

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA



DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

RELACIÓN NITRATO/AMONIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO.

Por:

EXAL YONI ROBLERO RAMÓN

TESIS:

Presentada como requisito parcial

para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

RELACIÓN AMONIO/NITRATO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN
DE FRIJOL HIDROPÓNICO

POR:

EXAL YONI ROBLERO RAMÓN

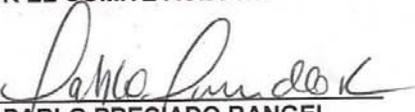
TESIS

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

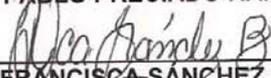
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR

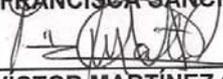
ASESOR PRINCIPAL:


DR. PABLO PRECIADO RANGEL

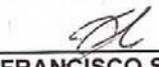
ASESOR:


MC. FRANCISCA SÁNCHEZ BERNAL

ASESOR:


ME. VICTOR MARTÍNEZ CUETO

ASESOR:


ING. FRANCISCO SUÁREZ GARCÍA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

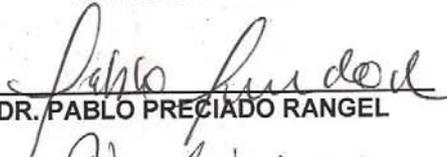
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. EXAL YONI ROBLERO RAMÓN QUE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR:

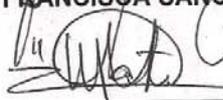
PRESIDENTE:


DR. PABLO PRECIADO RANGEL

VOCAL:


M.C. FRANCISCA SÁNCHEZ BERNAL

VOCAL:


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

VOCAL SUPLENTE:


ING. FRANCISCO SUÁREZ GARCÍA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2011.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pablo Preciado Rangel le agradezco el apoyo brindado, por la dedicación y por sus conocimientos transmitidos para la realización del presente trabajo.

A la MC. Francisca Sánchez Bernal por proporcionar parte del material para llevar a cabo la investigación y por la revisión del presente.

Al ME. Víctor Martínez Cueto le agradezco el tiempo dedicado para la revisión del presente trabajo.

Al Ing. Francisco Suárez García por su completa disposición y el apoyo en la revisión del trabajo.

Al Ing. Juan de Dios Ruíz de la Rosa por todo su tiempo dedicado y su empeño en enseñanza a través del curso de seminario de investigación.

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

DEDICATORIAS

Primeramente agradezco a **DIOS** por haberme dado la vida, por estar siempre conmigo, por ser mi guía y mi fortaleza por no dejarme desmayar nunca y ayudarme a salir adelante en los momentos más difíciles de la vida.

A MIS PADRES

Sr. Gaudencio Roblero Velázquez y Sra. Candelaria Ramón Méndez (QEPD) por haberme dado la oportunidad de vivir, por su infinito anhelo de verme siempre feliz; por su sabiduría y sus consejos; por todo el apoyo y porque simplemente a ustedes les debo la vida, todo el esfuerzo que lleva este trabajo es dedicado a ustedes por ser los artífices del profesionalista que ahora soy.

A MIS HERMANOS

Por todos los momentos buenos y malos compartidos con ellos y por todo el apoyo brindado durante mi formación, gracias por la confianza que me tienen y por su amistad.

Edim Roblero Ramón

Leyver Roblero Ramón

Eberlín Roblero Ramón

Dari Manuel Roblero Ramón

José Hugo Roblero Ramón

Jimmy Roblero Ramón

Yeni Lizbeth Roblero Ramón

INDICE DE CONTENIDO

| Contenido | pág. |
|---|-------------|
| AGRADECIMIENTOS..... | II |
| DEDICATORIAS..... | III |
| INDICE..... | IV |
| INDICE DE CUADROS..... | VII |
| INDICE DE FIGURAS..... | VII |
| RESUMEN..... | VIII |
| I. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 Objetivo..... | 3 |
| 1.2 Hipótesis..... | 3 |
| II. REVISION DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Origen del frijol..... | 4 |
| 2.2 Clasificación taxonómica..... | 4 |
| 2.3 Descripción botánica..... | 5 |
| 2.3.1 Raíz..... | 6 |
| 2.3.2 Tallo..... | 6 |
| 2.3.3 Hoja..... | 6 |
| 2.3.4 Flor..... | 6 |
| 2.3.5 Fruto..... | 6 |
| 2.3.6 Semillas..... | 7 |
| 2.4 Importancia del frijol en México..... | 7 |
| 2.5 La Solución nutritiva..... | 9 |
| 2.5.1 El pH de la Solución Nutritiva..... | 10 |
| 2.5.2 Presión osmótica..... | 10 |
| 2.5.3 Relación mutua entre aniones y cationes..... | 11 |
| 2.5.4 Concentración de amonio en la solución nutritiva..... | 12 |
| 2.5.5 Solución Universal de Steiner..... | 13 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.6 | Asimilación de nitrógeno por las plantas..... | 14 |
| 2.7 | Relaciones amonio/nitrato en estudios de nutrición vegetal..... | 15 |
| 2.8 | Absorción de amonio por la planta..... | 17 |
| III. | MATERIALES Y METODOS..... | 22 |
| 3.1 | Localización geográfica de la Comarca Lagunera..... | 22 |
| 3.2 | Localización del experimento..... | 22 |
| 3.3 | Diseño Experimental..... | 22 |
| 3.4 | Análisis de agua..... | 23 |
| 3.5 | Manejo del cultivo..... | 24 |
| 3.5.1 | Germinación de las semillas..... | 24 |
| 3.5.2 | Trasplante..... | 24 |
| 3.5.3 | Preparación de soluciones nutritivas..... | 25 |
| 3.5.4 | Riegos y fertilización..... | 25 |
| 3.5.5 | Aplicación de micronutrientes..... | 26 |
| 3.5.6 | Plagas y enfermedades..... | 26 |
| 3.5.7 | Cosecha..... | 26 |
| 3.6 | Variables evaluadas..... | 27 |
| 3.6.1 | Altura de la planta..... | 27 |
| 3.6.2 | Número de hojas por planta..... | 27 |
| 3.6.3 | Vainas por planta..... | 27 |
| 3.6.4 | Peso de las vainas..... | 27 |
| 3.6.5 | Longitud de las vainas..... | 27 |
| 3.6.6 | Medición indirecta de clorofila con el SPAD-502..... | 27 |
| 3.6.7 | Peso de la materia seca..... | 28 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 29 |
| 4.1 | Variables evaluadas..... | 29 |
| 4.2 | Altura..... | 30 |
| 4.3 | Número de hojas..... | 31 |
| 4.4 | Vainas por tratamiento..... | 32 |
| 4.5 | Semillas por vaina..... | 33 |
| 4.6 | Longitud de vainas..... | 34 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.7 | Peso de vainas..... | 35 |
| 4.8 | Rendimiento..... | 36 |
| 4.9 | Peso seco total..... | 37 |
| 4.10 | Medida indirecta de clorofila con el SPAD-502..... | 38 |
| V. | CONCLUSIONES | 39 |
| VI. | BIBLIOGRAFIA..... | 40 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| CUADRO 1. Tratamientos de estudio..... | 23 |
| CUADRO 2. Análisis de agua utilizado en el experimento..... | 23 |
| CUADRO 3. Fertilizantes utilizados en la preparación de soluciones nutritivas para tratamientos de estudio..... | 25 |
| CUADRO 4. Valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero..... | 29 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. Altura de las plantas..... | 30 |
| FIGURA 2. Número de hojas..... | 31 |
| FIGURA 3. Vainas por tratamiento..... | 32 |
| FIGURA 4. Longitud de vainas..... | 33 |
| FIGURA 5. Semillas por vaina..... | 34 |
| FIGURA 6. Peso de vainas..... | 35 |
| FIGURA 7. Rendimiento..... | 36 |
| FIGURA 8. Peso seco total..... | 37 |
| FIGURA 9. Medición indirecta de clorofila..... | 38 |

RESUMEN

Se realizó un experimento para evaluar el efecto de la relación amonio/nitrato en la solución nutritiva sobre el crecimiento y rendimiento del frijol ejotero en hidroponía, utilizando bolsas de polietileno como macetas y usado perlita como sustrato. En un arreglo completamente al azar se evaluaron cinco relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, resultantes de modificaciones a la solución nutritiva universal de Steiner, las relaciones fueron: 0/100, 4/96, 8/92, 13/87 y 17/83. Las variables evaluadas fueron: altura, número de hojas, número de vainas, longitud de vainas, semillas por vaina, peso de la vaina, rendimiento total, peso seco total y medición indirecta de clorofila.

Los resultados obtenidos mostraron diferencia significativa en la altura de la planta y peso de la vaina, mientras que para las demás variables evaluadas no existió diferencia. El tratamiento sin amonio obtuvo mejores resultados en la longitud de la vaina y contenido de clorofila, la relación 8/92 mostró mejores resultados en semillas por vainas y peso de la vaina, la relación 13/87 resultó ser mayor número de hojas y rendimiento, mientras que la relación 17/83 tuvo la mayor altura y el peso seco.

Palabras clave: *Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, hidroponía, frijol, sustrato, Steiner.*

I.- INTRODUCCION

La producción de cultivos sin suelo en condiciones protegidas es de gran importancia ya que se pueden producir alimentos a precios competitivos y durante todo el año. La baja producción de alimentos en nuestro país se debe a algunos factores específicos como: suelos con baja fertilidad, contaminación, suelos erosionados y escasas de agua, con la hidroponía es posible producir con poco agua, en climas extremos y sin suelo (*García et al., 2003*).

La necesidad de incrementar la producción de alimentos de origen vegetal, la restricción de tierras aptas para la producción agrícola, la escases del agua y la mala calidad de ésta para usarla en la agricultura convencional, fueron algunas de las causas que estimularon a diversos investigadores a buscar alternativas para el desarrollo de las plantas, como resultado se generó la hidroponía (*Lara, 1999*).

La hidroponía es un sistema de cultivo que requiere de poco agua comparada con el cultivo tradicional, no requiere del uso del suelo y es de alta productividad, requiere de invernadero para producir todo el año. En la última década, la producción de cultivos en hidroponía ha sido una opción adicional para abastecer de alimentos a la población. Entre otros factores, la solución nutritiva es parte fundamental en la hidroponía; ya que de este depende la magnitud y la calidad de la producción (*Lara, 1999*).

La hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (agua o fertilizante), con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc) para proveer soporte mecánico a la planta (*Resh, 2001*).

Los incrementos en la producción de los cultivos son mayores cuando se utiliza algún sistema hidropónico, en comparación con la producción que se obtiene cuando se utiliza el suelo, como medio de crecimiento radical (*Marfá, 2000*).

En este sistema las plantas pueden desarrollarse en agua o sustratos con baja o nula actividad química, de tal forma que la nutrición se puede controlar perfectamente por medio de una solución nutritiva, modificando así las características morfológicas, el crecimiento y rendimiento de las plantas (*Villegas et al., 2005*).

Para evaluar el efecto de uno o más nutrientes de las soluciones nutritivas en el crecimiento, desarrollo, rendimiento, calidad del producto y absorción de los nutrientes por los cultivos se han llevado a cabo numerosas investigaciones, sin que exista una técnica con aceptación general (*Gallegos et al., 2000*).

En relación con los efectos de NH_4^+ y NO_3^- solos o combinados, ha sido documentado que una proporción óptima de amonio y nitrato favorece el crecimiento de las plantas, mientras que una aplicación excesiva de amonio a la solución nutritiva causará toxicidad a la planta (*Jingquan y Dewei, 1988*).

1.1 Objetivo

Evaluar diferentes relaciones amonio/nitrato en la solución nutritiva en el cultivo de frijol ejotero en hidroponía.

1.2 Hipótesis

El amonio en la solución nutritiva causa efectos positivos en desarrollo y rendimiento del frijol ejotero

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del frijol.

Los estudios arqueológicos revelan que el género *Phaseolus* es originario del área México-Guatemala ya que en estos países se encuentran una gran diversidad de variedades tanto en forma silvestre como en forma de cultivo. Al respecto se han encontrado evidencias con antigüedad de 500 a 8 mil años en algunas regiones de México (*Paredes et al., 2006*).

Existe un relativo acuerdo respecto a su origen: México, que es también el lugar donde se diseminaron las primeras semillas hacia el sur del continente americano, sitio en el que llega a cultivarse (*Voysest, 2000*).

2.2 Clasificación taxonómica.

Super reino..... Eucariota
Reino..... Plantae
División.....Magnoliphyta.
Clase.....Dicotiledóneas
Subclase.....Rósidas
Orden.....Fabales.
Familia.....Fabáceae.
Género.....*Phaseolus*.
Especie.....vulgaris.
Nombre común.....Phaseolus vulgaris L.

2.3 Descripción botánica

El frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es una planta herbácea autógama de ciclo anual, que se cultiva en zonas tropicales y regiones templadas. Se agrupa a la especie denominada termófila, dado que no soporta bajas temperaturas (*Broughton et al., 2003*).

2.3.1 Raíz.

Presenta un sistema radical que desarrolla raíces secundarias y terciarias, es superficial ya que el mayor volumen de la raíz se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad del suelo; los pelos absorbentes, son órganos epidérmicos especializados en la absorción de agua y nutrimentos, se localizan en las partes jóvenes de las raíces laterales estos nódulos son colonizados por bacterias del género *Rhizobium* las cuales son fijadoras del nitrógeno atmosférico (*Betancour y Dávila, 2002*).

2.3.2 Tallo.

El tallo joven es herbáceo al final del ciclo; es cilíndrico y sub glabro o pubescente, puede ser verde, morado o rosado. Es una sucesión de nudos y entrenudos donde se insertan las hojas y los diversos complejos axilares, el tallo o eje principal es de mayor diámetro que las ramas laterales (*Betancour y Dávila, 2002*).

2.3.3 Hoja.

Son de dos tipos: simples y compuestas. Los cotiledones constituyen el primer par de hojas, proveen de sustancias de reserva a la planta durante la germinación y emergencia y elaboran los primeros carbohidratos a través de la fotosíntesis en sus cloroplastos, son de poca duración, el segundo par y primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo, son simples, opuestas y cortadas. A partir del tercer nudo se desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas, de tres folíolos, un peciolo y un raquis. Presentan variación en cuanto a tamaño, color y pilosidad (*Beebe et al.*, 2000).

2.3.4 Flor.

Las flores de frijol desarrollan en una inflorescencia de racimo, la cual puede ser terminal como sucede en las variedades de hábito determinado o lateral en las indeterminadas. La inflorescencia consta de pedúnculo raquis, brácteas y botones florales. Los botones florales desarrollan en las axilas de las brácteas. Pueden ser blancas, rosada o de color púrpura (*Beebe et al.*, 2001).

2.3.5 Fruto.

El fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas. Legumbre de color, formas y dimensiones variables, en cuyo interior se disponen de 4 a 6 semillas. Existen frutos de color verde, amarillo jaspeado de marrón o rojo sobre verde, aunque los más demandados por el consumidor son los verdes y amarillos con forma cilíndrica como acintada (*Dávila*, 2002).

2.3.6 Semillas.

Las semillas se unen a las valvas en forma alterna sobre la sutura placental. Las divergencias laterales están constituidas por los cotiledones y las dos hojas primarias verdaderas; El embrión se sitúa 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).

2.4 Importancia del frijol en México.

El frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) es cultivado y consumido en casi todo el mundo. Las proteínas son proporcionadas por esta leguminosa. El frijol representa también una dieta integral de la dieta proteica para de la población mundial, y producido en grandes cantidades en el sur, centro y norte de América, y el este de África (*Sánchez et al.*, 2006).

El frijol es un alimento básico en la dieta del mexicano, además de ser consumido como semilla seca, la vaina se aprovecha como verdura (ejotes), la cual aporta a la dieta del ser humano vitaminas y minerales que éste no sintetiza. En este sentido, *Esquivel et al.*, (2006) menciona que el “ejote” es una fuente importante de proteínas, calcio y vitaminas (principalmente del complejo B).

El frijol ejotero tiene vainas con mesocarpo grueso y succulento, y una reducida o nula cantidad de fibras en las paredes y suturas, además de tener poca fibra las variedades ejoterías deben tener otras características morfológicas y culinarias que las distinguen dentro de la especie (*Myers*, 2000).

En otros países existen variedades de frijol seleccionadas por calidad culinaria y comercial de los ejotes, ya sea para su consumo en fresco o para la industria. Además contribuye en la alimentación humana por su contenido de proteína, fibra, calcio y vitamina A (*Singh, 2001*).

En México, la superficie promedio sembrada con frijol ejotero entre 1993 y el 2002 fue de 8,993 ha, con una variación desde 6,368 ha en 1993 hasta más de 11,000 el 2002; el rendimiento obtenido de frijol ejotero el mismo periodo fue de 7.8 ton ha⁻¹ de vainas tiernas (*SAGARPA, 2004*).

Si se considera la producción obtenida en el 2000 y una población de 100 millones de personas, puede decirse que en México el consumo anual por persona es de 1.1 kg de ejotes (*Esquivel et al., 2006*).

En el estado de México la producción de ejote está destinada para satisfacer el mercado local, pero en los últimos años, la superficie cultivada con esta verdura en la entidad ha ido disminuyendo (*SAGARPA, 2003*).

Actualmente existe la tendencia a incrementar el consumo de verduras en la dieta, por lo que se prevé un aumento en la demanda de ejotes a nivel nacional. Para atender la demanda de frijol ejotero es necesario aumentar la producción y mejorar su calidad nutricional, los estados de Puebla, Morelos y Sinaloa son los de más alto rendimiento (*Myers, 2000*).

Acosta et al., (2000) señalan que los incrementos en la producción de los cultivos son mayores cuando se utiliza algún sistema hidropónico o cultivo sin suelo, en comparación con la producción que se obtiene cuando se utiliza el suelo, como medio de crecimiento radical.

Escalante (2001) señala que el potencial en la producción de materia seca en los cultivos depende principalmente de los suministros de nitrógeno y además que la fertilización nitrogenada eleva la eficiencia en el uso del agua y el rendimiento.

García et al., (2003) mencionan que en los cultivos hidropónicos, existe un mejor control nutrición a la planta, ya que los nutrimentos son suministrados a partir de una solución nutritiva que a diferencia del suelo es homogénea.

2.5 Solución nutritiva

Juárez et al., (2006) señala que la Solución Nutritiva consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. Varias soluciones nutritivas han sido propuestas y hechas para hacer crecer las plantas en hidroponía, y su composición química varía ampliamente con los elementos que necesita la planta. Es necesario que la solución nutritiva tenga un balance adecuado, para que las plantas absorban los nutrimentos; en caso contrario, se producirá un desequilibrio entre los nutrimentos, lo que dará lugar a excesos o deficiencias en los cultivos y afectará su producción.

Algunos autores señalan que existen diferencias en la concentración química de la solución nutritiva, esto se debe a la especie y a la etapa fenológicas del cultivo,

señalan que la planta no absorbe nutrimentos en la misma cantidad durante el ciclo, ya que lo hace según la etapa fenológica y las condiciones climáticas (*Lara, 1999*).

Steiner (1984) señala que la composición química de una solución nutritiva está determinada por las proporciones de nutrientes expresadas como aniones y cationes, la presión osmótica y el pH una vez establecidos estos, el pH es regulado.

2.5.1 El pH de la solución nutritiva

Favela et al., (2006) señalan que el pH de la solución nutritiva se encuentra determinado por la concentración de los ácidos y de las bases. En una verdadera solución nutritiva se tienen todos los iones en forma libre y activa y que el pH es importante para determinar la disponibilidad de algunos iones. Una vez establecidos el equilibrio entre los iones (aniones y cationes), el pH se ajusta de acuerdo al tipo que necesita la planta dependiendo del cultivo.

Lara (1999) indica que el pH apropiado para una solución nutritiva y para el desarrollo óptimo de un cultivo en hidroponía varía entre 5 y 6. Sin embargo, este no es estable, sino que varía en función en la diferencia por la absorción de nutrientes por las plantas y la etapa fenológica.

2.5.2 Presión osmótica

Preciado (2003) señala que la respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo a la solución nutritiva del cultivo hidropónico depende de varios factores, el más importante de estos es la concentración total de iones, expresada como presión osmótica de la solución nutritiva.

Juárez et al., (2006) señala que la presión osmótica es una propiedad físico-química de las soluciones nutritivas y que afecta considerablemente la absorción de los diferentes iones en función del tipo de nutrimento, de la concentración absoluta y la relativa, de la especie, la variedad y la etapa fenológica.

La presión osmótica es la cantidad total de los iones de las sales disueltas en la solución nutritiva; cuanto más aumenta la cantidad de iones más se incrementa esta presión. Además es un factor muy importante a considerar por que determina fuertemente el crecimiento, desarrollo y producción de una planta (*Juárez et al., 2006*).

Al aumentar la presión osmótica en la solución nutritiva la planta tiene que realizar un mayor esfuerzo para absorber el agua y especialmente aquellos que se mueven por flujos de masas (*Marschner, 2002*).

2.5.3 Relaciones mutuas entre aniones y cationes.

Favela et al., (2006) indican que Steiner estableció el concepto de relación mutua entre los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} y K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} para los cationes. Se basó en que la solución nutritiva debe estar regulada en sus macronutrientes contenidos tanto en cationes como en aniones. Este balance consiste solo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, y también en la relación cuantitativa.

Es muy importante que la solución nutritiva tenga un equilibrio adecuado, para que las plantas absorban los nutrimentos; por lo contrario puede tener respuestas negativas en la absorción, distribución y función de un nutrimento en especial y por consecuencia de esto se producirá un desequilibrio entre los nutrimentos, lo que dará lugar a excesos o deficiencias en el medio de cultivo y afectará su crecimiento y producción (*Villegas et al., 2005*).

Juárez et al., (2006) afirman que cuando la solución nutritiva es aplicada continuamente las plantas pueden absorber los nutrientes a muy bajas concentraciones, esto ocasiona que las plantas no absorban la cantidad necesaria de agua y nutrimentos y provoque deficiencia, por otro lado el consumo excesivo puede causar toxicidad.

Los nutrimentos que requiere la planta van dependiendo de la etapa fenológica. *Gertsson (1995)*, señala que cuando la planta pasa de una etapa fenológica a otra cambia su actividad metabólica, lo que provoca cambios en los órganos y requerimientos de otros nutrimentos.

2.5.4 Concentración de amonio en la solución nutritiva

Favela et al., (2006) señala que el nitrato (NO_3^-) es la fuente de nitrógeno más adecuada para la mayoría de los cultivos, en cambio el amonio (NH_4^+) solamente es adecuado para ciertos cultivos adaptados a suelos ácidos y temperaturas frías.

Bugarín et al., (1998) señalan que cuando existe mucho amonio en el sistema radical reduce el nivel del potasio absorbido y la planta presenta marchitamiento, otro efecto es que reduce el crecimiento de la planta que puede deberse a la acidez de la solución nutritiva.

Favela et al., (2006) señala que las plantas jóvenes absorben el N-NH_4^+ más rápidamente que el N-NO_3^- . Lo anterior probablemente se debe a que las plantas jóvenes no han desarrollado aún la enzima nitrato-reductasa que es una enzima que se encarga de reducir el los nitratos a amonio.

A este ión se le conoce como la golosina de las plantas, porque la absorben aceleradamente, lo que propicia la rápida recuperación de las plantas. El efecto tóxico del NH_4^+ se vuelve menos drástico en la medida que avanza la etapa fenológica (*Caraveo, 1994*).

2.5.5 Solución Nutritiva Universal de Steiner

Steiner (1961), desarrolló un método para calcular una fórmula para la composición de una solución nutritiva, la cual satisface ciertos requerimientos. *Coic (1973)* y *Steiner (1980)* indican que la composición y concentración de una solución nutritiva depende de la clase del cultivo, de la fase del desarrollo y del medio ambiente.

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⁻¹. Las relaciones mutuas entre los iones en la Solución Nutritiva Universal de Steiner en porcentaje del total de me L⁻¹ es de 60:5:35 para NO₃⁻: H₂PO₄⁻: SO₄²⁻ y 35:45:20 para K⁺: Ca²⁺:Mg²⁺.

2.6 Asimilación de nitrógeno por las plantas

En la tierra el nitrógeno está disponible para las plantas en diferentes formas, como por ejemplo el nitrógeno molecular, amoniac (NH₄⁺) volátil y el nitrógeno mineral (NO₃⁻ y NH₄⁺) y orgánico (*Von Wiren et al., 1997*).

La fertilización nitrogenada también juega un papel significant en la calidad de los cultivos (*Sisson et al., 1991*). Bajo deficiencias de nitrógeno las plantas pueden sufrir alteraciones en su crecimiento y rendimiento final, alteraciones que pueden ser particularmente severas durante los estados críticos de crecimiento (*Jones, 1997*).

Muchas de las especies vegetales tienen efectos cuando se exponen a altas concentraciones de nitrógeno en forma de amonio y muestra síntomas como son: reducción del crecimiento, hojas pequeñas, raíces delgadas (raqúiticas) y en algunos casos la muerte de la planta (*Jones, 1997*).

2.7.- Relaciones N-NH₄⁺/N-NO₃⁻ en estudios de nutrición vegetal

Se han llevado a cabo muchos estudios para observar el efecto de la relación NH₄⁺/NO₃⁻ en cultivos sin suelo. Al parecer, la relación óptima varía considerablemente entre cultivos.

Morgan (2001) señala que en un estudio realizado con plantas de pimiento, la relación de amonio/nitrato afectó la absorción de algunos nutrientes tales como el potasio, calcio y magnesio. Las plantas fueron cultivadas con ambas formas nitrogenadas en una relación de 20 % de amonio y 80 % de nitrato, esta última tuvo una baja absorción de nutrientes por la luminosidad a diferencia de las plantas a nutridas con nitrato. Al momento de hacer los análisis la relación de amonio y nitrato tuvo un decrecimiento en altura, peso total y rendimiento, pero cuando la luminosidad es baja las plantas a las que se les suministró nitrato y amonio incrementaron en la altura, en rendimiento y en peso total en un 10 % en comparación a las que solamente fueron nitrogenadas con nitrato.

Jeong y Lee (1999) señalan que con una relación de 15 % de amonio y 85 % de nitratos encontraron mejores resultados en el crecimiento de plántulas de chile. Mientras que dosis altas causan toxicidad y disminuyen el crecimiento (*Siddiqi et al., 2002*).

Preciado et al., (2008) reportó que las concentraciones menores a 1.8 me L⁻¹ dan como resultado mayor peso seco, área foliar y contenido de clorofila en las plantas a diferencia cuando son mayores de 3 me L⁻¹ ya que la planta sufre toxicidad por amonio y el contenido de clorofila disminuye.

González et al., (2009) reportó que cuando utilizó una relación de 20/80 ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$), así observó una mayor respuesta de la planta obteniendo una mayor altura, área foliar y biomasa total a diferencia de los valores obtenidos en plantas tratadas con soluciones nutritivas que únicamente contenían alguna de la fuente individual de nitrógeno.

Kyunghwan y Yongbeom (2004) reportaron un incremento en la producción de biomasa en albahaca al utilizar relaciones de nitrato/amonio de 30:70 y 15:85 que son resultados parecidos reportados por *Miyoung y Byoungryong (2001)* quienes utilizaron una relación 25/75 de amonio/nitrato en el cultivo de petunias.

Morgan (2001) reporta otro estudio realizado en plantas de lechuga se demostró que con la presencia de amonio en la solución nutritiva produce quemadura de puntas (tipburn) a diferencia de las fertilizadas con nitrato y que la absorción de calcio es estimulada por el nitrato y bloqueada por el amonio. En este trabajo se reporta un mayor crecimiento en las plantas de lechuga con un incremento de amonio con un pH entre 6.0 y 7.0

Palaniswamy et al., (2000) realizaron un estudio en el que evaluaron cuatro relaciones amonio/nitrato (0/100, 25/75; 50/50; 75/25) en la solución nutritiva en Verdolaga (*Portulaca oleracea*) reportando que el número de ramas, el peso fresco de parte aérea y los pesos secos de parte aérea y hojas no tuvieron diferencias significativas, mientras que la altura de planta fue mayor con el tratamiento al que se le agregó una pequeña dosis de amonio (25/75).

Meyra (2008) evaluó cuatro relaciones de amonio/nitrato (0/100, 25/75, 50/50, 75/25) en el cultivo ornamental de colleja (*Silene vulgaris*) y reportó que al incrementar amonio en la solución nutritiva con un porcentaje de 25/75 obtuvo mayores alturas, el mayor contenido de clorofila lo obtuvo en el tratamiento con 75/25 y el mayor peso seco y rendimiento los obtuvo al incrementar una pequeña dosis de amonio a la solución nutritiva (25/75).

2.8 Absorción de amonio por la planta

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante que se encuentra en el tejido vegetal después del Carbono, Oxígeno e Hidrógeno, además éste es parte importante de un gran número de los constituyentes de las plantas, proteína y clorofila, entre otros. Las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitrato o amonio, por lo que en hidroponía es posible utilizarlos en las soluciones nutritivas (González et al., 2009).

Se tiende a argumentar sobre el uso de amonio en hidroponía debido a que tiene mucha influencia en el crecimiento y calidad de muchos cultivos. Si solamente tenemos nitrato y es absorbido sufre una reducción a amonio y para esto se requiere de energía por parte de la planta. Existe una enzima llamada “nitrato reductasa” y es la que se encarga de este proceso, para acortar este proceso se recomienda agregar directamente el amonio a la planta y así el crecimiento puede incrementarse y la planta tendría más reservas disponibles para su desarrollo (Morgan, 2000).

La absorción de amonio desde la solución nutritiva debe ser regulada con cuidado debido a que existen rangos de tolerancia y también depende de la presencia de nitratos. Si el amonio se suministra en exceso y es absorbido por la planta puede

causar un rápido y excesivo crecimiento vegetativo pero a su vez puede ocasionar toxicidad, por lo que se recomienda que el amonio no exceda el 15 %. Sin embargo esto depende del tipo de cultivo ya que las plantas difieren en la tolerancia del amonio y también depende de las condiciones ambientales como temperatura y luz (*Gallegos et al., 2000*).

Los síntomas de toxicidad por amonio varían dependiendo del cultivo, y de la cantidad agregada de amonio en la solución nutritiva. El primer síntoma puede ser amarillamiento, en algunos cultivos como tomate y berenjena ocurren lesiones foliares y las hojas se curvan hacia arriba y si no es corregido a tiempo la planta dejará de crecer (*Morgan, 2000*).

La toxicidad debido a altos niveles de amonio en la zona radical puede ser prevenida o corregida si el pH de la solución nutritiva se mantiene en 7 (neutro), si el pH disminuye la planta presentará toxicidad. En experimentos realizados con ejotes, pepino y arveja cultivados solo con amonio mantienen su crecimiento normal si el pH se mantiene neutro y en plantas que recibieron el mismo tratamiento de nutrición y sin control de pH las plantas presentaron toxicidad (*Morgan, 2000*).

La mayoría de las especies vegetales prefieren nitrato, a diferencia del amonio que al aplicarlo en altas concentraciones resulta tóxico para el metabolismo de las plantas por lo que se sugiere aplicar amonio a la solución nutritiva en menor cantidad que nitrato (*Steiner, 1984*).

Se conoce que la forma N-NO_3^- es preferencialmente absorbida por la mayoría de las plantas vasculares, mientras que la forma N-NH_4^+ resulta tóxica para muchas de ellas, incluso en bajas concentraciones, ya sea cuando es la única fuente de nitrógeno o en combinaciones con nitrato (*Bugarín et al., 1998b*).

No obstante, se ha demostrado que el amonio es preferentemente absorbido por la planta, en lugar de nitrato, cuando su concentración es mayor que 10 % del nitrógeno total presente en la solución y que la adición de amonio a la solución nutritiva en concentraciones menores que 30 % del nitrógeno total permite incrementar las tasas de crecimiento en las plantas de y tienen un efecto favorable en el número de inflorescencias, tallos y color verde de las hojas (*Bugarín et al., 1998a*).

En hidroponía, las cantidades estándar de amonio incorporadas en las soluciones nutritivas varían de un 5 al 10 % del nitrógeno total y difícilmente excederá 15 %. La adición de amonio ocurre simplemente durante el crecimiento del cultivo en relación con el pH en el ambiente de la zona radical, lo que provoca que disminuya el pH en el entorno de las raíces, debido a una activación en la absorción de amonio y una disminución en la absorción de nitrato. El pH óptimo en la solución está entre 5 y 6 para casi todos los cultivos (*Sonneveld y Voogt, 2009*).

Hageman (1992), Maldonado (1993), Salisbury y Ross (1994) han documentado ampliamente que las plantas pueden utilizar nitrato y amonio como fuente de nitrógeno adecuada para obtener la máxima productividad de la cosecha.

Mengel y Kirkby, (2000) reportaron los resultados de diversos trabajos, a partir de las cuales se estableció que muchas especies de plantas crecen mejor cuando son suministradas con nitrato que con sales de amonio.

Bugarín et al., (1998a) reporta que en crisantemos la biomasa aérea total, en términos de peso fresco y seco fue mayor con el nivel más alto de amonio, es decir, que a mayor concentración de amonio mayor fue la acumulación de materia seca total.

Gallegos et al., (2000), han documentado que cuando se aplica una proporción óptima de nitrato y amonio a la solución nutritiva esta favorece el crecimiento y rendimiento de la planta, mientras que una absorción y acumulación excesiva de amonio puede causar toxicidad.

De acuerdo con *Sandoval (1992)*, en el caso del trigo (*Triticum aestivum L.*), es posible tener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea amonio en relaciones menores que o iguales a 50 % de la cantidad de nitrógeno que cuando la planta es suministrada exclusivamente con nitrato.

Está documentado que varias especies de plantas pueden incrementar su crecimiento con aportes combinados de nitrato y de amonio comparado con cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado, sin embargo, hay diferencias importantes entre especies y cultivares de plantas con respecto a la concentración de amonio y nitrato que puede ser tolerada (*Claussen y Lenz, 1999*).

Griffith y Streeter (1994) reportaron que bajo temperaturas frías y condiciones de suelo húmedo el amonio es la forma nitrogenada más importante para el crecimiento y desarrollo de algunas plantas.

Dentro de los estudios recientes realizados con frijol ejotero, destacan los de *Morales y Escalante (2004)* evaluando diferentes niveles de nitrógeno y fósforo reportaron una mayor producción de biomasa y rendimiento de frijol.

Se ha demostrado que un adecuado balance entre el amonio y el nitrato hace máxima la eficiencia y absorción de nitrógeno y promueve mejor el crecimiento de las plantas pero solo bajo ciertas circunstancias y este efecto benéfico varía entre cultivos (*Bugarín et al., 1998b*).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La comarca lagunera se localiza en la parte 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 grados centígrados, pero puede alcanzar hasta 44.4 °C en verano y -8.5 °C 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 Regional Laguna, que se localiza entre las coordenadas 25° 34' N y 103° 22'O a una altitud de 1126 msnm.

3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y siete repeticiones, teniendo 35 parcelas experimentales que fueron conformadas por una maceta de cinco litros de capacidad y en cada maceta contenía dos plantas de frijol por repetición. Los tratamientos en estudio se indican en el cuadro siguiente.

Cuadro 1. Tratamientos de estudio.

| NH ₄ ⁺ / NO ₃ ⁻ % | NO ₃ | H ₂ PO ₄ | SO ₄ me L ⁻¹ | K | Ca | Mg | NH ₄ |
|--|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|------|------|-----|-----------------|
| 0/100 | 12 | 1 | 7 | 7 | 9 | 4 | 0 |
| 4/96 | 11.5 | 1.06 | 7.43 | 6.82 | 8.7 | 3.9 | 0.5 |
| 8/92 | 11 | 1.12 | 7.87 | 6.65 | 8.55 | 3.8 | 1 |
| 13/87 | 10.5 | 1.18 | 8.31 | 6.47 | 8.32 | 3.7 | 1.5 |
| 17/83 | 10 | 1.25 | 8.75 | 6.3 | 8.1 | 3.6 | 2 |

3.4.- Análisis del 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 utilizado en el experimento.

| PARAMETROS | VALOR |
|--|-------------------------------|
| pH | 7.80 |
| C.E (dS/m) | 1.15 |
| CATIONES SOLUBLES | |
| Ca (me L ⁻¹) | 7.01 |
| Mg (me L ⁻¹) | 0.95 |
| Na (me L ⁻¹) | 2.71 |
| K (me L ⁻¹) | 0.22 |
| Σ cationes | 10.89 |
| ANIONES SOLUBLES | |
| CO ₃ (me L ⁻¹) | 0.00 |
| HCO ₃ (me L ⁻¹) | 3.12 |
| Cl (me L ⁻¹) | 2.30 |
| SO ₄ (me L ⁻¹) | 5.23 |
| Σ aniones | 10.65 |
| SAL PREDOMINANTE | |
| RAS | 1.36 |
| Boro (mg L ⁻¹) | 0.30 |
| Nitratos (NO ₃ , mg L ⁻¹) | 7.64 |
| Clasificación | C ₃ S ₁ |

El 5 de junio del 2010 se inició con el llenado de bolsas de cinco litros de capacidad utilizando aproximadamente tres kg de perlita como sustrato, se llenaron 35 bolsas para lo que comprendía el experimento. Se utilizó perlita con una granulometría de 1-3 mm.

3.5 Manejo del cultivo

3.5.1 Germinación de semillas.

El 7 de junio del 2010 se pusieron a germinar las semillas de frijol ejotero utilizando perlita como sustrato, para la germinación se usaron vasos desechables y se depositaron de dos a cuatro semillas por vaso y después aplicar un riego para que las semillas y el sustrato quedaran mojados.

3.5.2 Trasplante

Las plantas germinaron a los tres días de haber sido depositadas en los vasos desechables, y a los 10 días (17 junio del 2010) se realizó el trasplante seleccionando las mejores plantas para sembrarlas en las macetas con perlita.

3.5.3 Preparación de soluciones nutritivas

Para preparar las soluciones nutritivas se utilizaron fertilizantes comerciales.

Cuadro 3. Fertilizantes utilizados en la preparación de soluciones nutritivas para tratamientos de estudio.

| Fertilizantes usados para la preparación de soluciones nutritivas | | | | |
|---|----------------------------|---|---------------------------|---------------------------------|
| Nombre | Fórmula | % del nutriente que aporta | | |
| Fosfato de Potasio | KH_2PO_4 | | 52 P_2O_5 | 34 K_2O |
| Nitrato de calcio | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 15.5 NT (14.2 NO_3 y 1.3 NH_4) | | 26 CaO |
| Nitrato de potasio | KNO_3 | 13 NO_3 | 44 K_2O | 0.5 MgO |
| Nitrato de magnesio | MgNO_3 | 11 NO_3 | | 15.5 MgO |
| Ácido nítrico | HNO_3 | 55 % | Θ 1.35 | |
| Acido sulfúrico | H_2SO_4 | 70 % | Θ 1.85 | |
| Sulfato de amonio | NH_4SO_4 | 13 NH_4^+ | 6.71 SO_4 | 0.5 K_2O y 23 S |

Θ = Densidad

3.5.4 Riegos y fertilización

El primer riego con la solución nutritiva se realizó a los 13 días después de la germinación de las semillas, 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.

3.5.5 Aplicación de micronutrientes

Esto se llevó a cabo el 7 de agosto del 2010 cuando la planta empezó a mostrar los síntomas de deficiencia de algún microelemento, por lo general de fierro. Para esto se utilizó fertilizante quelatado con nombre comercial Maxiquel. Las dosis aplicadas fueron: B 0.5 mg L^{-1} , Zn 1 mg L^{-1} , Mn 0.5 mg L^{-1} , Fe 5 mg L^{-1} .

3.5.6 Plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se presentaron plagas como la mosquita blanca (*Trialeurodes spp.*) y no se nos presentaron enfermedades. Para controlar la plaga de mosquita blanca se utilizaron los insecticidas comerciales diazinon (1.5 mL L^{-1}) y cipermetrina (2 mL L^{-1}).

3.5.7 Cosecha

Esto se realizó cuando en la vaina del ejote se comenzaban a notar los granos del frijol se basó en el toque de las vainas. Se realizaron dos cosechas en el mes de Agosto del 2010.

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 Número de hojas.

Esto se realizó al momento de medir la altura de las plantas, al mismo tiempo se contabilizó el número de hojas por planta.

3.6.3 Número de vainas

Esto se realizó después de cosechar las vainas de frijol, se sacó un promedio de acuerdo a cada maceta de estudio realizado de las dos cosechas.

3.6.4 Peso de la vaina

Para esta variable se registró el peso fresco de la vaina de frijol en una báscula digital reportando el peso en gramos.

3.6.5 Longitud de la vaina

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

3.6.6 Medición indirecta de clorofila con el SPAD-502

Esta variable se determinó al colocar hojas en la ventana receptora del instrumento llamado SPAD-502 que sirvió para medir indirectamente la cantidad de clorofila.

3.6.7 Peso de la materia seca total.

Para determinar el peso seco total de materia seca se procedió a secar hojas, vainas y planta, para esto se utilizó una estufa de laboratorio. Se metió el material a la estufa a una temperatura de 72 °C por 48 horas, después se pesó el material seco y se registraron los datos en gramos.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y para la separación de medios se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Variables evaluadas

En el análisis estadístico presentó diferencia significativa para las variables altura de planta, peso de la vaina y semillas por vaina, mientras para: número de hojas, vainas por planta, longitud de vaina, rendimiento, peso de la materia seca total, las diferencias no fueron significativas (Cuadro 4).

Cuadro 4: valores medios de las variables evaluadas en frijol ejotero.

| $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ | ALT cm | NH | NV | PV gr | LV Cm | SV | RT gr | PST Gr | MIC |
|-------------------------------|-----------|--------|--------|----------|----------|--------|----------|-----------|---------|
| 0/100 | 37.35b | 31.0a | 32.57a | 4.28b | 11.25a | 4.0b | 140.7a | 40.24a | 38.64 a |
| 4/96 | 39.50ab | 31.0a | 29.28a | 4.41ab | 10.98a | 4.42ab | 123.3a | 42.08a | 38.22a |
| 8/92 | 43.35ab | 33.71a | 32.14a | 4.71a | 11.24a | 4.71a | 149.4a | 41.5a | 37.97a |
| 13/87 | 44.85ab | 35.71a | 33.85a | 4.57ab | 11.05a | 4.28ab | 155.9a | 41.86a | 37.78a |
| 17/83 | 48.14a | 35.07a | 32.42a | 4.68ab | 11.14a | 4.57ab | 155.7a | 42.16a | 38.22a |

ALT= Altura NH= Núm. de hojas NV=Núm. de vainas PV= Peso de vainas LV= Longitud de vainas SV= Semillas por vaina RT= Rendimiento total PST= Peso seco total MIC= Medida Indirecta de Clorofila. Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente similares Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2 ALTURA

El análisis de varianza para la altura de la planta presentó diferencia significativa, (Figura 1). La mayor altura de la planta correspondió al tratamiento con la relación amonio/nitrato de 17/83 con 48.14 cm, seguido por el tratamiento con la relación 13/87 con 44.85; mientras que la relación 0/100 presentó la menor altura con 37.35 cm. La mayor altura de la planta del tratamiento cinco fue debido que al aumentar el amonio en la solución nutritiva, la planta produce mayor altura y biomasa, similares resultados fueron reportados por *Preciado et al., (2008)* en la producción de plántulas de chile jalapeño ya que al suministrar una pequeña cantidad de NH_4^+ en la solución nutritiva obtuvo una mayor altura en las plántulas. Una mayor altura de planta trae consigo una mayor posibilidad de contar con mayor cantidad de hojas y por lo tanto mayor área foliar y mayor producción de fotoasimilados y esto se refleja en un mayor rendimiento (*Garduño, 2009*).

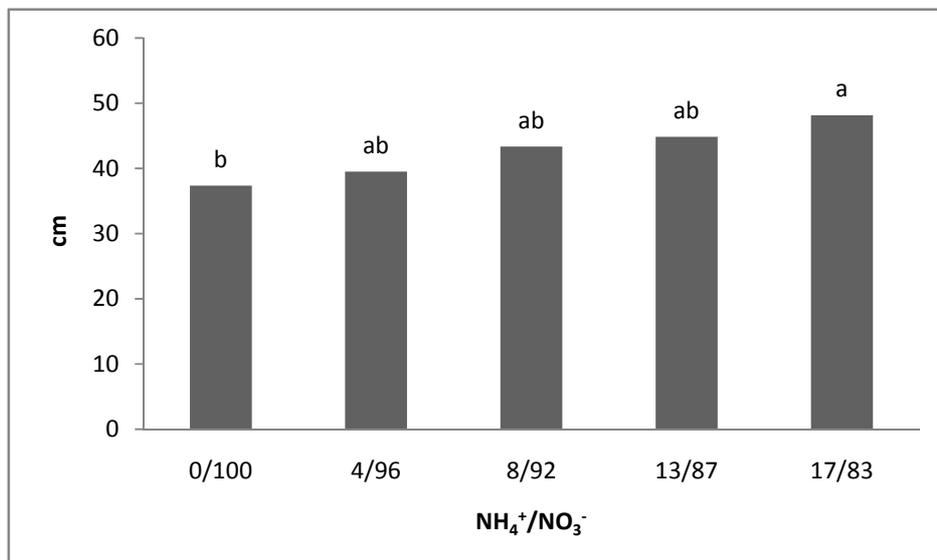


Figura 1. Altura de planta en diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.3 Número de hojas

En esta variable el análisis estadístico no mostró significancia, lo anterior significa que los tratamientos no tuvieron efecto en esta variable (Figura 2). Sin embargo, el tratamiento con la relación amonio/nitrato 13/87 obtuvo en promedio la mayor cantidad de hojas con 35.7 hojas por planta, y el tratamiento con 0/100 y 4/96 con los valores más bajos con 31 hojas por plantas. El mayor número de hojas correspondió al poner nitrógeno en las dos formas iónicas es benéfico para la planta ya que se obtiene una mayor área foliar, *Bugarín et al., 1998* señalan que el número de hojas se incrementa al utilizar ambas fuentes nitrogenadas, resultados parecidos fueron reportados por *González et al., (2009)* al obtener mayor número de hojas en plantas de albahaca al fertilizar con ambas fuentes nitrogenadas. La producción de hojas trae consigo una mayor área foliar y al existir mayor área foliar existe mayor superficie para realizar la fotosíntesis.

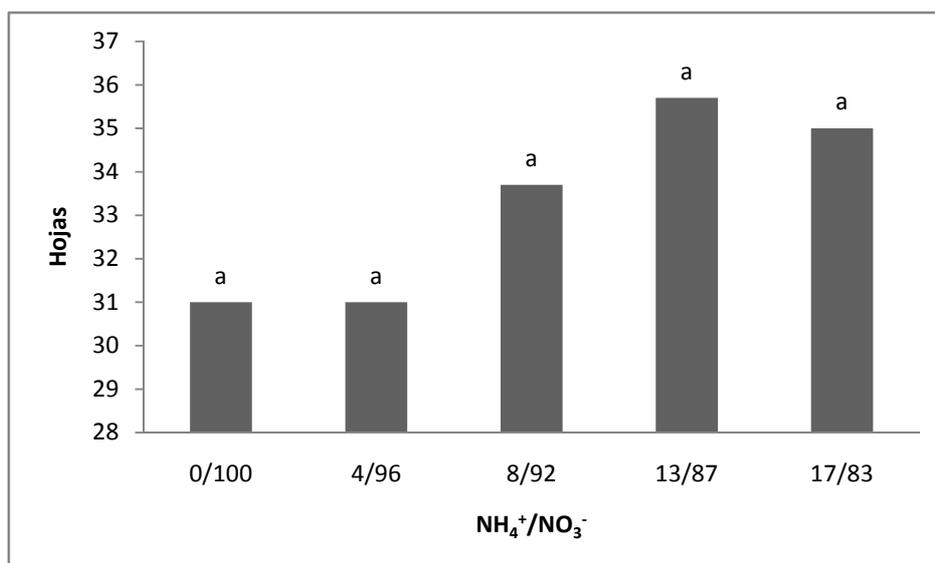


Figura 2. Número de hojas en plantas de frijol por efecto de diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.4 Vainas por planta

El análisis de varianza para el número de vainas por tratamiento no mostró diferencia significativa (Figura 3). El tratamiento con la relación 13/87 mostró una mayor producción de vainas con 33.8 vainas por planta; seguido por el tratamiento al que se le suministró únicamente nitrato, resultados similares fueron encontrados por *Bayuelo et al., (1994)*, al reportar que el incremento de nitrógeno a la solución nutritiva no afectó el número de vainas.

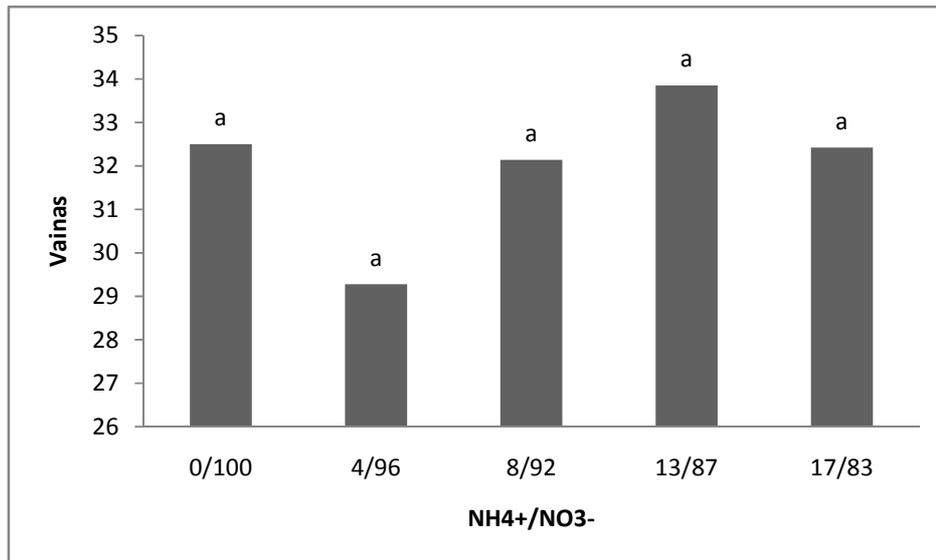


Figura 3. Número de vaina por tratamiento en diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas representan diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.5 Longitud de la vaina

Para esta variable el análisis de varianza no presentó significancia (Figura 4). El tratamiento con la relación 0/100 presentó la mayor longitud con 11.25 cm por vaina, seguido por el tratamiento con 8/92 mientras que la menor longitud de vainas se registró en el tratamiento con 4/96 con 10.98 cm de longitud. *Escalante et al., (2003)*, señala que al utilizar un sistema hidropónico se obtienen mayores resultados en la longitud de la vaina ya que se pueden utilizar ambas formas nitrogenadas (amonio/nitrato) y fertilizar a la planta de forma directa, este resultado no se manifestó en este experimento.

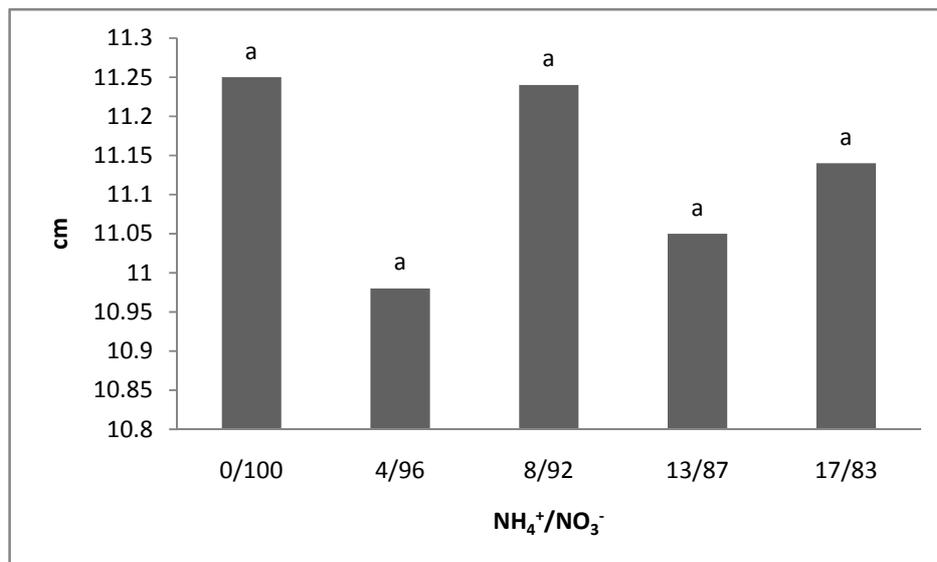


Figura 4. Longitud de vaina de frijol por efecto de diferentes relaciones de NH₄⁺/NO₃⁻ en la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.6 Semillas por vaina

Para esta variable el análisis de varianza presentó diferencia significativa (Figura 5). El tratamiento con la relación amonio/nitrato 8/92 obtuvo la mayor cantidad de semillas/vaina con 4.7 semillas por vaina, seguido por el tratamiento con 17/83 con 4.5 semillas por vaina, y el tratamiento con la relación 0/100 resultó con la menor cantidad con 4 semillas por vaina. El mayor número de semillas por vaina influye en el rendimiento del cultivo (Cárcova et al., 2003), resultados parecidos fueron reportados por Esquivel et al., (2006) al reportar una mayor producción de número de ejotes y un mayor número de semillas en frijol. Al obtener un mayor número de semillas por vaina contribuye a que tengamos un mayor peso de la vaina.

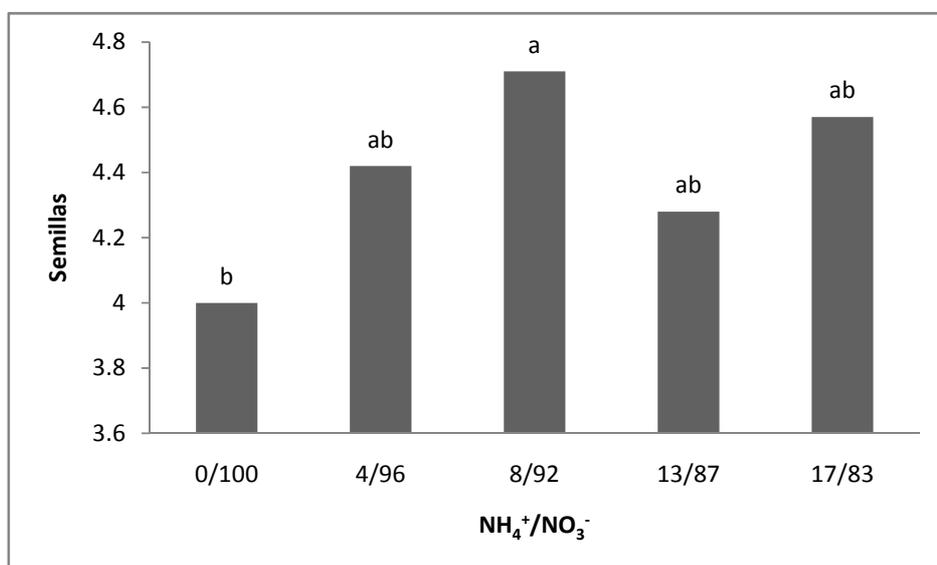


Figura 5. Semillas por vaina de frijol por efecto de diferentes relaciones de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.7 Peso de la vaina

El análisis de varianza para el peso de las vainas presentó diferencia significativa (figura 6). El tratamiento con la relación amonio/nitrato 8/92 presentó el mayor peso de vainas con 4.71 g, seguido por el tratamiento con 17/83 con 4.68 g, mientras que el menor peso se registró en el tratamiento con 0/100 con 4.2 g. El peso de la vaina de vainas por tratamiento se debe a la buena nutrición nitrogenada de la planta y esto influye principalmente en el rendimiento (Cárcova *et al.*, 2003), lo que significa que el peso de la vaina influye en el rendimiento de la planta.

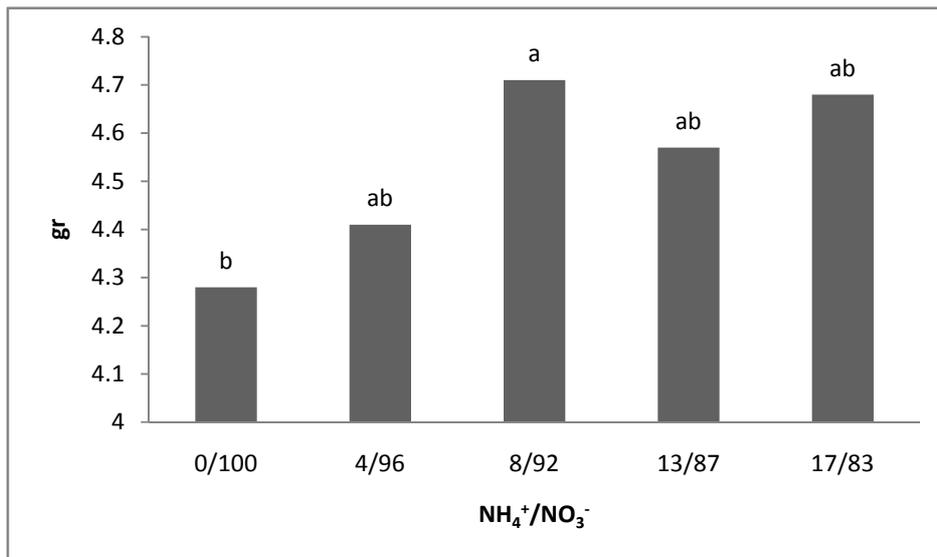


Figura 6. Peso de la vaina de frijol por efecto de diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.8 Rendimiento

El análisis estadístico para esta variable no presentó significancia (figura 7). El tratamiento con la relación amonio/nitrato 13/87 presentó el mejor rendimiento con una media de 155.97 g, seguido por el tratamiento con 17/83 con 155.72 g, el rendimiento más bajo se presentó en el tratamiento con 4/96 con 123.35 g. El mayor rendimiento de un cultivo se debe a la fertilización nitrogenada en ambas formas (amonio y nitrato) por lo que en hidroponía es posible utilizarlos (González *et al.*, 2009), resultados similares fueron reportados por Sandoval *et al.*, (1992) al tener un mayor rendimiento en el cultivo de trigo al utilizar NH_4^+ en porcentajes menores al 50% del nitrógeno total. El mayor rendimiento con la relación amonio/nitrato 13/87 se debió a que con esta relación se obtuvo mejor resultado en área foliar, número de vainas por tratamiento.

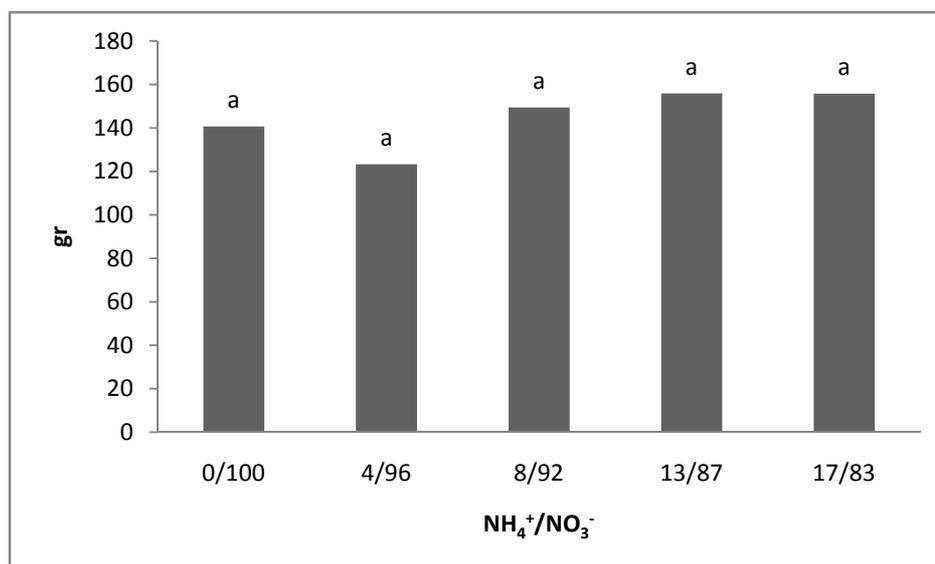


Figura 7. Rendimiento de frijol en diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representa diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.9 Peso seco total

El análisis de varianza para esta variable no presentó significancia (Figura 8). El tratamiento con la relación 17/83 presentó el mayor peso seco con 42.16 gr, seguido por el tratamiento con 4/96 con 42.08 gr, y el tratamiento con 0/100 obtuvo menor cantidad de materia seca. El mayor peso seco o materia seca se debe a una mayor acumulación de biomasa en la parte aérea y que la disponibilidad de los nutrimentos aportados a la planta, resultados parecidos fueron reportados por (García *et al.*, 2003) al obtener una mayor biomasa en el cultivo de frijol utilizando un sistema hidropónico. Este resultado se obtuvo como consecuencia de que el tratamiento 17/83 presentó la mayor altura de las plantas y la segunda mayor número de hojas.

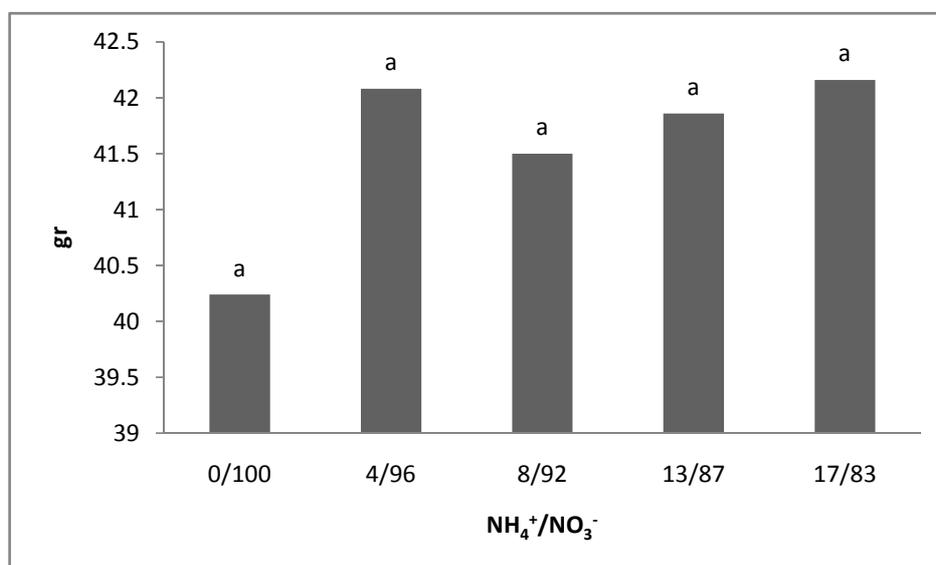


Figura 8. Peso seco de plantas de frijol en diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

4.10 Medida indirecta de clorofila con el SPAD- 502.

El análisis de varianza para la medición indirecta de clorofila no presentó significancia (Figura 9). El mayor contenido de clorofila se obtuvo en el tratamiento con la relación amonio/nitrato de 0/100, seguido por 4/96 y teniendo al tratamiento 13/87 con el contenido más bajo de clorofila. Estos valores han sido correlacionados directamente con el contenido de clorofila (Ruiz *et al.*, 2010) y con el contenido de nitrógeno en las plantas, mismos resultados fueron reportados por Preciado *et al.*, (2011) al encontrar un mayor contenido de clorofila en las plantas de tomate a la que se les aplicó la solución que contenía solamente nitratos.

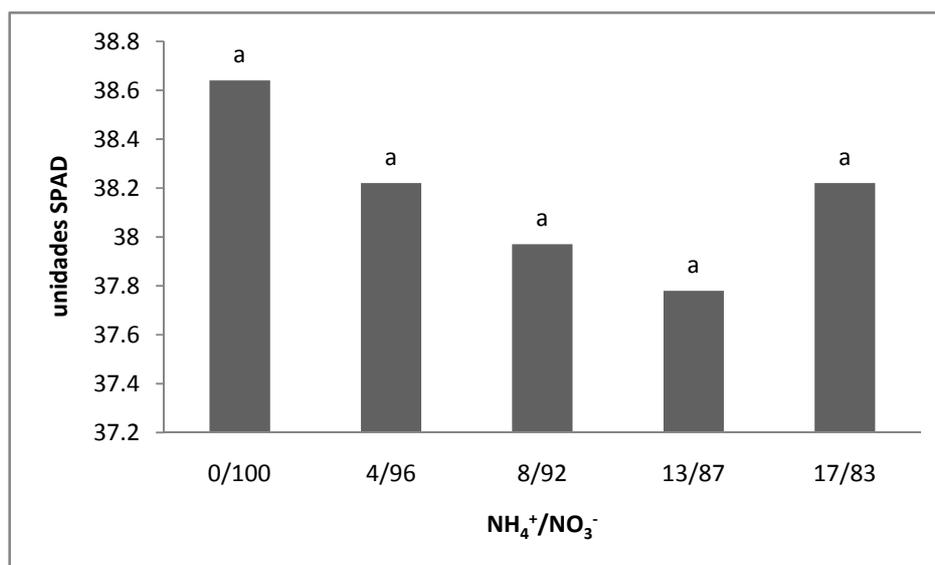


Figura 9. Contenido de clorofila en plantas de frijol en diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva. Letras distintas en cada columna representan diferencia estadística (Tukey $P \leq 0.05$).

V.- CONCLUSIONES

La longitud de vainas y la medida indirecta de clorofila fueron mayores cuando en la solución nutritiva no estuvo presente el amonio.

Para las semillas por vainas y peso de vainas los mayores valores se presentaron con la relación amonio/nitrato de 8/92.

La relación amonio/nitrato de 13/87, presentó efecto positivo en el número de hojas, vainas por tratamiento y en el rendimiento de las plantas.

La relación amonio/nitrato de 17/83 en la solución nutritiva incrementó la biomasa aérea de las plantas, así como el peso seco total.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo se comprobó la hipótesis de que al agregar nitrógeno en forma de amonio en la solución nutritiva se obtienen mejores resultados que al aplicar solo nitratos, tanto en el desarrollo como en el rendimiento del cultivo.

VI.- LITERATURA CITADA

- Acosta G., J.A., R. Rosales S., R. Navarrete M. y E. López S. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica Mexicana*. 26:79-98.
- Barbosa, J.G. Kampf, A.N. Herminia, Otto C. K. and Bohnen, H. 2000. Chrysanthemum cultivation in expanded clay. I. Effect of the nitrogen-phosphorus-potassium ratio in the nutrient solution. *J. Plant Nutr.* 23:1327-1336.
- Bayuelo, J.S.; Escalante E., J.A.; Kohashi S., J.; Baca C.,G. 1994. Efecto de la restricción de nitrógeno sobre la biomasa y sus componentes de *Phaseolus vulgaris* L. *Agrociencia. Serie Fitociencia* 5: 25-33.
- Beebe, S., J. Rengifo, E. Gaitán-Solís, M.C. Duque, and J. Tohme. 2001. Diversity and origin of Andean landraces of common bean. *Crop Sci.* 41:854-862.
- 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.
- Betancour, M.J., and J.E. Dávila. 2002. En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): cultivo, beneficio y variedades. FENALCO., Medellín. Colombia.
- Broughton, WJ; Hernández G; Blair M; Beebe S; Gepts P y Vanderleyden J (2003) Bean (*Phaseolus spp.*) - model food legumes. *Plant and Soil* 252: 55 - 128.
- Bugarín MR. Baca CGA. Martínez HJ. Tirado TJL. Martínez GA. 1998a. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. *Terra* 16:113-124.

- Bugarín MR. Baca CGA. Martínez HJ. Tirado TJL. Martínez GA. 1998b. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. II Extracción nutrimental de hojas. Terra 16: 125-134.
- Caraveo L., F.J. 1994. Relaciones nutrimentales en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) empleando el polvo de bonote de coco como sustrato. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Cárcova J., G.; Abeledo G.; López P., M. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes, pp. 75-95. *In*: Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Satorre H., E.; Benech L., R.; Slafer A., G.; De la Fuente B., E.; Miralles J., D.; Otegui E., M.; Savin R. (eds.). Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- Claussen, W.; Lenz, F. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. Plant Soil 208: 95-102.
- 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 calor y radiación solar en clima cálido. Terra 19: 309-315.
- Esquivel, G. Acosta, J.A. Rosales, R. Pérez, P. 2006. Productividad y adaptación del frijol ejotero en el valle de México. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 12: 119-126.
- Favela, ES; Preciado, RP; Benavides, MA. 2006. Manual para preparar soluciones nutritivas. UAAAN.
- Gallegos, C. Olivares, E. Vázquez, R. Zavala, F. 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.
- Gertsson, U.E. 1995. Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Hort*. 401: 351-356.
- González, J.L. Rodríguez, Ma. N. Sánchez, P. Gaytán, E.A. 2009. Relación nitrato/amonio en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México*. 35:5-11.
- Griffth, S.M. y D. Streeter. 1994. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr*. 17:71-81.
- Hageman, R.H. 1992. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. pp. 67-88. In: R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoefft, G.W. y D.A. Russel (eds). *Nitrogen in crop production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, WI, USA.
- Jeong, B. R. and E. J. Lee. 1999. Growth of plug seedlings of *Capsicum annuum* as affected by ion concentration and NH_4^+ : NO_3^- ratio of nutrient solution. *Acta Hortic*. 481:425-431.
- Jingquan, Y. y C. Dewei. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soilless Culture* 4:51-61.
- Jones B J Jr. 1997. The essential elements. In: *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilles Grower*. B. Jones J Jr. (ed). St. Lucia Press, Boca Raton, Florida. pp. 30-32.
- Juárez, Ma. J. Baca, G.A. Navarro, L.A. García, P. Torres, J.L. Castellanos, J.S. Propuestas para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31:246-253.

- Kyunghwan, Y. and Yongbeom, L. 2004. The effect of N-NO_3^- and N-NH_4^+ ratio in the nutrient solution on growth and quality of sweet basil. Korean J. Hort. Sce & Techn. 22(1):29:36.
- Lara, H.A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra. 17: 221-229.
- Maldonado, J.M. 1993. Asimilación del nitrógeno y del azufre. pp. 215-236. In: J. Azcon B. y M. Talon. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- Marfá, O. 2000. Recirculación de cultivos sin suelo. Ediciones de Horticultura, S.L. Reus, España. p. 177
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. ed. Academic Press. London, England. p. 889.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Traducción al Español de la 4ª edición de R. J. Melgar Y M. Ruíz. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland.
- Miyoung, L. and Byoungryong, J. 2001. Effect of N concentration and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on growth and flowering of *Petunia hybrida* 'Midnight' and 'Romeo'. J. Korean Soc. Hort. Sci. 42:748-751.
- Morales R., E. J.; Escalante E., J. A. 2004. Biomass and seed yield of common bean in sole crop and intercrop. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 47: 207- 208.
- Morgan, L. 2000. El Gran Debate: amonio vs. nitrato. Disponible en Internet. <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/boletin9.htm>. [Consultada: Octubre. 2011].

- Myers, J.R. 2000. Tomorrow's snap bean cultivar, pp. 39-51. In Bean Research, Production and utilization. SINGH, S.P. (ed.). Proceedings of the Idaho Bean Workshops "Celebrating 75 Years of the Cooperative Dry Bean Nursery. Ag. Communications, Univ. of Idaho.
- Palaniswamy, U.R., Mcavoy, R.J. y Bible, B.B., 2000 – Omega-3 fatty acid concentration in *Portulaca oleracea* is altered by nitrogen source in hydroponic solution. Journal of the American Society for Horticultural Science, 125: 4-190.
- Paredes, L.O., F. Guevara L. y L.A. Bello P. (2006). *Los alimentos mágicos de las culturas mesoamericanas*, Fondo de Cultura Económica, 205 p.
- Preciado, R.P. Baca-Castillo, G.A. Tirado-Torres, J.L. Kohashi-Shibata, J. Tijerina-Chávez, L. Martínez-Garza, A. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. Terra Latinoamericana 21:461-470.
- Preciado, RP. Lara, HA. Segura, CMA. Rueda, PE. Orozco, VJA. Yescas, CP. Montemayor, JA. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. Terra Latinoamericana. 26:37-42.
- Resh, H. M., 2001 – Cultivos Hidropónicos, Nuevas técnicas de producción. Madrid, Mundi- Prensa, 5ª Edición rev. y ampl.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- Sánchez, E. Soto, J.M. Ruíz, J.M. Romero, L., 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencia vs toxicidad de nitrógeno. Chapingo, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 29:187-195.
- Sandoval, V., M., G. Alcántar G., J.L. Tirado T. y A. Aguilar S. 1992. Effect of the NH₄⁺/NO₃⁻ ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. J. Plant Nutr. 15:2545-2557.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación. SAGARPA 2004. http://www.siap.sagarpa.gob.mx:8080/siap_apb/ consultado Enero 2011.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación SAGARPA. 2003. Producción de Hortalizas. Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (2 de febrero del 2007).

Siddiqi, M. Y., B. Malhotra, X. Min, and A. D. M. Glass. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponics tomato crop. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165: 191-197.

Singh, S.P. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars. *Crop Sci.* 41:1659-1675.

Sisson V A, T W Rufty, R E Williamson. 1991. Nitrogen-use efficiency among flue-cured tobacco genotypes. *Crop Sci.* 31:1615-1620.

Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 431 pp.

Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture.* Wageningen. The Netherlands.

Villegas, T.O.G., Sánchez, G.P., Baca, C.G.A., Rodríguez, M.M.N., Trejo, C., Sandoval, V.M y Cárdenas, S.E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana.* 23:1:49-56.

Von Wirén, N, S Gazzarrini, W B Frommer. 1997. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. *Plant Soil* 196:191-199.

Voysest V. O. 2000. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Centro Americano de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, 195 p.

