclo del cultivo.

### **3.6.8 Medición de área foliar con el medidor portátil GI-202**

Esto se realizó con el medidor de área foliar portátil GI-202, colocando los foliolos en el área específica de la superficie del aparato, para después pasar el laser encima de los foliolos y así determinar la cantidad de área foliar de cada una de las plantas por cada tratamiento.

### **3.6.9 Peso fresco de las plantas**

Este se realizó al extraer la planta en fresco completa de la maceta se corto por órganos y se procedió a pesar en una balanza en gr por cada planta.

### **3.6.10 Peso seco total de plantas**

La materia seca de las plantas se determino mediante el secado de las hojas, tallos, raíces y vainas con la utilización de las estufas de laboratorio. Se metieron a la estufa con una temperatura 70°C por 48 horas, una planta con su

respectiva bolsa de papel. Excepto las vainas se metieron por separado dándole un mayor tiempo de 72 horas. Después de a verse sacado de las estufas se peso y se obtuvo el peso seco total completamente de la planta, se pesaron en gr.

Los datos obtenidos fueron analizados por medio de Anova utilizando un solo factor y para la separación de medias se utilizo la prueba de Tukey 95 por ciento ( $P \leq 0.05$ ) con el Software estadístico Meet Minitab 15.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Variables evaluadas

El análisis estadístico presentó diferencias significativas para las variables número de folíolos, número de vainas, medida indirecta de clorofila, área foliar, peso fresco total, peso seco total, largo de vaina, y número de semillas por vainas mientras para la altura de plantas, diámetro del tallo las diferencias no fueron significativas.

Cuadro 4. Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.

$\text{NO}_3^-$ me L <sup>-1</sup>	ALT cm	DT mm	NF	NV	NS
<b>H<sub>2</sub>O</b>	23.53 <sup>a</sup> ± 5.75	3.32 <sup>a</sup> ± 0.37	20.25 <sup>b</sup> ± 2.87	11.750 <sup>c</sup> ± 3.30	4.32 <sup>b</sup> ± 0.85
<b>09</b>	28.87 <sup>a</sup> ± 7.16	3.74 <sup>a</sup> ± 0.55	30.00 <sup>a</sup> ± 4.24	18.750 <sup>a</sup> ± 2.21	4.75 <sup>a</sup> ± 0.77
<b>12</b>	25.93 <sup>a</sup> ± 6.55	3.75 <sup>a</sup> ± 0.62	24.75 <sup>b</sup> ± 1.50	16.000 <sup>b</sup> ± 2.82	4.37 <sup>b</sup> ± 0.70
<b>15</b>	24.14 <sup>a</sup> ± 6.51	3.70 <sup>a</sup> ± 0.68	26.25 <sup>ab</sup> ± 7.08	14.750 <sup>b</sup> ± 2.63	4.30 <sup>b</sup> ± 0.85
<b>P</b>	0.19	0.21	0.05	0.02	0.04

ALT=Altura de planta DT=Diámetro del Tallo NF=Número de Foliolo NV= Número de Vainas NS= Número semillas. Valores de Medias con la misma letra en el interior de cada columna no son significativamente diferentes, según la prueba de (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 5. Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.

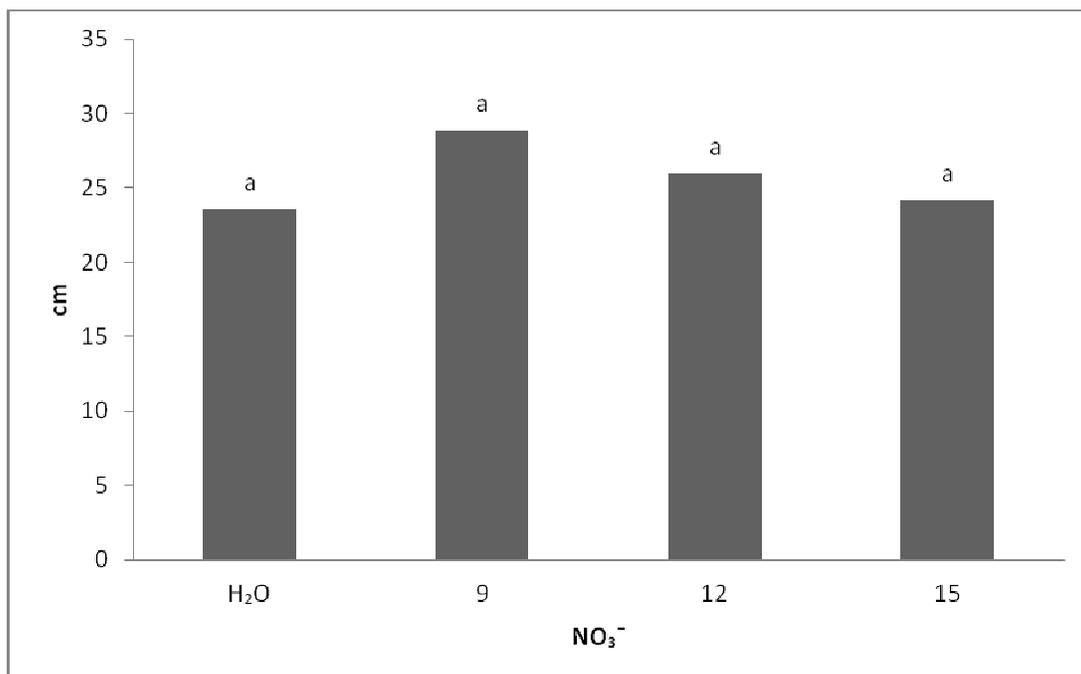
$\text{NO}_3^-$ me L <sup>-1</sup>	MIC nm	ÁF cm <sup>2</sup>	PFT gr	PS gr	LV cm
<b>H<sub>2</sub>O</b>	212.00 <sup>d</sup> ± 27.02	569.9 <sup>c</sup> ± 119.0	95.35 <sup>c</sup> ± 15.72	11.91 <sup>c</sup> ± 2.63	10.92 <sup>c</sup> ± 1.58
<b>09</b>	313.50 <sup>c</sup> ± 16.58	1442.8 <sup>b</sup> ± 64.2	185.15 <sup>a</sup> ± 10.55	23.27 <sup>ab</sup> ± 2.67	12.84 <sup>ab</sup> ± 0.82
<b>12</b>	328.25 <sup>a</sup> ± 17.91	2020.6 <sup>a</sup> ± 942.1	193.08 <sup>a</sup> ± 26.76	25.85 <sup>a</sup> ± 3.89	13.02 <sup>a</sup> ± 0.75
<b>15</b>	322.50 <sup>b</sup> ± 10.47	1427.1 <sup>b</sup> ± 304.7	148.63 <sup>b</sup> ± 32.14	21.40 <sup>b</sup> ± 4.72	12.67 <sup>b</sup> ± 0.78
<b>P</b>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

MIC=Medida Indirecta de Clorofila ÁF=Área Foliar Peso Fresco Total=Peso Fresco Total PS=Peso Seco LV=Largo de Vaina. Valores de Medias con la misma letra en el interior de cada columna no son significativamente diferentes, según la prueba de (Tukey  $P \leq 0.05$ ). Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.

#### 4.2 Altura

El análisis de la varianza para la altura de las plantas no mostró ninguna diferencia significativa ( $P > 0.05$ ), lo que indica que los diferentes niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  en la solución nutritiva no afectaron a la altura de las plantas de frijol (Figura 1); sin embargo, en dicha figura se observa que el tratamiento con 9 me L<sup>-1</sup> de  $\text{NO}_3^-$ , se obtuvo en promedio la mayor altura en las plantas con 28.87 cm, lo anterior es debido a que con el nivel de 9 me L<sup>-1</sup> de  $\text{NO}_3^-$ , se satisfacen los requerimientos nutrimentales de N, a mayor niveles favorecen una mayor área foliar y acumulación de biomasa lo que produce mayor altura, por lo tanto esto se refleja en un mayor rendimiento. Pliego *et al.*, (2003) menciona que el efecto promotor de la aplicación de nitrato sobre el crecimiento de las plantas de frijol se conserva a lo largo de todo el desarrollo del cultivo. Preciado *et al.*, (2003) menciona que podría obedecer al desbalance nutrimental causado por la alta concentración del  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva, con esta concentración en plántulas de melón se alcanzaron

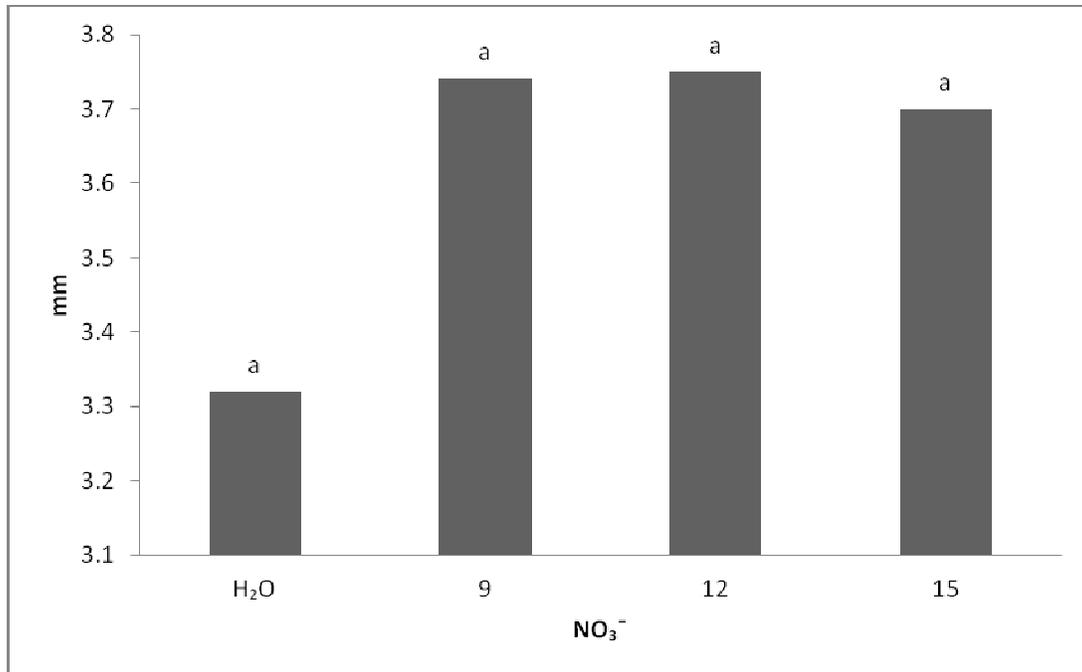
los mayores valores de todas las variables de crecimiento con excepción de la altura de plántula. Estos resultados también son similares a los de Rivera, (2009) ya que no encontró diferencia significativa en la altura del cultivo de tomate tratadas con 12 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: y 6 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Y González *et al.*, (2005) tampoco no encontraron efectos para la altura de la planta de jitomate con las concentración de (34, 79, 124- y 169 mg L<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en la solución nutritiva, Rodríguez *et al.*, (2009). Menciona que una mayor altura en la planta causa mayor número de hojas y de clorofila, ya que un incremento en número de hojas aumenta la fotosíntesis total, lo que redundará en aumento del peso de fruto y consecuentemente en rendimiento.



**Figura 1.** Altura de la planta en diferentes concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencia estadísticas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

### 4.3 Diámetro del tallo

El análisis estadístico del diámetro del tallo de las plantas no mostró ninguna significativa ( $P > 0.05$ ). Por lo cual las soluciones nutritivas con diferentes niveles de  $\text{N-NO}_3^-$ , no mostraron ningún efecto para esta variable de la planta de frijol ejotero (Figura 2). Sin embargo, en dicha Figura se observa que el mayor diámetro de tallo de la planta se obtuvo en la solución  $12 \text{ me L}^{-1}$  con 3.75 mm y el bajo se obtuvo sin aplicación de nutrientes, con 3.32 mm; lo que significa que con la aplicación de  $\text{N-NO}_3^-$  aumentan hasta un 11% diámetro en el tallo. Preciado *et al.*, (2003) menciona que un mayor diámetro de tallo este puede servir de almacén para los esqueletos carbonatados. Por lo tanto, el diámetro de éste también es un buen indicador del vigor de las plantas, ya que refleja directamente la acumulación de fotosintatos, las cuales posteriormente pueden trastocarse a los sitios de demanda; Además un mayor diámetro de tallo minimiza o previene el acame o caída de las plantas por acción del viento en el campo Parra *et al.*, (2010).

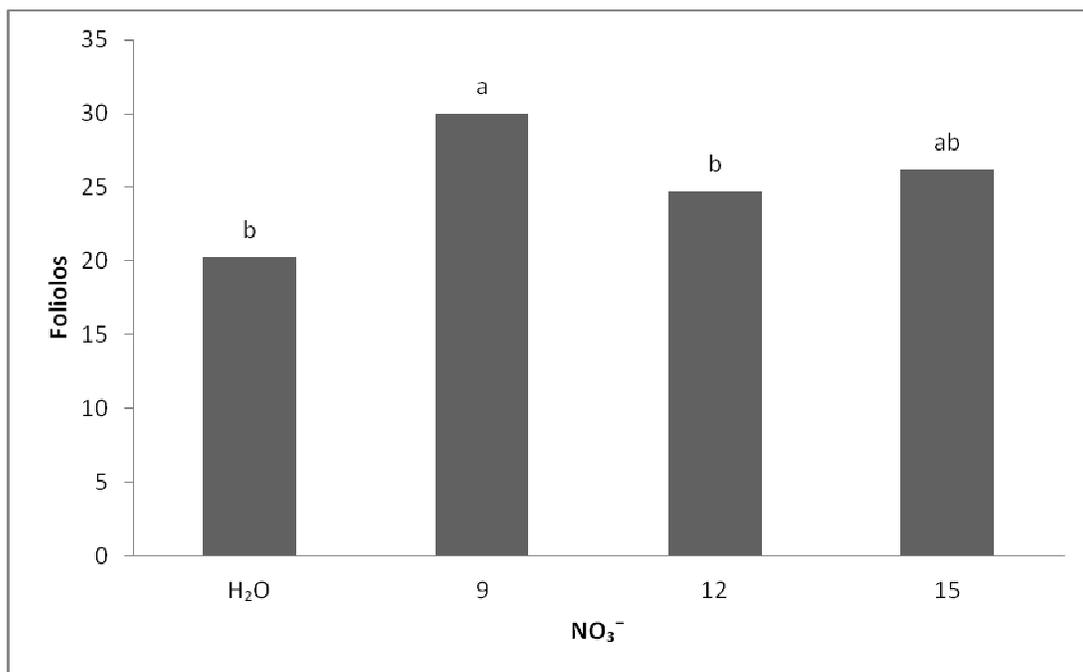


**Figura 2.** El diámetro de la planta en diferentes concentraciones de niveles de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.4 Número de folíolos

Para esta variable el análisis de esta varianza presento diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el número de folíolos del cultivo de frijol ejotero (Figura 3). El tratamiento con 9 me L<sup>-1</sup> obtuvieron la mayor cantidad de folíolos con 30 por planta, y la menor cantidad de folíolos correspondió al tratamiento con 12 me L<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y al testigo. Por lo cual y de acuerdo a la anterior Figura con 9 me L<sup>-1</sup> es la ideal ya que cubre los requerimientos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> estos ayuda a una mayor cantidad de área foliar en la parte aérea de la planta y una mejor asimilación de fotosintatos en las hojas. En el caso del tratamiento 12 me L<sup>-1</sup> son muy similares a los encontrados por Roblero, (2012) al utilizar 0/100 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el cual obtiene

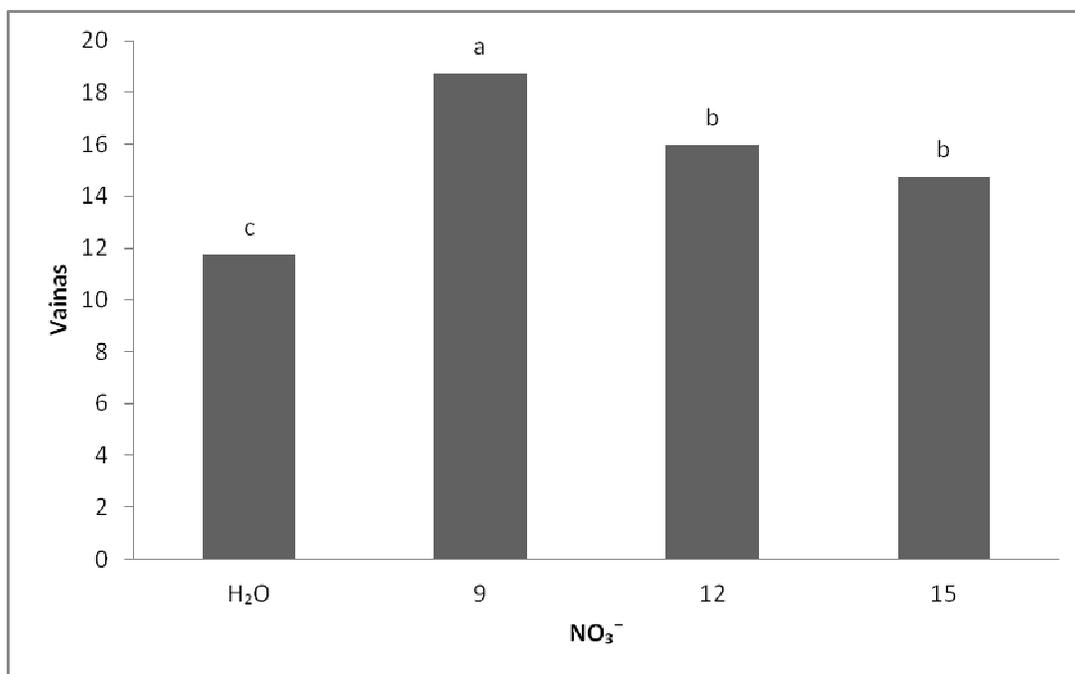
un promedio de 31 foliolos por planta en frijol ejotero. Preciado *et al.* (2003) mencionan que la importancia fisiológica del número de hojas está relacionada con la fotosíntesis y, por consiguiente, con una mayor producción de esqueletos carbonados. Mientras que Magdaleno *et al.* (2006) considera que el NH no puede ser considerado como un indicador confiable en la producción de plántulas, ya que depende en gran medida de la edad de la planta. Una mayor cantidad de foliolo en las plantas trae consigo una mayor cantidad de área foliar y una mayor adsorción de fotoasimilados.



**Figura 3.** Número de foliolos en planta de frijol en diferentes concentraciones de niveles de  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas (*Tukey*  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.5 Vainas por plantas

El análisis de esta varianza para el número de vainas por plantas presento diferencia significativa, (Figura 4). El mayor número de vainas en las plantas correspondió al tratamiento  $9 \text{ me L}^{-1}$  con un promedio 18.75 vainas por planta, seguido 16 vainas para el tratamiento con  $12 \text{ me L}^{-1}$ ; mientras que el tratamiento testigo obtuvo 11.75. Resultados similares fueron encontrados por Castro *et al.*, (2000) quién reporto también que la producción de fruto por planta aumentó con la disponibilidad de nitrógeno; alcanzando un valor máximo en las plantas establecidas en la concentraciones nutrimentales del tratamiento  $9 \text{ NO}_3^-$  (solución nutritiva al 75 por ciento). A esto se debe a que la concentración de nivel  $9 \text{ me L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  es el óptimo requerimiento de concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la planta puede provocar una toxicidad y a causa de esto disminuye la producción de frutos. Por lo que Díaz, (2009) menciona que los nitratos relacionados con los aminoácidos de los alimentos en el estómago, producen nitrosaminas y nitrosamidas, sustancias que han demostrado tener efectos cancerígenos. Por esta razón la concentración de  $9 \text{ me L}^{-1}$ , es la ideal para producción de vainas de frijol ejotero.

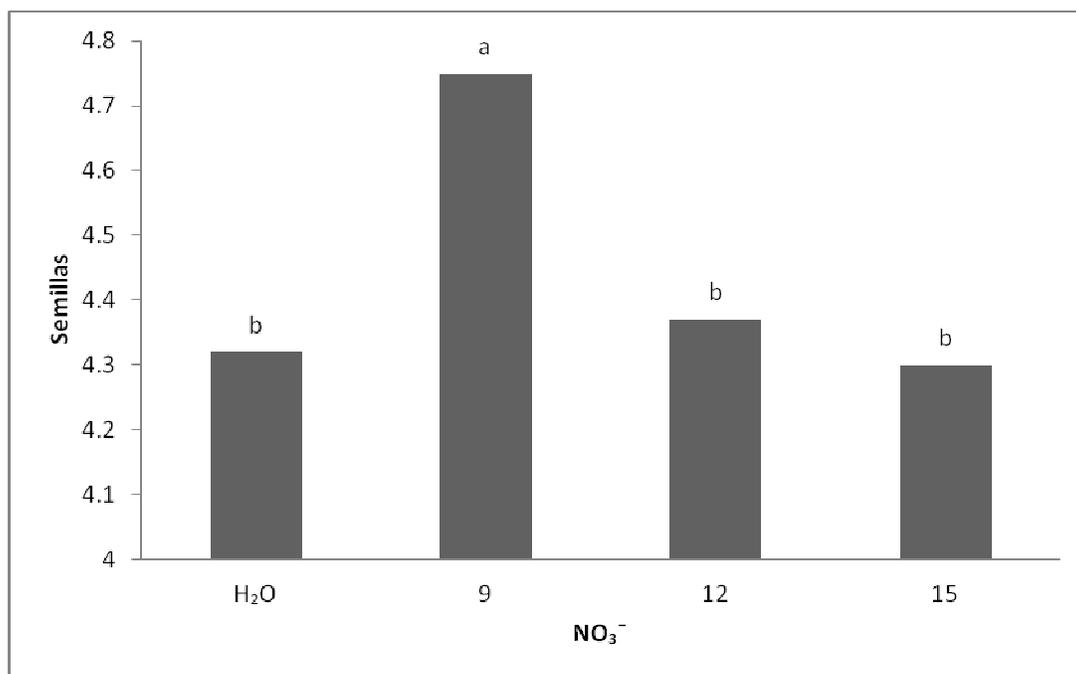


**Figura 4.** Número de vainas en plantas de frijol en diferentes concentraciones de niveles de  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.6 Semillas por vainas

Para esta variable el análisis de varianza presento diferencia significativa (Figura 5). El tratamiento con 9 me  $\text{L}^{-1}$  obtuvo la mayor cantidad de semillas con 4.75 por vainas la concentración 12 me  $\text{L}^{-1}$  con 4.37 y por ultimo los tratamiento 15 me  $\text{L}^{-1}$  y el testigo tuvieron 4.31 semillas por vainas como se observa en la Figura. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Roblero, (2012) con la misma concentración de nitratos 12 me  $\text{L}^{-1}$ . Sin embargo, con 9 me  $\text{L}^{-1}$  existe la mayor cantidad de semillas, esto se relaciona también con un mayor número de vainas. García *et al.*, (2003) en un trabajo en hidroponía en el que también evaluaron dosis crecientes de nitratos, señalan que una mayor infraestructura vegetativa y un sistema radical en hidroponía, reflejan un mayor rendimiento de

grano y algunos otros componentes. El cual utilizaron soluciones nutritivas como 11.23 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 6.60 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y 9.90 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, obteniendo un incremento y rendimiento en el cultivo de frijol ejotero.

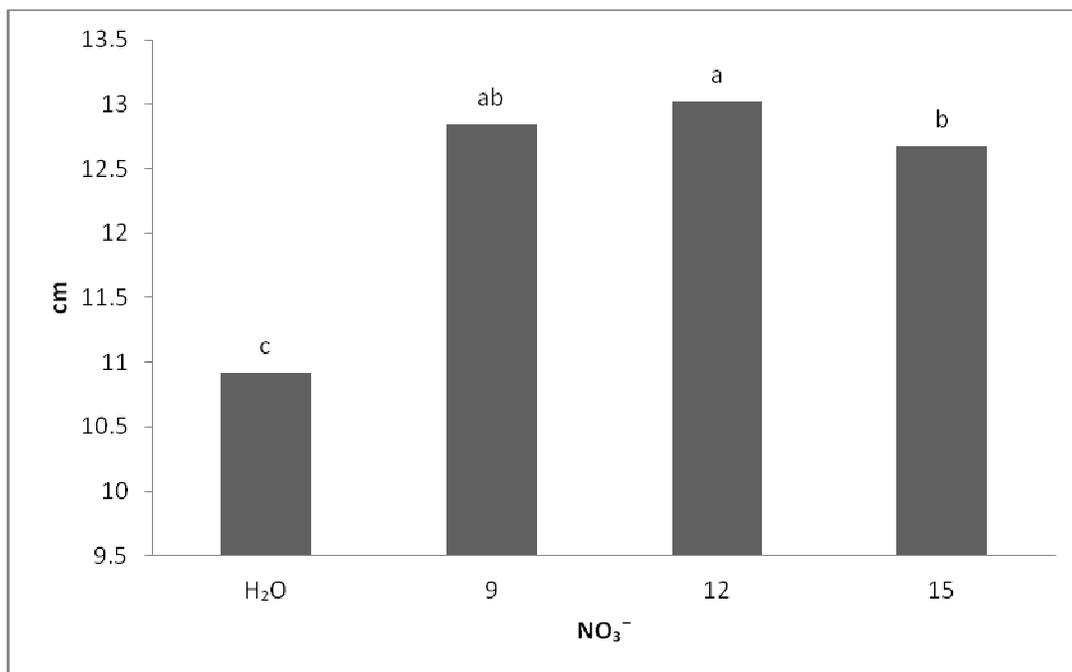


**Figura 5.** Semillas por vainas de frijol ejotero por efecto de las concentraciones de nivel de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en soluciones nutritivas. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.7 Longitud de vainas

Para esta variable el análisis de la varianza presento significativa para la longitud de vainas en cada una de los tratamientos (Figura 6). El tratamiento con 12 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presento la mayor longitud con 13.02 cm por vaina, siguiéndose por el tratamiento con 9 me L<sup>-1</sup>, mientras que la menor longitud de vainas se registro en el tratamiento testigo. Es decir que las soluciones nutritivas ideal es la 12 me L<sup>-1</sup> ya que mejora la longitud de la vaina hasta un 16 % en comparación con

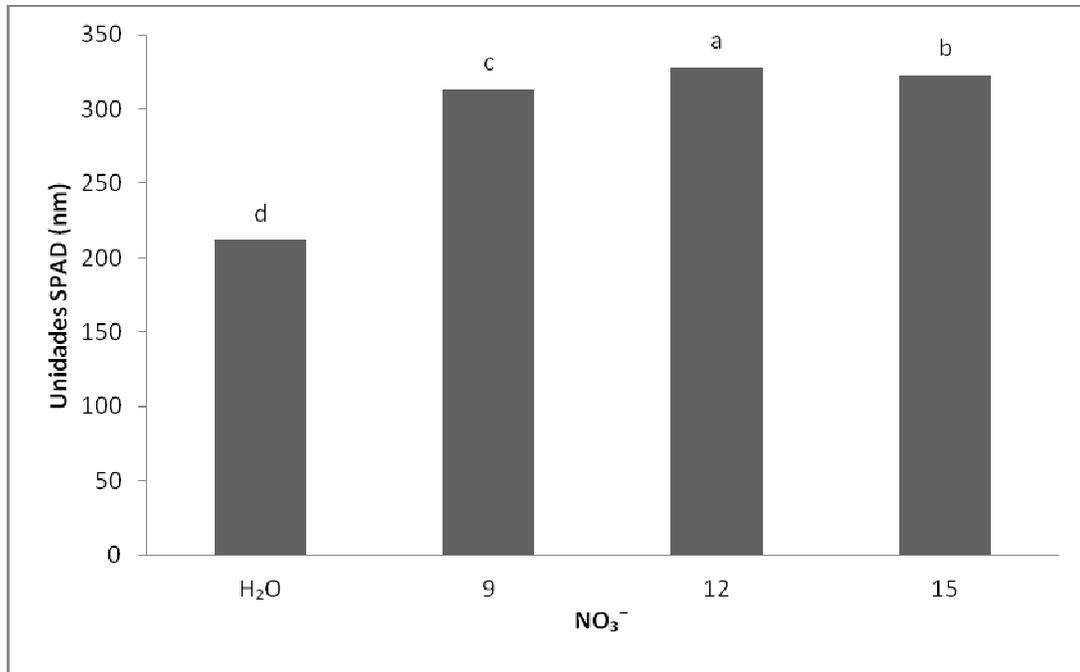
el testigo. En relación con estos resultados Roblero, (2012) también obtuvo la mayor longitud de vainas con 12 me L<sup>-1</sup>, sin embargo la longitud de vainas del frijol depende de la variedades del frijol ejotero el cual determinara la longitud de la vaina y ciertas características Esquivel *et al.*, (2006). Castro *et al.*, (2000) menciona, que a medida se incrementa la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aumenta también el contenido de nitrato en el fruto, lo cual afecta negativamente su calidad. Por otro lado Escalante *et al.*, (2001) señala que al utilizar un sistema hidropónico se obtienen mayor rendimiento y calidad de frijol ejotero en comparación de un sistema tradicional en suelos.



**Figura 6.** Longitud de vainas de frijol por efectos de diferentes concentraciones de nivel de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las soluciones nutritivas. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.8 Medidas indirectas de clorofila con el SPAD (CM 1000 NDVI FieldScout)

El análisis de varianza para la medición de clorofila indirecta presentó diferencias significativas (Figura 7). El mayor contenido de clorofila se obtuvo en el tratamiento 12 me L<sup>-1</sup> con 328.25 seguido por el tratamiento 15 me L<sup>-1</sup> con 322.50 y el más bajo se presentó en el testigo con 212.00 nm; datos similares fueron reportados por Roblero, (2012) quien obtuvo el mayor contenido de clorofila con el tratamiento 0/100 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en el cultivo de frijol ejotero. Por otro lado Gutiérrez *et al.*, (2004) mencionan que esto se debe a que la molécula de clorofila absorbe radiación alta y, en consecuencia de la radiación a esta longitud de onda se refleja un alto contenido de clorofila. Tarpley *et al.*, (2000) indican que el N está estrechamente asociado con la cantidad de clorofila en las hojas. Esta última puede ser un indicador del contenido de N en cultivos como maíz y la reflectancia del dosel puede ayudar a determinar este contenido de N en hojas de algodón, soya y trigo.

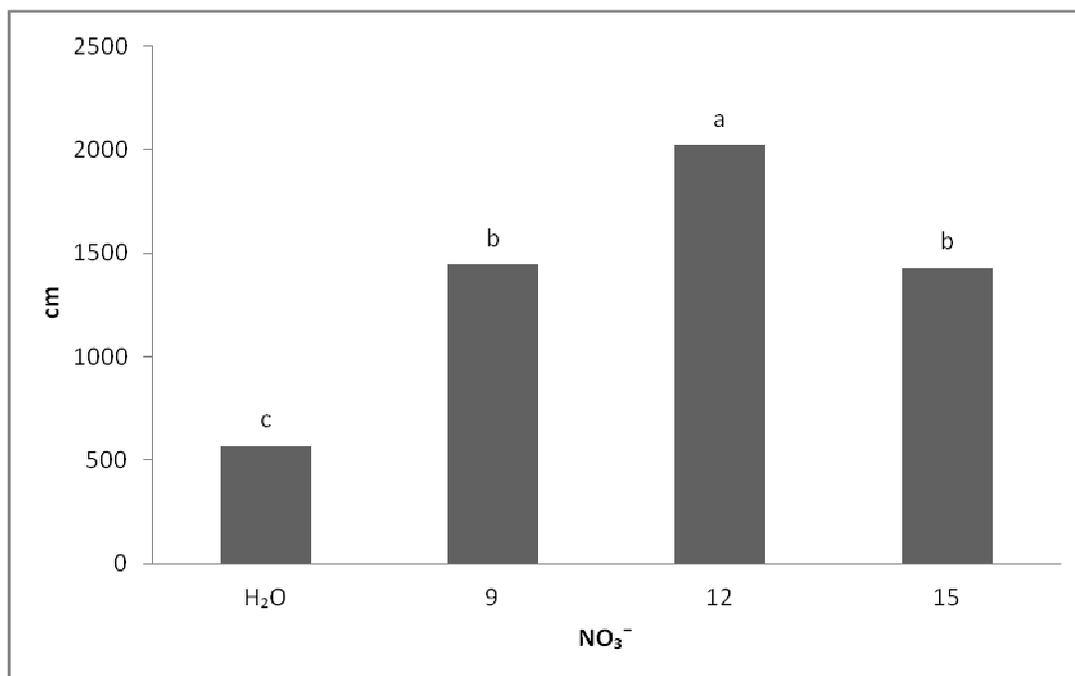


**Figura 7.** Clorofila indirecta en las plantas de frijol en diferentes concentraciones de niveles de  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.9 Área foliar

El análisis de varianza para la área foliar en la planta de frijol presento diferencias significativas, (Figura 8). La mayor área foliar de los tratamientos correspondió al de 12 me  $\text{L}^{-1}$  con un promedio de 2020.6  $\text{cm}^2$ , siguiendo del los tratamientos con 9 y 15 me  $\text{L}^{-1}$  con 1442.8 y 1427.1  $\text{cm}^2$  respectivamente, por lo que el tratamiento 12 me  $\text{L}^{-1}$  tuvo un mayor incremento del 28.9 % de área foliar a comparación con el tratamiento 9 y 15 me  $\text{L}^{-1}$  el cual estadísticamente los dos tratamientos antes mencionado son iguales; y el más bajo fue el testigo con un promedio de 569.9  $\text{cm}^2$ . Resultados similares fueron encontrado por Sánchez *et al.*, (2006) quien encontró el máximo incrementos de raíces y hojas con un 66 y 72 % en frijol ejotero; y quien también afirma que una acumulación excesiva de  $\text{NO}_3^-$

podría causar una disminución drástica de biomasa foliar y desarrollo. González et al., (2009) también obtuvo datos similares al utilizar concentraciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , 0/100 ( $12 \text{ me L}^{-1}$ ) obteniendo diferencias significativas en el área foliar del cultivo de cebollín. Una mayor área foliar trae consigo mayor número de biomasa foliar y una mayor cantidad de peso seco total.

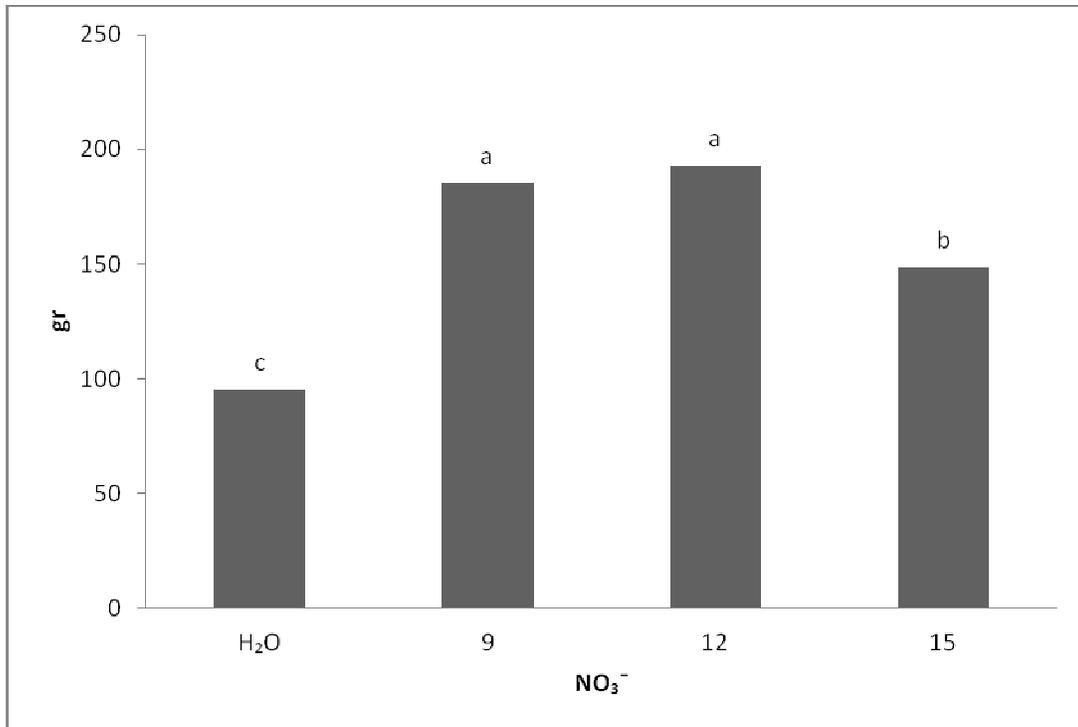


**Figura 8.** Área foliar en plantas de frijol en diferentes concentraciones de niveles de  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencias estadísticas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.10 Peso fresco total

El análisis estadístico de esta variable, mostro diferencias significancia (Figura 9). El tratamiento con la concentración de  $9 \text{ me L}^{-1}$  y  $12 \text{ me L}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$  son los que presentan el mejor rendimiento con la primera concentración de  $\text{N-NO}_3^-$ , se lograron los mayores valores en la mayoría de las variables como: rendimiento,

altura de la planta, número de folíolos, número vainas y número de semillas y con  $12 \text{ me L}^{-1}$  se logro el mayor diámetro de tallo, clorofila, área foliar, peso seco y longitud de vaina; en cambio con el testigo resaltando la importancia del nitrógeno ya con soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en hidroponía y se utiliza absolutamente  $\text{N-NO}_3^-$  en un rango de 9 y  $12 \text{ me L}^{-1}$  el incremento es de hasta un 50 %. Sin embargo, cuando se utilizan altas concentraciones como  $15 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  el rendimiento del cultivo tiende a bajar el rendimiento a consecuencias de la concentración de nitratos en la solución nutritiva hasta un 23 %. Resultados similares encontrados por Castro *et al.*, (2000) quien observó que al existir una menor concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en la solución nutritiva el rendimiento del cultivo de tomate de cascara disminuye hasta un 40 % y cuando se tiene un exceso de  $\text{N-NO}_3^-$ , el rendimiento disminuye 10 %. Lo que evidencia que todos los cultivos presentan diferentes requerimientos nutrimentales y es necesario la implementación de estudios como este en el que se evalúen diferentes niveles de nitrógeno y su efecto en el rendimiento, para de esta manera proteger el ambiente y la salud humana al conocer la cantidad exacta del fertilizante con lo que también se disminuyen los costos de producción.

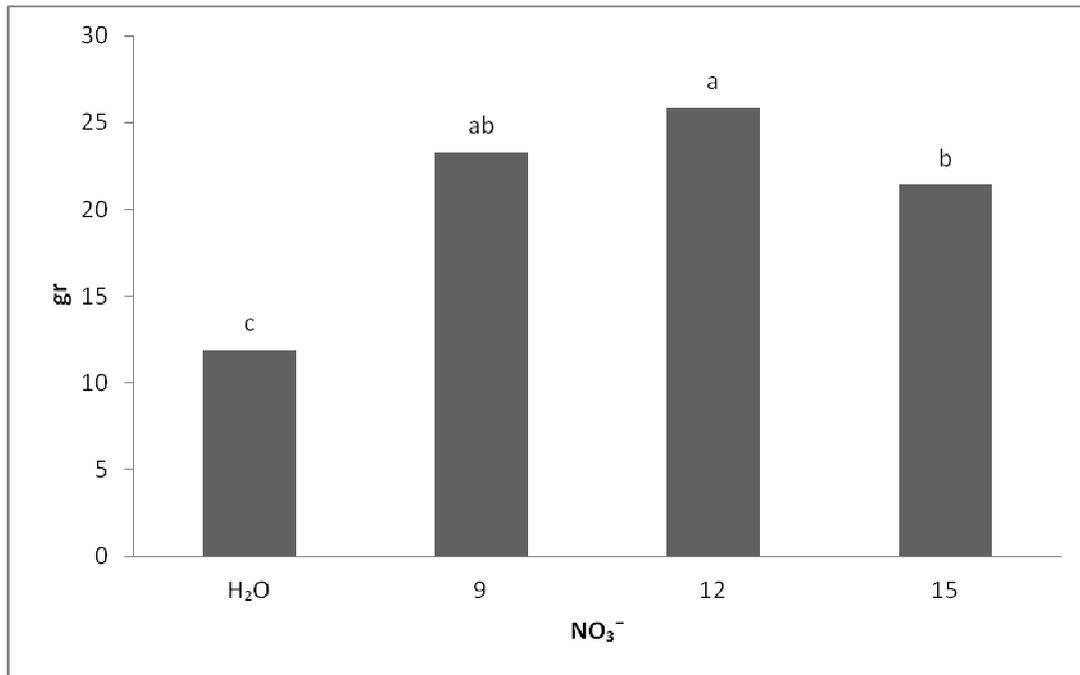


**Figura 9.** peso fresco total la planta de frijol en diferentes concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  de la solución nutritiva. Letra distinta en cada columna representa diferencias estadística (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.11 Peso seco total

Para esta variable el análisis de la varianza presento diferencias significativas (Figura 10). El tratamiento con  $12 \text{ me L}^{-1}$  obtuvo la mayor cantidad de materia seca total con  $25.8 \text{ gr}$  en cambio el tratamiento testigo con solo alcanzó  $11.91 \text{ gr}$  de materia seca. El tratamiento con  $9 \text{ me L}^{-1}$  fue similar estadísticamente a los tratamientos con  $12$  y  $15 \text{ me L}^{-1}$ , lo anterior es debido a que la solución nutritiva de Steiner con  $12 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ , ha sido recomendada como la ideal para la mayoría de los cultivos, ya que entre mejor se encuentre nutrido el cultivo existe mayor acumulación de materia seca y área foliar, como se puede constatar en el presente trabajo. Estos resultados coinciden con los reportados por Gallegos

*et al.*, (2000) quienes encontraron una mayor cantidad de materia seca en las plantas de nopal, al utilizar  $\text{NO}_3^-$  como fuente única de N en las soluciones nutritivas.



**Figura 10.** Peso seco total de la planta de frijol en diferentes concentraciones de nivel de  $\text{NO}_3^-$  con soluciones nutritivas. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

## V. CONCLUSIONES

La concentración de 12 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en la solución nutritiva de Steiner presento la mayor acumulación de materia seca, sobresaliendo en las variables de diámetro del tallo, clorofila, área foliar, peso seco y longitud de vainas.

En la solución nutritiva de 9 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se obtuvieron los mejores resultados en altura, número de foliolos, vainas por planta y semillas por vainas.

La concentración de 15 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, es excesiva para el cultivo de frijol ejotero, ya que disminuyo el rendimiento.

La utilización de soluciones nutritivas con 12 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, obtuvieron resultados similares, por lo que se recomienda la dosis mas bajas para disminuir costos de producción y disminuir la cantidad de fertilizante utilizado.

Finalmente el tratamiento testigo presentó la menor calidad y rendimiento.

## VI. LITERATURA CITADA

- Arias Restrepo Jesús Hernando. Rengifo Martínez Teresita. Jaramillo Carmona Maribel. 2007. Manual técnico Buenas prácticas Agrícolas en la producción de Frijol en Voluble. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO-.Primera Edición. Medellín, Colombia. ISBN 978-92-5305827-3. Pág.166.
- Acosta-Gallegos Jorge Alberto y Pérez Herrera Patricia. 2003. La situación del cultivo del Frijol en México. Producción e Investigación. Programa de Frijol del INIFAP; Chapingo, Edo. de México. Pág. 10.
- Atilio Cabrera Carlos y Reyes Castillo Carlos Humberto. 2008. Técnicas para el manejo de variedades de frijol. Programa de granos de frijol. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro Nacional de la Tecnología y Forestal. L libertad, el salvador Pág. 23.
- Augusto Valladares César. 2010. Cultivos de Grano. Taxonomía, Botánica y Fisiología de los cultivos de grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras Centro Universitaria del Litoral Atlántico (CURLA) Departamento de producción Vegetal Asignatura Cultivos de Granos sección 10:10. Pág. 15-22.
- Beebe, S., P.W. Skroch, J. Tohme, M.C. Duque, F. Pedraza, and J. Nienhuis. 2000. Structure of Genetic Diversity among Common Bean Landraces of Middle American Origin Based on Correspondence Analysis of RAPD. Crop Sci. 40: 264-273.
- Chávez Sánchez Enrique, 2012. Presión Osmótica de la Soluciones Nutritivas en la Soluciones Nutritiva en la producción de Frijol (*Phaseolus Vulgaris*). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila México. . Pág. 38.
- Castro Brindis R., Sánchez García P., Peña Lomelí A., Alcántar González G., Baca Castillo G., López Romero R. M. 2000.Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el extracto celular de pecíolos de tomate de cáscara. Terra Latinoamericana.18: 141-145.
- Castillo Rivas Christian. 2001. La Hidroponía como alternativa de producción vegetal. 2007. [en línea], Disponible <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/hidroponia2.pdf> fecha de consulta 26 de septiembre de 2013.

- Díaz Perelló Alejandro. 2009. Optimización de la tecnología de producción de canónigos (*Valerianella locusta*) en bandeja flotante. Proyecto fin de carrera. Universidad politécnica de cartagena. Pág. 66.
- Díaz p., Gonnet S., Irisarri P., Milnitsky F. y Monza J. 2002. Consideraciones Sobre Metabolismo de Nitrógeno en Plantas. Facultad de Agronomía. Departamento de Biología Vegetal Curso de Bioquímica [en línea], Disponible. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Consideraciones%20sobre%20el%20metabolismo%20del%20nitrogeno%20en%20plantas.pdf>. fecha de consulta 20 de octubre de 2013.
- Escalante E., J. A.; Escalante E., L. E.; Rodríguez G., M. T. 2001. Producción de frijol en dos épocas de siembra. Su relación con la evapotranspiración, unidades de calor y radiación solar en clima cálido. *Terra* 19: 309-315.
- Esquivel-Esquivel G.; Acosta-Gallegos, J. A.; Rosales-Serna, R.; Pérez-Herrera, P.; Hernández-Casillas, J. M.; Navarrete-Maya, R.; Muruaga-Martínez, J. S. 2006. Productividad y adaptación del frijol ejotero en el Valle de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12: 119-126.
- Flores-Rubalcaba, J. S., Becerril-Román, A. E., González-Hernández, V. A., Tijerina-Chávez, L., Vásquez-Rojas, T. 2005. Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista chapingo serie Horticultura* 11: 241-249.
- Favela, Ch. E; Preciado, R. P; Adalberto B. M. 2006. Manual para preparar soluciones nutritivas. UAAAN. Págs. 145.
- Gaucín Piedra Salvador Darío y Torres Garrido Edgar. 2012. Frijol 211/12. Fidecomisos Instituidos en la Relación con la Agricultura. Dirección de Investigación Económica y Sectorial pág. 23 [en línea] [www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=4021](http://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=4021). Fecha de consulta 19 de agosto de 2013.
- Gallegos Vázquez Clemente. Olivares Sáenz. Vázquez Alvarado Rigoberto. Sabala García Francisco. 2000. Absorción de Nitrato y Amonio por plantas de Nopal en Hidroponía. *Terra Latinoamericana*.18: 133-139.
- García-Esteva, A. Kohashi-Shibata, J. Baca-Castillo, G. A. Escalante-Estrada, J.A.S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo *Terra Latinoamericana*. 21: 471-480.

- González-Raya, Edilberto; Benavides-Mendoza, Adalberto; Ramírez, Homero; Robledo-Torres, Valentín; Maiti, Ratikanta; Reyes-López, Alfonso; Aguilera-Carbo, Antonio Francisco; Fuentes-Lara, Laura Olivia; Hernández-Valencia, Rosa Elia Margarita. 2005. Crecimiento de Jitomate y Calidad de Frutos con diferentes Concentraciones de Nitrato Terra Latinoamericana. 23: 105-111.
- Gutiérrez-Rodríguez, M; Escalante-Estrada, J. Alberto; Rodríguez-González, M. Teresa; Reynolds, Matthew P. Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno. 2004. Terra Latinoamericana. 22: 409-416.
- González García José Luis, Rodríguez Mendoza María de las Nieves, Sánchez García Prometeo y Gaytán Acuña Elda Araceli. 2009. Relaciones Amonio /Nitrato en la Producción de hierbas Aromáticas en Hidroponía. 35: 5-11.
- Gilsanz C. Juan. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes 1365, Uruguay. Pág. 26.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2013. El cultivo del frijol en Zacatecas. Censo Agropecuario 2007. ISBN 978-607-494-516-4. México, pág. 54 en línea [www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censo/agropecuario/2007/agricultura/frijol\\_zac/CultfriZac.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censo/agropecuario/2007/agricultura/frijol_zac/CultfriZac.pdf). Fecha de consulta 16 de agosto de 2013.
- Juárez, Ma. J Baca, B.A. Navarro, L.A. García, P. Torres, J.L. Castellano, J.S. 2006 Propuestas para la formulación de soluciones nutritivas en estudio de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31: 246-253.
- Lara H. A. 1999, Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra, 17: 221-229.
- Marfá, O. 2000 Recirculación de cultivos sin suelos. Ediciones de Horticultura, S.L.Reus España. Pág. 177.
- Myers, J.R. 2000. Tomorrow's shap bean cultivar, In Bean Research, production and Utilization. SINGH, S.P. (ed.). proceedings of the Idaho Bean Workshops "Celebrating 75 Year of the Cooperative Dry Bean Nursery. Ag. Communications, Univ. of Idaho. Pp.39-51.
- Maroto Borrego J. V. 2002. Horticultura Herbácea especial.5° edición. Libro. Impreso en España. Pág. 634.

- Magdaleno, V. J. J; Peña L. A; Castro, B. R; Castillo, G. A. M; Galvis, S. A; Ramírez, P. F; Becerra, L. P. A. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis Ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*.12:153-158.
- Navarra Agraria. 2003. Aspectos a considerar en una instalación de cultivo en hidroponía. Área de Invernaderos Pamplona. [en línea] [www.itga.com/docs/AspectosaconsiderarenHidroponia.pdf](http://www.itga.com/docs/AspectosaconsiderarenHidroponia.pdf). Fecha de consulta 20 de octubre de 2013.
- Preciado-Rangel, Pablo; Baca-Castillo, Gustavo A.; Tirado-Torres, Juan L.; Kohashi-Shibata, Josué; Tijerina-Chávez, Leonardo; Martínez-Garza, Ángel. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*. 21: 461-470.
- Pliego, Lina, Ocaña, Antonio, Lluch, Carmen. 2003. Crecimiento, fijación de nitrógeno, acumulación y asimilación de nitratos con dosis de nitrógeno en frijol. *Terra Latinoamericana*. 21: 213-223.
- Parra-Terraza S; Salas-Núñez E; Villarreal-Romero M; Hernández-Verdugo S; Sánchez-Peña P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Horticultura*. Revista de Chapingo. 16: 37-47.
- Roblero Ramón Exal Yoni. 2012. Relación Nitrato/Amonio en la solución nutritiva en la Producción de Frijol Ejotero. Tesis de Licenciatura. Dpto. de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila México. Pág. 40.
- Reynaldo Inés M., Pérez, Ivette Jerez, E., Dell'Amico J. M. 2002. Efectos del estrés hídrico en la asimilación del nitrógeno en plantas de tomate cv inca Cultivos Tropicales. 23: 47-50.
- Rodríguez Dimas Norma., Cano Ríos Pedro., Figueroa Viramontes Uriel., Favela Chávez Esteban., Moreno Reséndez Alejandro., Márquez Hernández Cándido., Ochoa Martínez Esmeralda., Preciado Rangel Pablo. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 27: 319-327.
- Rivera Espejel Esteban Arturo. 2009. Fertilización con Nitrato y Amonio en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Tesis de Maestría, postgrado en Edafología. Pág.113.
- Ríos Betancourt Manuel José. Quirós Dávila Joaquín Emilio. Arias Restrepo Jesús Hernando. 2003. Cartilla ilustrada 2. Frijol. Recomendaciones Generales para su Siembra y Manejo. Rionegro, Antioquia, Colombia. Pág. 41.

- Reyes Rivas Elivier. Padilla Bernal Luz Evelia. Oscar Pérez Veyna. Pedro López Jáquez. Centro de Estudios Prospectivos. 2008. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. Revista Investigación Científica. 4: pág. 21.
- Secretaría de Economía. (Dirección de Generales de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la Cadena de valor de Frijol. Pág.39 en línea [www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/analisis\\_cadena\\_valor\\_frijol.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf) Fecha de consulta 31 de marzo de 2013.
- Sánchez Esteban; Soto Juan Manuel; Ruiz Juan Manuel; Romero Luis. 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencia vs toxicidad de nitrógeno. Revista Fitotecnia Mexicana. 29: 187-195.
- Steiner, A. A. (1968). Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. pp: 324-341.
- Steiner, A.A. (1961) A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant Soil*. 15: 134-154.
- Steiner, A.A. (1973) The Selective Capacity of Tomato Plants for Ions in a Nutrient Solution. En *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Cong. Soilless Cult.* Sassari, Italy. pp. 43-54.
- Samperio Ruiz Gloria. 1999. Hidroponía Básica, el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Edición 7<sup>ta</sup>. impresión Diana, S.A de C. V impreso en México pág. 78.
- Sosa Villa José Manuel. 2005. Frijol. Delegación Estatal de la SAGARPA. Celaya, Guanajuato. [en línea] [www.redsicta.org/rhizobium\\_Pdf/FRIJOL%20-%20ORIGEN.pdf](http://www.redsicta.org/rhizobium_Pdf/FRIJOL%20-%20ORIGEN.pdf). Fecha de consulta 14 de abril de 2013
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Hidroponía rústica. 2007. [en línea], Disponible <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Hidroponia%20R%C3%BAstica.pdf>. Fecha de consulta 13 de octubre de 2013
- Tarpley L., K.R. Reddy y G.F. Sassenrath-Cole. 2000. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Sci*. 40: 1814-1819.
- Valverde, K. M. Chang y Rodríguez Delfín A. 2010. Efecto de la Calidad de Luz Sobre la Actividad del Nitrato Reductasa en Plantas de Lechuga Cultivadas Hidropónicamente Universidad Nacional Agraria La Molina de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.pág 12. Boletín No 47.

## VII. ANEXOS

08/03 15:44:43

### APÉNDICE

Código	Tratamientos
0=H <sub>2</sub> O	Testigo
9	Solución T2
12	Solución T3
15	Solución T4

#### Apéndice 1. ANOVA de altura de plantas en los diferentes tipos de soluciones.

##### ANOVA unidireccional: Altura Cm. vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	206.8	68.9	1.62	0.197
Error	44	1867.9	42.5		
Total	47	2074.7			

S = 6.516 R-cuad. = 9.97% R-cuad.(ajustado) = 3.83%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
0	12	23.533	5.755	(-----*-----)
9	12	28.875	7.161	(-----*-----)
12	12	25.933	6.556	(-----*-----)
15	12	24.142	6.514	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----  
21.0      24.5      28.0      31.5

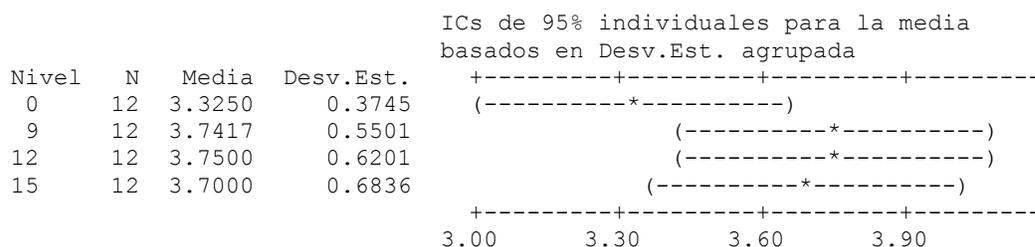
Desv.Est. agrupada = 6.516

## Apéndice 2. ANOVA de diámetro de plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: Diámetro T Mm vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	1.497	0.499	1.54	0.217
Error	44	14.242	0.324		
Total	47	15.739			

S = 0.5689 R-cuad. = 9.51% R-cuad.(ajustado) = 3.35%



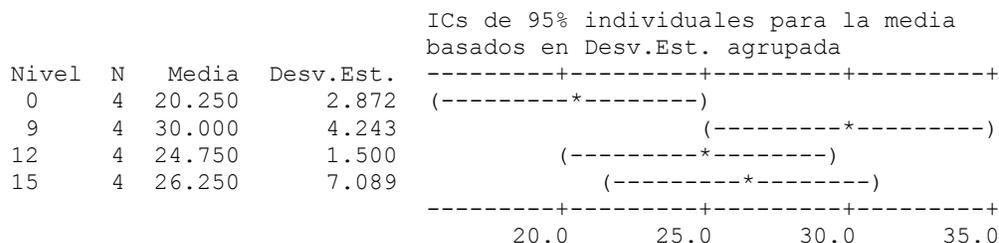
Desv.Est. agrupada = 0.5689

## Apéndice. 3 ANOVA de número de folíolos en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: N° folíolos vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	195.2	65.1	3.30	0.057
Error	12	236.3	19.7		
Total	15	431.4			

S = 4.437 R-cuad. = 45.24% R-cuad.(ajustado) = 31.55%



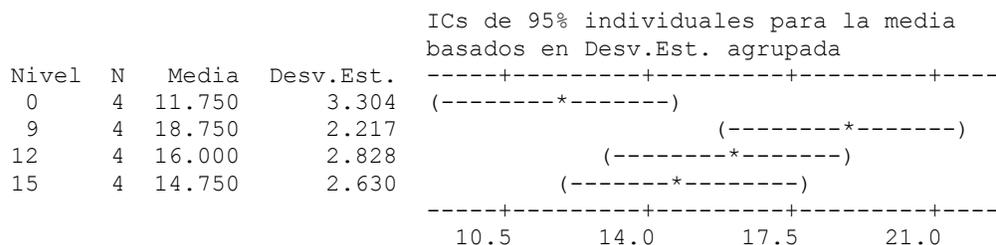
Desv.Est. agrupada = 4.437

## Apéndice. 4 ANOVA de número de vainas en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: N° de vainas vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	101.19	33.73	4.39	0.026
Error	12	92.25	7.69		
Total	15	193.44			

S = 2.773    R-cuad. = 52.31%    R-cuad.(ajustado) = 40.39%



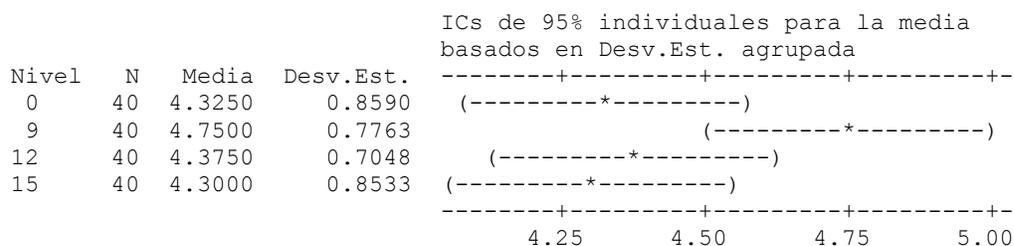
Desv.Est. agrupada = 2.773

## Apéndice. 5 ANOVA de número de semillas en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: N° Semillas vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	5.325	1.775	2.77	0.044
Error	156	100.050	0.641		
Total	159	105.375			

S = 0.8008    R-cuad. = 5.05%    R-cuad.(ajustado) = 3.23%



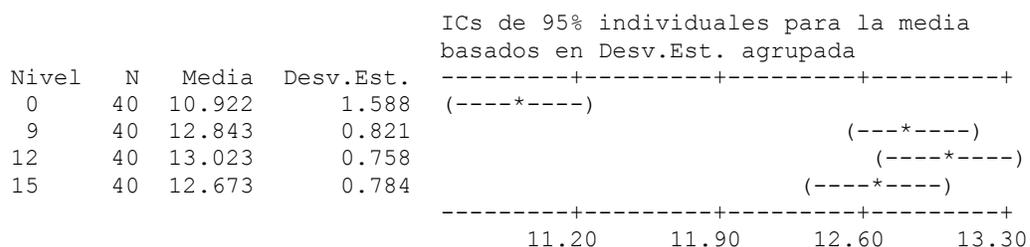
Desv.Est. agrupada = 0.8008

## Apéndice. 6 ANOVA de Longitud de vaina en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: Largo Cm. vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	113.43	37.81	34.50	0.000
Error	156	170.98	1.10		
Total	159	284.40			

S = 1.047 R-cuad. = 39.88% R-cuad.(ajustado) = 38.73%



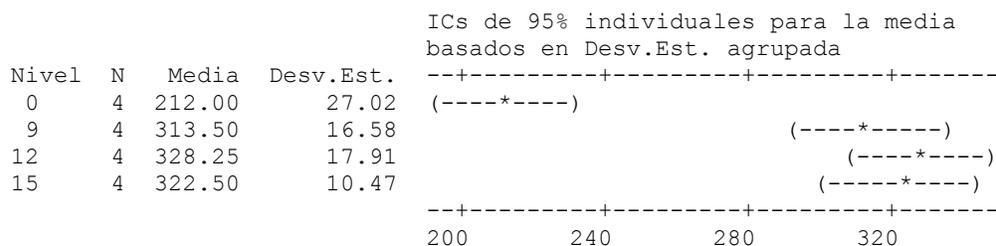
Desv.Est. agrupada = 1.047

## Apéndice. 7 ANOVA de concentración de clorofila en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: Ind. Clorofila nm vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	36358	12119	33.77	0.000
Error	12	4307	359		
Total	15	40665			

S = 18.94 R-cuad. = 89.41% R-cuad.(ajustado) = 86.76%



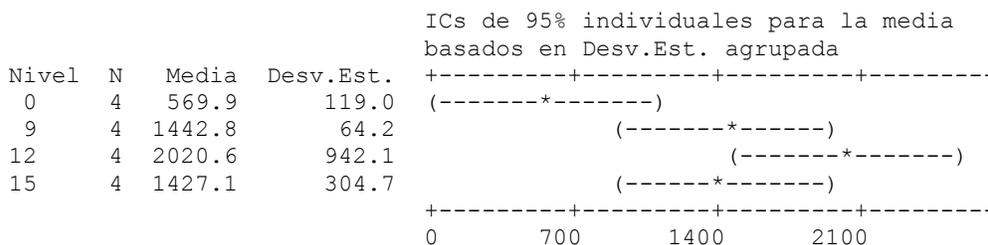
Desv.Est. agrupada = 18.94

## Apéndice. 8 ANOVA de área foliar en las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: Área Foliar. Cm<sup>2</sup> vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	4287836	1429279	5.72	0.011
Error	12	2996100	249675		
Total	15	7283936			

S = 499.7    R-cuad. = 58.87%    R-cuad.(ajustado) = 48.58%



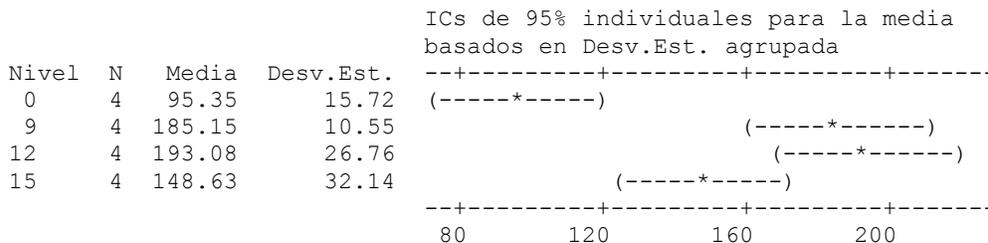
Desv.Est. agrupada = 499.7

## Apéndice. 9 ANOVA de peso fresco total de las plantas en los diferentes tipos de soluciones.

### ANOVA unidireccional: P. Fresco/grs vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	23825	7942	15.08	0.000
Error	12	6322	527		
Total	15	30147			

S = 22.95    R-cuad. = 79.03%    R-cuad.(ajustado) = 73.79%



Desv.Est. agrupada = 22.95

