



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



*"Enseñar la explotación de la
tierra, no la del hombre"*

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y DENSIDADES DE
POBLACIÓN EN FRIJOL EJOTERO EN UN SISTEMA
HIDROPÓNICO BAJO INVERNADERO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
RECTOR DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

MA. GUADALUPE DURAN PAREDES

Chapingo, Méx. Junio de 2014

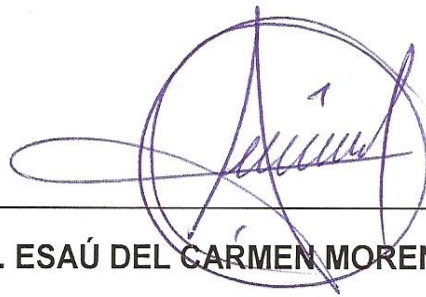


EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y DENSIDADES DE POBLACIÓN EN FRIJOL EJOTERO EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO BAJO INVERNADERO

Tesis realizada por Ma. Guadalupe Duran Paredes, bajo la dirección del comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. ESAÚ DEL CARMEN MORENO PÉREZ

ASESOR:



DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESOR:



DR. J. JESÚS MAGDALENO VILLAR

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a las instituciones y personas que colaboraron en el logro de este objetivo:

Al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto de Horticultura con sede en el Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, por la autorización y facilidades para superarme académicamente y llevar a cabo el presente trabajo.

Al Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por su valiosa dirección de la presente investigación, así como por sus comentarios y recomendaciones durante el experimento y en la revisión del presente estudio.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo, por su asesoramiento, experiencia e invaluable conocimientos aportados en la realización y revisión de la presente investigación.

Al Dr. J. Jesús Magdaleno Villar, por su gran apoyo en la fase de campo, sus consejos, asesoramiento, revisión de tesis y disposición en todo momento a favor del presente proyecto.

Asimismo agradezco el apoyo recibido de mis profesores, compañeros y amigos, durante mis estudios de Maestría.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada con mucho cariño a todos los seres que han contribuido en mi formación profesional y que han estado conmigo en todo momento de mi vida.

A mi esposo

J. Jesús Magdaleno Villar

Por su amor, comprensión y por su apoyo moral para seguir superándome
profesionalmente

A mis hijos

Jesús y Fernanda

Que son la motivación para seguir adelante

A mis padres

Alfredo Duran Magdaleno y María del Roció Paredes Vega

Con cariño y respeto por traerme al mundo y darme la oportunidad de estudiar
para ser un buen elemento en la sociedad.

A mis hermanos

Alfredo, Ana María y Roció

Les deseo siempre lo mejor.

Sinceramente,

Ma. Guadalupe Duran Paredes

DATOS BIOGRÁFICOS

La ingeniero Ma. Guadalupe Durán Paredes, nació en Pénjamo, Guanajuato, el siete de Octubre de 1970. Ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en el año 1985 obteniendo el título de Ing. Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola en el año de 1992 con la tesis: Ciclo de vida y preferencia de *Diadegma sp.* (Hymenoptera: Ichneumonidae) a la palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (Diptera: Plutellidae) en Chapingo, México. De abril de 1994 a febrero de 1995 trabajó en Bodegas Rurales CONASUPO (BORUCONSA) oficinas ubicadas en la Ciudad de México. Desde febrero de 1995 labora para SENASICA-SAGARPA en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. En enero de 2012 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, donde inició estudios de Maestría en Ciencias en horticultura, en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la misma universidad.

CONTENIDO

APROBACIÓN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
DATOS BIOGRÁFICOS	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN GENERAL	xiii
GENERAL ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del cultivo	4
2.2. Uso de invernaderos en la producción de cultivos	5
2.3. La hidroponía como sistema de producción	8
2.4. Huerto comercial hidropónico	10
2.5. Necesidades climáticas del frijol ejotero	12
2.6. Necesidades nutrimentales del frijol ejotero	13
2.7. Análisis de crecimiento de la planta	14
2.8. Plagas y enfermedades	15
2.9. Trabajos realizados con frijol ejotero a campo abierto	17
3. EVALUACION DE VARIEDADES I: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN DOS DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA	19

3.1.	RESUMEN	19
3.2	ABSTRACT	19
3.3	INTRODUCCIÓN	20
3.4.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.5.1	Variedades de hábito determinado	27
3.5.1.1.	Variables fenológicas	27
3.5.1.2.	Variables del rendimiento y sus componentes	29
3.5.2.	Variedades de hábito indeterminado	33
3.5.2.1.	Variables fenológicas	33
3.5.2.2.	Variables del rendimiento y sus componentes	35
3.6.	CONCLUSIONES	41
3.7	LITERATURA CITADA	42
4	EVALUACIÓN DE VARIEDADES II MANEJO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN TRES DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO	45
4.1.	RESUMEN	45
4.2	ABSTRACT	45
4.3	INTRODUCCIÓN	46
4.4.	MATERIALES Y MÉTODOS	47
4.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.5.1.	Variedades de hábito determinado	55
4.5.1.1.	Variables fenológicas	55
4.5.1.2.	Variables morfológicas	57

4.5.1.3.	Variables fisiológicas y del crecimiento	59
4.5.1.4.	Variables del rendimiento y sus componentes	62
4.5.2.	Variedades de hábito indeterminado	65
4.5.2.1.	Variables fenológicas	65
4.5.2.2.	Variables morfológicas	67
4.5.2.3.	Variables fisiológicas y del crecimiento	69
4.5.2.4.	Variables del rendimiento y sus componentes	71
4.6.	CONCLUSIONES	76
4.7.	LITERATURA CITADA	77
5	LITERATURA GENERAL CITADA	81

ÍNDICE DE CUADROS

3	EVALUACION DE VARIEDADES I: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN DOS DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA	19
Cuadro 1.	Características de las variedades de frijol ejotero evaluadas en el presente estudio.	22
Cuadro 2.	Solución nutritiva utilizada durante el crecimiento y desarrollo de plantas de frijol ejotero.	24
Cuadro 3.	Análisis de varianza de variables fenológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.	38
Cuadro 4.	Comparaciones de medias de variables fenológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.	29
Cuadro 5.	Análisis de varianza de variables del rendimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2012.	30
Cuadro 6.	Comparaciones de medias de variables del rendimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.	31
Cuadro 7.	Comparación de medias de dos densidades de población en variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2012.	33
Cuadro 8.	Análisis de varianza de variables fenológicas en 10 variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2012.	34
Cuadro 9.	Comparaciones de medias de variables fenológicas en 10 variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2012.	35

Cuadro 10.	Análisis de varianza de las variables del rendimiento y sus componentes en 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.	36
Cuadro 11.	Comparaciones de medias de variables del rendimiento y sus componentes en 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.	38
Cuadro 12.	Comparación de medias de dos densidades de población en variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.	40
4	EVALUACIÓN DE VARIEDADES II MANEJO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN TRES DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO	45
Cuadro 1.	Análisis de varianza de caracteres fenológicos en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.	56
Cuadro 2.	Comparaciones de medias de caracteres fenológicos en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.	57
Cuadro 3.	Análisis de varianza de las variables morfológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.	58
Cuadro 4.	Comparación de medias de las variables morfológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.	59
Cuadro 5.	Análisis de varianza de las variables del crecimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.	60

Cuadro 6.	Comparación de medias de las variables del crecimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.	61
Cuadro 7.	Análisis de varianza de las variables del rendimiento y sus componentes en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.	62
Cuadro 8.	Comparación de medias en las variables del rendimiento registradas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.	64
Cuadro 9.	Comparación de medias de tres densidades de población en variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.	65
Cuadro 10.	Análisis de varianza de caracteres fenológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	66
Cuadro 11.	Comparaciones de medias de caracteres fenológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	67
Cuadro 12.	Análisis de varianza de caracteres morfológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	68
Cuadro 13.	Comparaciones de medias de caracteres morfológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	69
Cuadro 14.	Análisis de varianza de las variables del crecimiento en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.	70
Cuadro 15.	Comparación de medias de las variables del crecimiento en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	71

Cuadro 16	Análisis de varianza de las variables del rendimiento sus componentes en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.	72
Cuadro 17.	Comparaciones de medias de las variables del rendimiento registradas en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.	73
Cuadro 18.	Comparación de medias de tres densidades de población en variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

3	EVALUACION DE VARIEDADES I: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN DOS DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA	19
Figura 1.	Camas de cultivo rellenas con arena de tezontle para el experimento de evaluación de variedades de frijol ejotero.	23
Figura 2.	Cama de cultivo antes y después de la siembra de frijol ejotero.	23
Figura 3.	Actividades de tutorado y poda realizadas durante el desarrollo del cultivo.	25
Figura 4.	Vainas de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Variedad 'Palma' y 'Opus'	31
Figura 5.	Vainas de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado antes de la cosecha.	38
Figura 6.	Características de vaina en variedades de hábito indeterminado.	39
Figura 7.	Variedades de hábito indeterminado que muestran la cantidad de área foliar en la etapa de producción del cultivo.	41

4	EVALUACIÓN DE VARIEDADES II	45
	MANEJO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN TRES DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO.	
Figura 1.	Semillas de variedades de hábito indeterminado ('Hav-2', 'Hav-65', 'Hav-68' y 'Hab-229').	47
Figura 2.	Procedimiento de siembra en variedades de frijol ejotero de hábito determinado e indeterminado.	49
Figura 3.	Actividades de tutorado realizadas en variedades de frijol ejotero de hábito determinado e indeterminado, durante el desarrollo del cultivo.	50
Figura 4.	Características de la vaina en variedades de hábito indeterminado 'HAV-2', 'HAV-65', 'HAV-68' y 'HAB-229'.	74

EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y DENSIDADES DE POBLACIÓN EN FRIJOL EJOTERO EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO BAJO INVERNADERO

RESUMEN GENERAL

La presente investigación se dividió en dos etapas, la primera se realizó en el ciclo otoño-invierno de 2012 y la segunda en el ciclo primavera-verano de 2013, ambas se llevaron a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo y tuvo como objetivos evaluar el comportamiento agronómico de variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado e indeterminado, en hidroponía bajo condiciones de invernadero, así como comparar la respuesta en rendimiento y sus componentes bajo distintas densidades de población. Los resultados obtenidos indican que el manejo de frijol ejotero en invernadero e hidroponía permite obtener altos rendimiento por unidad de superficie ($3.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 95 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'Palma' que es de hábito de crecimiento determinado, y hasta de $4.02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 102 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'Hab-229' que es de hábito de crecimiento indeterminado). El mayor rendimiento en las variedades de frijol de hábito de crecimiento determinado se obtuvo con una densidad de población de $15 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$, mientras que en las de hábito indeterminado fue de $9 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$.

Palabras clave: frijol ejotero, hidroponía, invernadero, densidad de población.

GENERAL ABSTRACT

This research was divided into two stages, the first was held in the fall-winter cycle 2012 and the second in the spring-summer cycle 2013, both were conducted in greenhouses of the Horticulture Institute at the Plant Science Department located at the Chapingo Autonomous University and had as its objective to evaluate the agronomic performance of green bean varieties to determinate and indeterminate growth habits in hydroponics under greenhouse conditions, and to compare the response in yield and its components under different population densities. The results show that the green bean management in greenhouse and hydroponics allows to obtain high yield per unit area ($3.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ greenhouse in a cycle of 95 days from sowing to harvest in 'Palma' variety that is a determinate growth habit, and up to $4.02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ greenhouse in a cycle of 102 days from sowing to harvest in 'Hab-229' variety that is an indeterminate growth habit. The highest yield was obtained in the varieties of determinate growth habit with a population density of $15 \text{ plants}\cdot\text{m}^{-2}$, while the indeterminate habit was $9 \text{ plants}\cdot\text{m}^{-2}$.

Key words: green bean, hydroponic, greenhouse, population density.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es una hortaliza que se cultiva y se consume en casi todo el mundo. En los últimos años, se ha incrementado su demanda a nivel nacional y mundial, ya que provee altos contenidos de proteínas, calcio y vitaminas, principalmente del complejo B (Esquivel *et al.*, 2006). Existen variedades de frijol ejotero seleccionadas por su calidad culinaria y comercial, ya sea para consumo en fresco o para la industria. En algunos países desarrollados, 20 % de la proteína disponible es proporcionada por esta leguminosa (Singh, 2001).

La superficie sembrada con frijol ejotero a nivel nacional en 2012 fue de 10,720.28 ha, con un rendimiento promedio de 8.97 t·ha⁻¹. Los principales estados productores en orden de importancia son Sinaloa, Morelos, Puebla e Hidalgo con rendimientos de 9.2, 9.9, 9.0 y 7.3 t·ha⁻¹, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2013). En años recientes, el consumo anual *per capita* de ejote aumentó de 0.9 a 1.1 kg (Esquivel *et al.*, 2006). Para atender esta demanda es necesario incrementar la productividad, además de la importancia de mejorar su calidad nutricional.

En México, la mayor superficie de frijol ejotero (98 %) es cultivada bajo condiciones de riego a cielo abierto (SIAP-SAGARPA, 2013), por lo que su rendimiento se ve limitado por la incidencia factores bióticos y abióticos desfavorables. Una forma de incrementar el rendimiento, es mediante el manejo del cultivo en hidroponía bajo condiciones de invernadero, tecnologías que

permiten un mayor control del ambiente aéreo y de la raíz de las plantas (Urrestarazu, 2002). En los últimos años, estos sistemas de producción han venido cobrando importancia como una alternativa de solución a la problemática agrícola que enfrenta el país, ya que permiten obtener altos rendimientos, mejor calidad, varias cosechas al año, ocupación de mano de obra, uso eficiente del agua, una producción segura y rentable, sin importar las limitaciones existentes de suelo y clima (Sánchez *et al*, 1991; Castilla, 2007); no obstante, existe escasa literatura disponible en este cultivo, por lo que hace falta más investigación que permita conocer el comportamiento del frijol ejotero en este sistema de producción para un manejo apropiado del mismo.

El frijol ejotero es manejado principalmente como unicultivo a cielo abierto, pero también es posible su producción bajo un sistema de huerto comercial hidropónico bajo invernadero (Moreno *et al.*, 2014), lo que permite obtener ejotes de alta calidad en forma intensiva y continua en espacios pequeños durante todo el año, lo que combinado con la producción de varias otras especies de hortalizas facilita que el productor pueda vender a precios de consumidor final e incremente su rentabilidad económica.

Recientemente en la Universidad Autónoma Chapingo, se han realizado algunos trabajos con el enfoque de huerto comercial hidropónico, en los cuales se ha incluido al frijol ejotero, pero hace falta precisar cuáles son las variedades y densidades de población que permiten el mayor rendimiento, calidad y aceptación en el mercado.

Cabe señalar que México importa semilla de frijol ejotero de Estados Unidos de América, con la consecuente fuga de divisas y la dependencia de variedades, que por ser desarrolladas en otros ambientes, tienen el riesgo de no adaptarse a las condiciones del país (Esquivel *et al.*, 2006). Además de no contar con variedades mejoradas, no se conoce el manejo del cultivo bajo condiciones de invernadero, debido a que no se produce en este sistema. Por lo antes expuesto, se plantean los siguientes objetivos generales:

1.1. Evaluar el comportamiento agronómico de variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado e indeterminado, en hidroponía bajo condiciones de invernadero.

1.2. Comparar la respuesta de variedades de crecimiento determinado e indeterminado en rendimiento y sus componentes bajo distintas densidades de población en frijol ejotero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es una hortaliza de importancia mundial por su alto valor nutrimental. En México es conocido como ejote, como judía verde en España, habichuela en Colombia, chaucha en Argentina y poroto verde en Chile (Kennet, 2012). Es rico en proteína, hierro y contiene nutrientes esenciales, como ácido ascórbico, vitamina A, vitamina B y calcio (Kelly y Scott, 1992; Esquivel *et al.*, 2006). Además aporta cantidades importantes de carbohidratos y fibras (Salinas *et al.*, 2008).

La producción mundial de frijol ejotero es superior a 20 millones de toneladas, ocupando el primer lugar China con 16.2 millones de toneladas, posteriormente se encuentran Indonesia, India, Turquía y Tailandia entre los mayores productores y consumidores de esta leguminosa. México ocupa el 11^o lugar con 93,818 toneladas (FAOSTAT, 2013).

En países como Kenia, el frijol ejotero representa hasta el 60 % del valor de todas las hortalizas de exportación y alrededor del 21 % del valor de las exportaciones de productos hortícolas (Nderitu *et al.*, 2007). En España, el ejote es una de las principales hortalizas cultivadas en invernadero en la cuenca mediterránea (López *et al.*, 2002), asimismo en Turquía es de las principales hortalizas de exportación (Onder *et al.*, 2006). En los EUA el consumo *per capita* de ejote fue de 3.5 kg en 1995, entre enlatado, congelado y fresco (Myers, 2000). En Chile, existen

variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado recomendadas para uso en invernadero (Bascur, 2002). En los últimos años en Estados Unidos y Francia se han originado más de 120 cultivares de frijol ejotero, dentro de los que se puede mencionar: 'Blue Lake', 'Kentucky Wonder 765', 'Oregón', 'Black Valentine', 'Contender', 'Bronco', "Strike", "Opus", 'OR 900', 'Tender-green', 'Top Crop', 'AFN', 'Silvester' y 'La Victoria' (Adsule *et al.*, 2004), los cuales presentan alto potencial productivo bajo condiciones de riego (más de 10 t·ha⁻¹).

En México, el principal sistema de producción de frijol ejotero es en unicultivo a cielo abierto; se emplean cultivares de tipo arbustivo (mata) o bien de hábito de crecimiento indeterminado (guía), estos últimos utilizando diversos tipos de espalderas (estructuras metálicas, postes de madera, varas, carrizo, etc.) que sin duda son eficientes para una mayor producción de la planta, pero por su alto valor, elevan considerablemente el costo de producción de esta verdura (Escalante *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2010).

2.2. Uso de invernaderos en la producción de cultivos

La tecnología de invernaderos permite, hoy en día, cultivar cualquier especie hortícola en cualquier región y condición climática, siempre y cuando el invernadero se climatice adecuadamente. El desarrollo de los materiales plásticos ha contribuido a la enorme expansión de los invernaderos y otras técnicas de protección, desde el último tercio del siglo XX en todo el mundo (Castilla, 2007).

La superficie de invernaderos estimada a nivel mundial fue de 1'886,000 ha en el 2006, con un continuo crecimiento en los últimos años, estimándose en un 20 % anual desde 1980. De esa superficie, Asia destaca con 85 %, y China ocupa el primer lugar (Castilla, 2007). En España, en la costa de Almería, hay aproximadamente 25,000 hectáreas de invernaderos dedicados a la producción hortícola intensiva, una de las mayores concentraciones de invernaderos de todo el mundo (Orgaz *et al.*, 2005), donde el frijol ejotero es uno de los principales cultivos bajo este sistema, con una superficie aproximada de 5,000 ha (López *et al.*, 2002).

En México, la superficie de invernaderos se ha incrementado notablemente en los últimos años, como alternativa para producir cultivos de alto valor comercial, orientados a lograr altos rendimientos por unidad de superficie y mejor calidad del producto (Castellanos y Borbón, 2009). Actualmente existen alrededor de 20,000 hectáreas bajo agricultura protegida de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernadero y las otras 8,000 corresponden a malla sombra y macro túnel principalmente. El 50 % de la superficie con agricultura protegida se concentra en Sinaloa (22 %), Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %) y Jalisco (10 %). Los principales cultivos que se producen bajo este sistema son el jitomate (70 %), pimiento (16 %) y pepino (10 %); no obstante, en los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos (SAGARPA, 2012).

Castilla (2007) menciona que las especies más cultivadas en invernadero son las hortalizas de exigencias térmicas medias tales como, jitomate, pimiento, pepino,

melón, sandía, calabacita, frijol ejotero, berenjena, a fin de alargar fuera de la época convencional su calendario de producción que implique buenos precios de venta.

El principal objetivo de la agricultura bajo invernadero es, entre otros, proteger los cultivos de las temperaturas adversas, del viento y de la lluvia, así como de plagas, enfermedades y otros predadores, creando un microclima que permita mejorar su productividad y calidad, contribuyendo a un mejor uso de los recursos disponibles (Castilla, 2007). Entre las ventajas de este sistema de producción se encuentra: la generación de empleos; producir cultivos inocuos; incrementar hasta 5 veces la producción con relación a campo abierto; producir todo el año; aprovechar las ventanas de mercado para obtener precios competitivos; ahorrar agua en promedio de 50 %; utilizar suelos con problemas de degradación o químicos (Moreno, *et al.*, 2011; SAGARPA, 2012).

En Santiago de Chile, Bascur (2002) evaluó bajo condiciones de invernadero, el comportamiento de la variedad TREPADOR-INIA de hábito de crecimiento indeterminado, vaina larga, plana y de color verde claro sin presencia de hilo. Encontró que esta variedad inició su producción de los 65 a 70 días, con un período de cosecha de 30 a 40 días, y con alto potencial de rendimiento de ejote de 15 a 30 t·ha⁻¹, dependiendo si se establece en la estación de otoño o primavera.

En Almería España, Zaragoza *et al.* (2008) compararon el ciclo de cultivo de la variedad de frijol ejotero 'Strike' en dos sistemas hidropónicos uno cerrado y otro

abierto, bajo condiciones de invernadero en clima semiárido. Los resultados mostraron un rendimiento superior en el sistema cerrado ($1.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) que en el abierto ($1.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$). Asimismo, señalaron que hubo una mayor eficiencia en la utilización del agua de riego (alrededor de 10 veces mayor) en el invernadero del sistema cerrado.

En México no existe investigación de frijol ejotero bajo condiciones de invernadero, debido en parte al bajo consumo de este cultivo en la dieta del mexicano (Salinas, 2010); sin embargo, existen algunos estudios acerca del manejo y producción de esta hortaliza en el sistema de huerto comercial hidropónico (Moreno *et al.*, 2014).

2.3. La hidroponía como sistema de producción

En combinación con los invernaderos, el cultivo sin suelo o cultivo hidropónico, posiblemente sea hoy en día el método mas intensivo de producción de hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Cánovas, 2001).

Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego *hydro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), que significa literalmente trabajo o cultivo en agua (Alarcón, 2005). Se define a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos

en agua, y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva (Sánchez *et al.*, 1991; González, 2006).

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grandes grupos: 1) cerrados y 2) abiertos. Los cerrados, son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrimentos que la planta va consumiendo, y los abiertos o a solución perdida, en la que la solución nutritiva es desechada. A nivel mundial los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que, en México la mayoría de las explotaciones comerciales emplean sistemas abiertos y adoptan el riego por goteo (Alarcón, 2005). El interés por el sistema hidropónico a nivel mundial obedece a los altos rendimientos y a la calidad del producto que por unidad de superficie se pueden obtener (González, 2006), lo que significa mejor mercado y precio de venta. Esa alta productividad es debida en principio al balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; además de poder controlar la presencia de malas hierbas, al mayor control sobre las plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de un rango óptimo y a que se permite una mayor densidad de población. Como ventajas adicionales se pueden mencionar mayor precocidad de la producción, eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas de menor calidad y, cuando el clima lo permite o con el uso de invernaderos se pueden obtener varias cosechas por año (Sánchez y Escalante, 1988; Sánchez *et al.*, 1991).

2.4. Huerto comercial hidropónico

Considerando algunas limitantes para la agricultura, tales como topografía accidentada, precipitación insuficiente o errática, heladas, salinidad, mal drenaje, contaminación, agotamiento de mantos freáticos en zonas de riego y, en general, poca superficie agrícola por productor, se plantea que el futuro de la agricultura de especies de alto valor económico puede sustentarse en el uso de tecnologías de producción intensivas apropiadas para predios pequeños que reduzcan el riesgo de producir en condiciones limitantes de suelo o clima (Sánchez y Escalante, 1998; Moreno *et al.*, 2014).

En México, la producción de hortalizas en huertos familiares es una de las muchas formas de subsistencia en diversas poblaciones rurales. El huerto familiar tiene por objeto producir hortalizas frescas y de forma continua durante todo el año, higiénicas (sin uso de aguas negras), nulo uso de pesticidas, de mejor calidad y más baratas que en el mercado, eligiendo productos que maduren en épocas diversas, de manera que provean constantemente productos a la mesa de la familia (Vásquez; 2008; Méndez, 2011).

Existen diversos estudios acerca del manejo y producción de hortalizas en huerto comercial. No obstante, en especies de clima templado como la acelga, betabel, cebolla cambray, cilantro, ejote, lechuga mantequilla y rábano, que son también de alto consumo, no existe información de su manejo en el sistema de huerto comercial hidropónico (Blancas, 2011).

Moreno *et al.* (2014), desarrollaron un sistema de producción intensiva de hortalizas bajo condiciones hidropónicas en invernadero, dentro del cual se incluyó el frijol ejotero, tecnología orientada para que los pequeños y medianos productores de invernadero puedan abastecer los mercados regionales o locales, ofreciendo precios de venta de consumidor final y puedan obtener mayores beneficios económicos.

El Huerto Comercial Hidropónico se define como un sistema o paquete tecnológico de producción en hidroponía bajo invernadero donde se cultivan al mismo tiempo, dentro de uno o dos pequeños invernaderos (500 a 2000 m²) y con una misma solución nutritiva, diversas especies de hortalizas, sembrando y cosechando de manera intermitente para tener producción continua y durante todo el año (Sánchez y Muñiz, 2008; Moreno *et al.*, 2014). Estos beneficios se pueden lograr gracias a la diversidad de la producción ya que hay más estabilidad en los ingresos, pues si alguna especie tiene una baja de precio, habrá otras que tengan precios altos dándole equilibrio económico al sistema (Blancas, 2011).

Los beneficios del huerto comercial hidropónico además de las ventajas propias de la hidroponía y de la producción bajo invernadero, es facilitar al usuario a planificar su producción en función de lo que puede vender de acuerdo con su mercado, considerando las especies más rentables; asimismo, al involucrar diversidad, se logra mayor estabilidad financiera debido a que la fluctuación de precios se compensa entre las diversas hortalizas (Moreno *et al.*, 2014). Además permite fomentar el desarrollo regional, el autoempleo, activa los mercados locales

y reduce el arrastre por transporte de los productos a largas distancias (Sánchez y Muñiz, 2008).

2.5. Necesidades climáticas del frijol ejotero

El rendimiento de frijol ejotero no depende únicamente del genotipo, sino también de las condiciones edáficas (Adbel *et al.*, 2005). Se sabe que la fenología, el rendimiento y sus componentes dependen de la cantidad y distribución de la precipitación (Roy *et al.*, 2000), del fotoperiodo, la intensidad luminosa (Escalante *et al.*, 2001; Salinas *et al.*, 2008), la temperatura (Tsukaguci *et al.*, 2005) y de la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo (Omae *et al.*, 2007; Salinas *et al.*, 2008).

En general el frijol ejotero requiere una temperatura base de crecimiento superior a 10 °C, es sensible a las heladas, y la temperatura óptima promedio para su crecimiento se ubica entre 20-22 °C, por lo que dependiendo de esta condición puede sembrarse en cualquier período del año (Bascur, 2002). López *et al.* (2002) señalan que el frijol ejotero detiene su crecimiento cuando la temperatura está por debajo de los 12.8 °C. Por otro lado, Rainey y Griffiths (2005) mencionan que altas temperaturas durante el verano pueden restringir el desarrollo del cultivo, ya que el frijol ejotero muestra una reducción sustancial en el rendimiento cuando la temperatura nocturna supera los 27 °C. Asimismo, Suzuki *et al.* (2001), señalan que esta hortaliza es sensible al calor y el rendimiento de vainas se reduce significativamente a muy altas temperaturas.

2.6. Necesidades nutrimentales del frijol ejotero

El crecimiento de las plantas depende, entre otros factores, de un adecuado suplemento de nitrógeno (N) para sintetizar aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares necesarios para el desarrollo. Con deficiencia de N las plantas pueden sufrir alteraciones en su crecimiento y rendimiento final, alteraciones que pueden ser particularmente severas durante los estados críticos de crecimiento (Sánchez *et al.*, 2006). El frijol ejotero es conocido por su alta capacidad de fijar nitrógeno en el suelo y es utilizado para mejorar las condiciones del mismo (Amanuel *et al.*, 2000). El fósforo (P) es el segundo elemento nutricional después del nitrógeno que limita el crecimiento de la planta, que tiene una concentración de aproximadamente 0.2 % del peso total seco de la planta. Así que es importante el suministro óptimo de Fósforo (P) en el frijol ejotero, para alcanzar una máxima producción de biomasa, así como lograr una buena producción de vaina. La deficiencia de P reduce el número de hojas y la pérdida de la eficiencia fotosintética (Sánchez *et al.*, 2009). Sin embargo, si los suministros de P son excesivos (a niveles tóxicos) se producirá una reducción en la producción de biomasa (Salinas *et al.*, 2012).

Al igual que el N, el Potasio (K) se necesita en concentraciones elevadas para un adecuado crecimiento de las plantas oscilando su concentración en un rango de 2 a 5 % de materia seca (Marshner, 1997). Sánchez *et al.* (2006) mencionan que uno de los principales factores que regulan la producción de biomasa, actividad

enzimática y cantidad de compuestos nitrogenados en raíces y hojas de plantas de frijol ejotero, es el estado nutricional de K.

2.7. Análisis de crecimiento de la planta

El análisis de crecimiento es básico para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal (Escalante y Kohashi, 1993). Además, es una herramienta que permite cuantificar la producción de biomasa en función del tiempo, el cual puede ser utilizado para seleccionar cultivares de frijol ejotero que muestran alta producción de biomasa, ya que ésta se relaciona con el incremento y el rendimiento (Ascencio y Sgambatti, 2005). Por su parte, Escalante *et al.* (2001) en el frijol 'Michoacán 12-A-3' de hábito indeterminado, encontraron que conforme se incrementa la biomasa total, aumenta el índice de cosecha. Por otra parte, Morales *et al.* (2008) mencionan que el hábito de crecimiento es determinante en la producción de biomasa. Así, Scully y Wallace (1990) en cultivares de frijol ejotero de hábito determinado e indeterminado, encontraron que la mayor acumulación de biomasa se encontró en los de crecimiento indeterminado ($1387 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) y la menor en los de crecimiento determinado ($387 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), esto sugiere que la distribución de la biomasa puede estar en función de hábito de crecimiento. De lo anterior, se desprende que el hábito de crecimiento es un factor que influye directamente sobre los índices de crecimiento, la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental de los cultivares de frijol ejotero. Por otro lado, Omae *et al.* (2007) al evaluar dos cultivares de frijol ejotero

de hábito indeterminado ('Haibushi' y 'Kentucky Wonder'), en Ishigaki, Japón (clima templado), no observaron diferencias estadísticas en la biomasa total.

Salinas (2010), evaluó la fenología, la tasa de crecimiento absoluto (TCA), la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN) y la calidad nutrimental en frijol ejotero en Montecillo, Estado de México, bajo régimen de lluvia estacional. Utilizó los cultivares 'Palma', 'Strike' y 'Black Valentine' de hábito determinado, 'Hav-14', 'Japonés' y 'Oaxaqueño' de hábito indeterminado. Los resultados indicaron diferencias en la ocurrencia de la fenología (81 y 127 días de siembra a último corte en los cultivares de hábito determinado e indeterminado, respectivamente). Sin embargo, los valores más altos en biomasa ($0.235 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), rendimiento ($1.37 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y calidad nutrimental correspondieron a los cultivares de hábito indeterminado y se relacionó con la mayor acumulación en la TCA ($0.31 \text{ g}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{planta}^{-1}$) y en TCR ($0.018 \text{ g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) en el período de 60 a los 90 dds.

2.8. Plagas y enfermedades

Los problemas fitosanitarios que más limitan la producción de esta hortaliza a campo abierto, incluye un complejo de plagas, como lo son la conchuela del frijol (*Epilachna varivestis* Muls), el picudo del ejote (*Apion godmani* Wagner), la mosquita blanca (*Bemisia spp* Genn.) y la chicharrita (*Empoasca fabae* Harris). Estos problemas se pueden controlar a través de un manejo integrado de plagas, que incluye, el uso de variedades resistentes, control biológico, pesticidas orgánicos, plaguicidas biológicos, rotación de cultivos y otras prácticas culturales (Kenneth, 2012). En Kenya, la producción del frijol ejotero se ve obstaculizada

durante todo el año por trips (segunda plaga de importancia) que causan la abscisión de las yemas florales, abren pedúnculos florales y hacen que se enrollen las vainas, lo que lleva a disminuir la calidad (Nderitu *et al.*, 2007).

En Estados Unidos de América, la podredumbre de la raíz, causadas por *Fusarium solani*, *F. oxysporum* f sp. phaseoli (Burk.) Snyder y Hans., se ha reportado como una enfermedad seria del frijol en invernadero. El patógeno invade las raíces y tallos subterráneos a través de la epidermis, estomas y heridas. Las raíces enfermas no pueden sostener el crecimiento y el desarrollo de la planta sobre el suelo, lo que resulta en síntomas visibles, como la clorosis, defoliación y disminución del crecimiento (Schneider y Kelly, 2000). Al parecer, bajo este sistema de producción los virus no se consideran un problema de importancia, debido al uso de semilla certificada y a la ausencia de vectores dentro del invernadero (Bascur, 2002). En África Oriental la roya común del frijol, causada por *Uromyces appendiculatus* (Pers: Pers.) afecta gravemente el rendimiento y calidad del frijol ejotero (Wasonga *et al.*, 2012).

En un estudio realizado a campo abierto en México, Esquivel *et al.* (2006) encontraron mayor incidencia de enfermedades en la primera fecha de siembra (21 de mayo de 2001), y éstas fueron: el tizón del halo (*Pseudomonas syringae* pv. Phaseolicola), antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y las pudriciones de raíz causadas por el complejo fungoso: *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.*, *Sclerotium rolfii* y *Phytium spp.*, lo que redujo considerablemente la producción y calidad comercial de los ejotes, en los cultivares susceptibles a esta enfermedad.

En la segunda fecha de siembra (15 de junio de 2001), además de las enfermedades anteriores, se registró incidencia de roya (*Uromyces appendiculatus* var *appendiculatus*) y tizón común (*Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli*), las cuales mostraron fuerte incidencia y severidad, afectando la productividad y la calidad de ejote en las variedades susceptibles.

2.9. Trabajos realizados con frijol ejotero a campo abierto

En Brasil, Peixoto *et al.* (2002) encontraron que el cultivar de frijol ejotero 'Hav-14' sembrado el 30 de abril en un clima cálido, mostró rendimientos que van desde 10.89 a 21.7 t·ha⁻¹, con 42 dds a inicio de floración.

En Korea, en clima templado Lee *et al.* (2001) evaluaron fechas de siembra en frijol ejotero entre el 20 de marzo y el 18 de junio, y encontraron que la siembra del 4 de abril produjo 24 t·ha⁻¹ debido a la aplicación del riego.

En la India, se llevó a cabo un experimento, en el centro de investigaciones el ICAR, el cual consistió del establecimiento de seis variedades de frijol ejotero en campo abierto. Se observó el mayor rendimiento (747.92 g·m⁻²) en la variedad Contender, mientras que la variedad Kentucky Wonder produjo el rendimiento más bajo de 96.77 g·m⁻² (Sarangi y De, 2010).

Kenneth (2011) evaluó dos variedades de frijol ejotero en las Bahamas, 'Ambra' y 'Hialeah', como resultado 'Hialeah' produjo 4.5 t·ha⁻¹, mientras que 'Ambra' 3.4 t·ha⁻¹, por lo que recomienda ampliamente estas variedades ya que son prometedores

en tolerancia a plagas y enfermedades, calidad de vainas y potencial de rendimiento.

Esquivel *et al.* (2006), identificaron 36 variedades de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento, adaptadas al Valle de México con base en la productividad y calidad del ejote en dos fechas de siembra, encontraron que la fecha de siembra influyó fuertemente sobre la producción de ejotes, por lo que recomendó siembras tempranas y variedades precoces e intermedias para la producción comercial de ejotes en el Valle de México. El rendimiento de ejotes y grano se relacionó con la morfología y fenología de las variedades, puesto que las de hábito indeterminado mostraron un ciclo más largo y mayor potencial productivo.

Salinas *et al.* (2008), evaluaron en el Estado de México, el desarrollo, rendimiento y calidad nutricional del frijol ejotero cv 'Hav-14' en dos fechas de siembra. Encontraron que la fenología, el rendimiento y la calidad nutricional del frijol ejotero varían en función del clima que ocurre durante el ciclo de cultivo, el cual puede cambiar a través de fechas de siembra. El rendimiento más alto se obtuvo con la siembra del dos de mayo y el más bajo con la del primero de julio. Éste se relacionó con la acumulación de unidades calor, la evapotranspiración y la radiación fotosintéticamente activa, valores que fueron mayores en la primera siembra.

III. EVALUACIÓN DE VARIEDADES I:

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN EN HIDROPONÍA

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Se establecieron dos experimentos independientes en hidroponía bajo condiciones de invernadero de julio a octubre de 2012. En el primero se evaluaron 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado, en densidades de población de 10 y 15 plantas·m⁻² útil. Al mismo tiempo, en un segundo experimento, se comparó la respuesta de tres variedades comerciales de hábito de crecimiento determinado, también en dos densidades de población (15 y 25 plantas·m⁻² útil). Los resultados muestran que el manejo de frijol ejotero en invernadero e hidroponía permite obtener 3.09 kg·m⁻² de invernadero en un ciclo de 95 días de siembra a fin de cosecha en la variedad ‘Palma’ que es de hábito de crecimiento determinado, y 3.63 kg·m⁻² de invernadero en un ciclo de 110 días de siembra a fin de cosecha en la variedad ‘Hab-229’ que es de hábito de crecimiento indeterminado. Las densidades de población evaluadas no mostraron diferencias en rendimiento en ninguno de los dos grupos de variedades consideradas, debido posiblemente a la alta densidad de población establecida.

Palabras clave: frijol ejotero, *Phaseolus vulgaris* L., hidroponía, invernadero, densidad de población.

ABSTRACT

This research was carried out under greenhouse conditions of the Horticulture Institute at the plant Science Department located in the experimental station of the Chapingo Autonomous University. Two independent experiments were established under hydroponics greenhouse conditions from July to October 2012. In the first experiment 10 green beans varieties of indeterminate growth habit at densities of 10 and 15 plants-useful m⁻² were evaluated. At the same time, in a second experiment, the response of three commercial varieties to determinate growth habit, also in two densities (15 and 25 plants-useful m⁻²) was compared. The results show that green bean production under hydroponics at greenhouse conditions allows high yields per unit area (3.09 kg·m⁻² greenhouse in a cycle of 95 days from sowing to harvest in ‘Palm’ variety that is a determinate growth habit, and up to kg·m⁻² greenhouse in a cycle of 110 days from sowing to harvest in ‘Hab-229’ variety is from an indeterminate growth habit). Population densities evaluated showed no difference in performance in either group considered varieties, possibly because of the established high population density.

Key words: green bean, *Phaseolus vulgaris* L., hydroponic, greenhouse, population density.

INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) posee un alto valor nutrimental, al ser una fuente importante de proteínas, carbohidratos calcio y vitaminas principalmente del complejo B (Guzmán *et al.*, 2002; Esquivel *et al.*, 2006; Salinas *et al.*, 2008).

Además de la demanda nacional, México puede exportar ejotes hacia los EUA, por lo cual se deben desarrollar las variedades con la producción y calidad demandadas (Lien y Baggett, 1998). No obstante, esta hortaliza es manejada principalmente como un cultivo a cielo abierto (SIAP-SAGARPA, 2013), por lo que enfrenta el problema de la incidencia de factores bióticos y abióticos que limitan su producción. Los rendimientos que se logran a campo abierto son en el orden de las 9 t ha⁻¹ año⁻¹, que es bajo para una agricultura redituable económicamente. Una forma de incrementar el rendimiento de esta hortaliza, sería mediante el manejo del cultivo en hidroponía bajo condiciones de invernadero, técnicas que cada año ganan más aceptación con respecto a la producción en suelo y a cielo abierto, pero hace falta más investigación que permita conocer el comportamiento del frijol ejotero en este sistema de producción para su manejo apropiado.

Otra alternativa de producción, es su cultivo mediante un sistema de huerto comercial hidropónico (Sánchez y Muñiz, 2008; Moreno *et al.*, 2014), lo que permite obtener ejotes de alta calidad en forma intensiva y continua en espacios pequeños durante todo el año, lo que combinado con la producción de varias otras especies de hortalizas facilita que el productor pueda vender a precios de consumidor final e incrementar su rentabilidad económica (Moreno *et al.*, 2014). Sin

embargo, hace falta precisar cuáles son las variedades y densidades de población que permiten el mayor rendimiento, calidad y aceptación en el mercado. Por ello, se planteó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado y 10 de hábito indeterminado, en hidroponía bajo condiciones de invernadero, así como comparar la respuesta en el rendimiento y sus componentes bajo dos densidades de población.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Se establecieron dos experimentos independientes para evaluar diferentes variedades de hábito de crecimiento determinado e indeterminado en dos densidades de población, de julio a octubre de 2012.

En el primer experimento se evaluaron y compararon entre sí 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado ('Hav-2', 'Hav-27', 'Hav-44B', 'Hav-44N', 'Hav-62', 'Hav-65', 'Hav-68', 'Rojo Celaya', 'EJ-SI-88' y 'Hab- 229'). Todas fueron establecidas en dos densidades de población (10 y 15 plantas·m⁻² útil). Estas variedades son compuestos obtenidos en el Proyecto de Frijol del Centro de Investigación en Cultivos Básicos de la UACH. Al mismo tiempo, en un segundo experimento, se comparó la respuesta de tres variedades comerciales de hábito de crecimiento determinado ('Palma', 'Strike' y 'Opus'), también en dos

densidades de población (15 y 25 plantas·m⁻² útil). En el Cuadro 1 se indican algunas de las características generales de las variedades evaluadas.

Cuadro 1. Características de las variedades de frijol ejotero evaluadas en el presente estudio.

Variedad	Hábito de crecimiento	Color de grano	Forma de grano
‘Palma’	Determinado	Blanco opaco	Arriñonado
‘Strike’	Determinado	Crema brillante	Arriñonado
‘Opus’	Determinado	Crema brillante	Arriñonado
‘Hav-2’	Indeterminado	Blanco brillante	Arriñonado
‘Hav-27’	indeterminado	Jaspeado brillante	Arriñonado
‘Hav-44B’	Indeterminado	Blanco opaco	Arriñonado
‘Hav-44N’	Indeterminado	Negro opaco	Arriñonado
‘Hav-62’	Indeterminado	Acerado brillante	Arriñonado
‘Hav-65’	Indeterminado	Acerado brillante	Arriñonado
‘Hav-68’	Indeterminado	Negro brillante	Arriñonado
‘Rojo Celaya’	Indeterminado	Morado opaco	Cilíndrico
‘EJ-SI-88’	Indeterminado	Negro brillante	Elíptico
‘HAB-229’	Indeterminado	Crema opaco	Arriñonado

En ambos experimentos la siembra se llevó a cabo el 20 de julio de 2012 directamente en camas de cultivo de 1.2 m de ancho por 22 m de largo y 30 cm de profundidad, rellenas con arena de tezontle rojo con partículas de 2 a 4 mm de diámetro en promedio, separadas del suelo con una capa de grava de 10 cm y una cubierta de plástico para evitar la incidencia de plagas del suelo (Figura 1). Después de humedecer el sustrato, se hicieron hoyos a una profundidad homogénea de 7 cm, posteriormente $\frac{3}{4}$ partes de la cavidad se rellenó con peat moss, encima se colocó la semilla a una profundidad aproximada de 2 a 3 cm, por

último se cubrió con vermiculita (Figura 2). Se dejaron bordos de un metro de cama útil, para evitar el efecto de orilla.



Figura 1. Camas de cultivo rellenas con arena de tezontle para el experimento de evaluación de variedades de frijol ejotero.

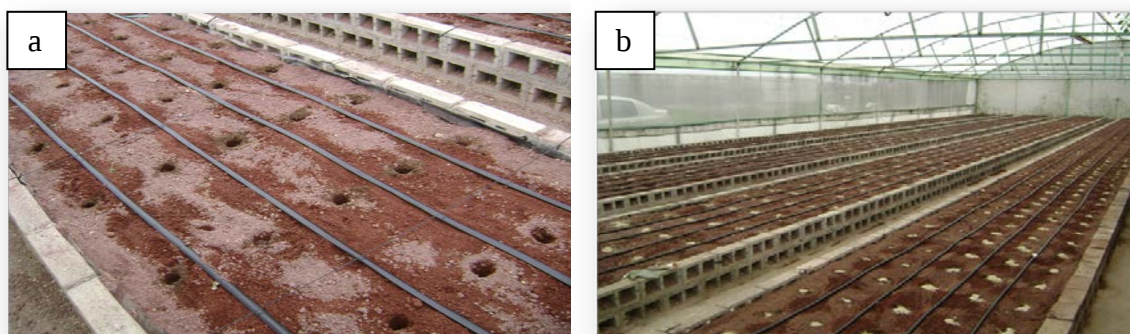


Figura 2. Cama de cultivo antes (a) y después (b) de la siembra de frijol ejotero.

Las plantas fueron irrigadas diariamente durante 10 minutos cada hora, siete veces al día con una solución nutritiva como la que se indica en el Cuadro 2. Se utilizó un sistema de riego por goteo, basado en cintillas con goteros integrados, separados a 20 cm.

Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada durante el crecimiento y desarrollo de plantas de frijol ejotero.

Elemento	Concentración mg L ⁻¹ (ppm)	Fuente fertilizante (gramos para 1000 L de agua)
Nitrógeno	200	Nitrato de calcio=970; Sulfato de amonio=244
Fósforo	60	Ácido fosfórico al 85%=223*
Potasio	250	Sulfato de potasio=558
Magnesio	60	Sulfato de magnesio (sal de Epsom)=600
Calcio	214	Aportado por nitrato de calcio
Azufre	205	Aportado por los sulfatos de amonio, potasio y magnesio
Fierro	3	Sulfato ferroso=15
Manganeso	1	Sulfato de manganeso=4
Boro	0.5	Tetraborato de sodio (Borax)=4
Zinc	0.1	Sulfato de zinc=0.4
Cobre	0.1	Sulfato de cobre=0.4

Dado que la densidad del ácido fosfórico al 85 % es 1.7 g·ml⁻¹, 223 g equivalen a 131 ml.

Para mantener erectas las plantas, en ambos experimentos se manejó un sistema de tutoreo en el cual se sujetó cada planta a una cinta de rafia amarrada a un alambre sostenido de la estructura superior del invernadero (Figura 3a). Las plantas de hábito de crecimiento indeterminado fueron despuntadas (remoción de la yema terminal de las guías) una vez que alcanzaron 3 metros de altura (Figura 3b), aproximadamente a los 40 días después de la siembra (dds).

Para contrarrestar la incidencia de mosquita blanca presente en el invernadero, se realizaron tres aplicaciones de productos químicos, la primera a los 13 días después de la siembra (dds) con Folimat® (i.a. Ometoato) a dosis de $1 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$, la segunda y la tercera a los 20 y 41 dds respectivamente, con Beleaf® (i.a. Flonicamid) a dosis de $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

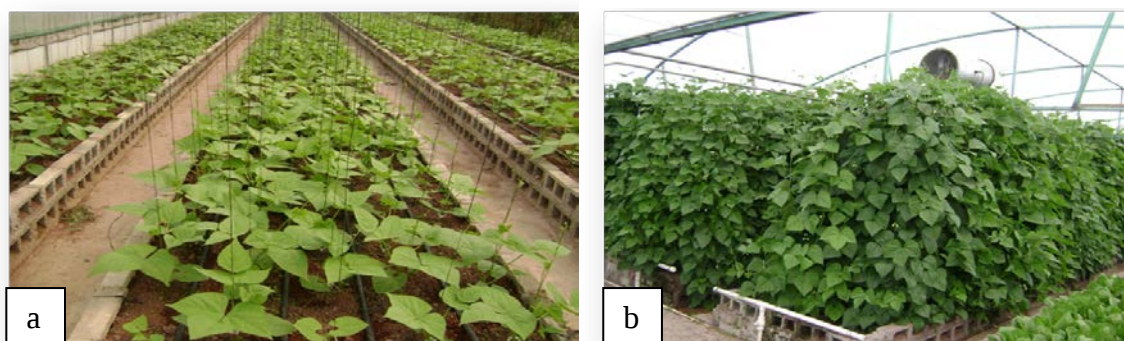


Figura 3. Actividades de tutorado (a) y poda de ápice (b) realizadas durante el desarrollo del cultivo.

Se evaluaron variables fenológicas, del rendimiento y sus componentes.

Variable fenológicas:

Días a emergencia (DE). Se cuantificaron los días transcurridos de la siembra hasta que por lo menos el 50 % de las plantas habían emergido.

Días a floración (DF). Se cuantificaron los días transcurridos a partir de la siembra hasta el momento en que el 50 % de las plantas presentaban por lo menos una flor en antesis.

Días a inicio de corte (DIC) y días a fin de corte (DFC). Se cuantificaron los días transcurridos de la siembra al inicio y fin de corte, respectivamente. Los cortes se realizaron a intervalos de cinco días, con un total de seis para las variedades de hábito determinado y siete para las indeterminadas; sin embargo, la cosecha inicio aproximadamente 10 días antes en las variedades de hábito determinado. Las vainas se cortaron al presentar una longitud mínima de 10 cm.

Variables del rendimiento y sus componentes

Rendimiento de fruto (RF): se cuantificó el peso fresco en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero de frutos comerciales, para lo cual se empleó una báscula electrónica digital.

Número de vainas (NV): se contabilizó el número de vainas totales por metro cuadrado de invernadero.

Peso medio de vaina (PMV): se obtuvo dividiendo el rendimiento de fruto entre el número de vainas en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero.

Longitud de vaina (LV): con ayuda de una regla se midió la longitud de vaina en cm, de la base al ápice de la misma, en una muestra de 10 vainas tomadas al azar en cada unidad experimental.

Diámetro de vaina (DV): las vainas son más o menos rectangulares y con apoyo de un vernier se midieron (en cm) su ancho y su grueso en el centro de la vaina, en una muestra de 10 vainas tomadas al azar en cada unidad experimental. El diámetro medio se determinó dividiendo su ancho entre su grueso.

En ambos experimentos se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, con un arreglo de parcelas divididas. En la parcela grande se establecieron las densidades y en la parcela chica las variedades. La unidad experimental de parcela chica constó de 1 m² de cama de cultivo. Las variables estudiadas se sometieron a un análisis de varianza, así como pruebas de comparación de medias de Tukey (P=0.05). Se utilizó el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variedades de hábito determinado

Variables fenológicas

El análisis de varianza para densidades, indicó que existieron diferencias significativas para días a inicio de corte (DIC), pero no para las otras variables estudiadas; entre variedades, existieron diferencias estadísticas significativas para días a emergencia (DE), días a floración (DF), DIC y días a fin de corte (DFC). La interacción Densidad*Variedad no presentó diferencias significativas para ninguna variable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de variables fenológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.

Fuente de Variación	Cuadrados Medios				
	Grados de libertad	Días a emergencia	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
Bloque	3	0.81	9.26*	7.16*	3.00
Densidad (D)	1	0.04	0.04	4.16*	2.66
Variedad (V)	2	2.66*	5.04*	9.29*	28.66*
D*V	2	1.16	5.04	0.29	1.16
CV %		10.69	2.51	1.15	1.30

*Significativo; CV: coeficiente de variación.

Las variedades de hábito determinado, presentaron en promedio una duración de 62 y 93 días de la siembra a inicio y fin de corte, respectivamente; siendo 'Opus' la variedad más precoz con 6, 61 y 91 DE, DIC y DFC, respectivamente; en DF no hubo diferencias entre variedades (Cuadro 4). Estos resultados son similares a los reportados por Salinas *et al.* (2012) quienes encontraron que en clima semiárido y templado bajo condiciones de temporal, las variedades de hábito determinado presentaron una duración de 89 días de la siembra al último corte. Asimismo, Salinas (2010), encontró en clima templado que la variedad 'Opus' tuvo una duración de la fase vegetativa (emergencia a la tercer hoja trifoliada) de 16 días, la fase reproductiva 51 dds y el ciclo biológico de 93 días de la siembra al último corte.

Los resultados obtenidos muestran que bajo condiciones de invernadero es posible obtener hasta cuatro ciclos por año en la variedades de hábito

determinado, considerando la variedad más precoz ('Opus') con un ciclo de 91 días de siembra a fin de cosecha, lo que alternado con otras hortalizas en un huerto comercial, facilita que el productor planifique su producción en función de lo que puede vender de acuerdo con su mercado. En este caso para cosechar durante todo el año, se deben dejar tres espacios dentro del invernadero, sembrando el primero de cada mes de forma alternada, en cada uno de los espacios. La cosecha inicia a los 60 dds, realizando 6 cortes por mes (uno cada cinco días). Con lo anterior se garantizaría una producción constante, con excepción de los dos primeros meses del primer ciclo.

Cuadro 4. Comparaciones de medias de variables fenológicas en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.

Variedades	Días a emergencia	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
'Palma'	7.12 a	44.6 a	63.3 a	94.5 a
'Strike'	7.12 a	43.2 a	62.6 a	94.0 a
'Opus'	6.12 b	43.2 a	61.2 b	91.0 b
Media	6.79	43.6	62.3	93.2
DMSH	0.97	1.46	0.95	1.61

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables del rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza indicó diferencias significativas para número de vainas (NV) y peso medio de vainas (PMV), entre densidades. Entre variedades existieron diferencias significativas para rendimiento de fruto (RF) y altamente significativas

para NV y PMV, no así para las variables diámetro de vaina (DV) y longitud de vaina (LV). En la interacción Densidad*Variedad se encontró diferencias solamente en NV (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza de variables del rendimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Rendimiento de fruto	Número de vainas	Peso medio de vaina	Diámetro de vaina	Longitud de vaina
Bloque	3	0.01	2406.83	0.24	0.001	0.01
Densidad (D)	1	0.06	24556.16*	2.05*	0.000004	0.13
Variedad (V)	2	0.36*	35846.05**	7.60**	0.0028	0.17
D*V	2	0.04	4719.89*	0.17	0.0005	0.22
CV %		7.00	5.96	9.62	3.55	2.11

* Significativo; ** Altamente significativo; CV: coeficiente de variación

De acuerdo con la prueba de medias, la variedad ‘Palma’ fue estadísticamente similar a ‘Opus’ en rendimiento con base en el peso fresco de vaina (3.09 y 2.90 kg·m⁻² de invernadero, respectivamente), pero superior a ‘Strike’ que rindió 2.66 kg·m⁻². En diámetro y longitud de vaina, no hubo diferencias entre variedades (Cuadro 6) posiblemente por ser variedades comerciales, estas fueron seleccionadas previamente por su calidad de vaina: plana, larga, color verde claro y sin presencia de hilo (Bascur, 2002), por tal motivo las tres mantuvieron las mismas características (Figura 4); entonces el mayor rendimiento en ‘Palma’ respecto a la variedad ‘Strike’ se debió al mayor número de vainas cosechadas (20 %) en la variedad ‘Palma’.



Figura 4. Vainas de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Variedades 'Palma' (a) 'Strike' (b) y 'Opus' (c).

Los $3.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en la variedad 'Palma' se logró en un ciclo de 94.5 días de siembra a fin de cosecha, por lo que bajo condiciones de invernadero es posible obtener 3.9 ciclos por año, lo que representa un potencial de rendimiento de $12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ por año, es decir, $120 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Cuadro 6. Comparaciones de medias de variables del rendimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2012.

Variedades	Rendimiento de fruto ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Número de vainas (m^2)	Peso medio de vaina (g)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
'Palma'	3.09 a	608 a	4.73 b	0.93 a	13.6 a
'Strike'	2.66 b	505 b	6.14 a	0.92 a	13.5 a
'Opus'	2.90 ab	631 a	4.26 b	0.89 a	13.4 a
Media	2.88	581	5.04	0.91	13.5
DMSH	0.27	46.27	0.64	0.04	0.38

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

En cuanto a densidad de población, se encontró que con las variedades de hábito determinado la densidad de 15 plantas·m⁻² no se alcanzaron diferencias estadísticas en RF, DV y LV respecto a establecer 25 plantas·m⁻², pero si para NV y PMV por m⁻² (Cuadro 7). Lo anterior puede deberse a la alta densidad de población establecida, ya que en ambas densidades se observó sombreado entre plantas, lo que favoreció el desarrollo de plantas elongadas en el centro de las mismas, pero con escasa producción, por lo que seguramente hubo competencia por espacio y radiación fotosintéticamente activa (RFA). Además, el manejo del cultivo es complicado cuando se tienen alta cantidad de plantas, ya que se dificulta la cosecha en el centro del cultivo. López *et al.* (2002) señalan que densidades muy altas reducen el rendimiento debido a la competencia entre plantas, lo que pudo haber ocurrido en el presente trabajo. Por su parte, Kelly (2001) menciona que el rendimiento en las variedades de hábito determinado se puede incrementar, aumentando la densidad de población y la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, aunque en el presente trabajo el agua y los nutrientes estuvieron disponibles de forma suficiente, el rendimiento no se incrementó en la densidad de 25 plantas·m⁻², debido probablemente a que se llegó a un nivel de sombreado mutuo que cualquier aumento en densidad provoca menos vainas por planta, manteniéndose el mismo rendimiento. Moreno *et al.* (2014) en un estudio realizado en huerto comercial hidropónico bajo condiciones de invernadero, reportan que la mejor densidad de población para el frijol ejotero variedad 'Strike' fue de 25 plantas m⁻² con un rendimiento de 2.53 kg·m⁻² útil.

Cuadro 7. Comparación de medias de dos densidades de población en variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2012.

Densidad de plantas (m ²)	Rendimiento de fruto (kg·m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
15	2.80 a	549.5 b	5.34 a	0.91 a	13.58 a
25	2.90 a	613.4 a	4.75 b	0.91 a	13.43 a
DMSH	0.25	53.4	0.26	0.03	0.31

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variedades de hábito indeterminado

Variables fenológicas

El análisis de varianza para densidades, mostró diferencias significativas solamente para DFC. Entre variedades, hubo diferencias significativas para DFC y altamente significativas para DE, DF y DIC. La interacción Densidad*Variedad no presentó diferencias significativas para ninguna variable (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza de variables fenológicas en 10 variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2012.

Fuente de variación	Cuadrados medios				
	Grados de libertad	Días a emergencia	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
Bloque	3	0.28	1.98	0.96	14.08
Densidad (D)	1	0.01	0.11	2.45	16.2*
Variedad (V)	9	5.07**	184.86**	157.57**	136.438*
D*V	9	0.18	2.11	2.84	3.37
CV %		6.54	2.62	1.97	1.91

* Significativo; ** Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

Las variedades más precoces fueron 'Hav-44B' y 'Hav-2', ambas con 44 DF, 64 DIC y con 99 y 100 DFC, respectivamente (Cuadro 9). El ciclo de cultivo de estas variedades fueron más precoces que los reportados por Salinas *et al.* (2012) quienes encontraron que en clima semiárido y templado bajo condiciones de temporal, las variedades de hábito indeterminado tuvieron un ciclo promedio de 110 días de siembra a fin de cosecha, lo cual pudo deberse a una aceleración en el crecimiento y desarrollo de las plantas conducidas bajo condiciones de invernadero (Sánchez y Escalante, 1988). Salinas (2010) señala que en clima templado 'Hav-14' tuvo una duración de la fase vegetativa (emergencia a la tercer hoja trifoliada) de 22 dds, la fase reproductiva 69 dds y el ciclo biológico 119 de la siembra al último corte; aunque en las variedades de hábito indeterminado, el ciclo del cultivo (fin de cosecha) depende de la altura de la planta a la que son conducidas.

Considerando las variedades más precoces ('Hav-44B' y 'Hav-2') en un ciclo de 99 días de siembra a fin de cosecha, es posible obtener 3.6 ciclos por año.

Cuadro 9. Comparaciones de medias de variables fenológicas en 10 variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2012.

Variedades	Días a emergencia	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
'Hav-68'	7.1 ab	52.0 b	71.4 b	106.4 ab
'Hav-44B'	6.6 bc	45.4 de	64.4 de	99.5 d
'Hav-2'	6.0 c	44.0 e	64.0 e	99.0 d
'EJ-SI-88'	7.0 ab	48.0 cd	67.0 cd	102.0 cd
'R. Celaya'	5.0 d	54.3 a	71.1 b	105.0 bc
'Hav-27'	7.3 ab	56.0 a	75.0 a	109.4 a
'Hav-65'	7.4 a	55.0 a	73.8 a	109.1 a
'Hab-229'	7.5 a	55.4 a	74.0 a	109.5 a
'Hav-44N'	7.4 a	44.3 e	64.0 e	100.3 d
'Hav-62'	7.4 a	49.9 c	68.0 c	104.6 bc
Media	6.9	50.3	69.3	104.5
DMSH	0.74	2.16	2.24	3.29

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables del rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza (Cuadro 10) mostró diferencias significativas solamente para RF y PMV, entre densidades; mientras que las variables NV, PMV, DV y LV tuvieron diferencias significativas entre variedades, no así para la variable RF. La interacción Densidad*Variedad sólo tuvo diferencias estadísticas para PMV.

Cuadro 10. Análisis de varianza de las variables del rendimiento y sus componentes en 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Rendimiento de fruto	Número de vainas	Peso medio de vaina	Diámetro de vaina	Longitud de vaina
Bloque	3	7.12**	125027.7**	2.02*	0.00874*	0.63*
Densidad (D)	1	0.99*	561.8	4.27*	0.00008	0.01
Variedad (V)	9	0.39	28796.5*	6.43**	0.2391**	25.31**
D*V	9	0.15	3304.3	0.99*	0.00076	0.20
CV %		14.78	16.25	8.33	4.83	3.03

*significativo; **Altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

En la prueba de comparación de medias entre variedades (Cuadro 11), se encontró que las variedades ‘Hav-27’ y ‘Hab-229’, fueron las de mayor DV (1.05 cm), pero de menor longitud; ‘HAV-2’ la de mayor LV (14.5 cm), pero una de las más delgada; y ‘Rojo Celaya’ la de mayor NV (591), pero presentó vainas delgadas y cortas; en RF ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) no hubo diferencias estadísticas, lo cual probablemente se debe a que las variedades de mayor longitud, no necesariamente fueron las de mayor diámetro de vaina o las de mayor número de vainas; además hay que considerar que para este estudio se eligieron los 10 mejores genotipos de un total de 50 del programa de mejoramiento de frijol ejotero de la UACH. No obstante, el rendimiento promedio obtenido en este sistema de producción bajo invernadero ($3.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) es muy superior a lo obtenido en campo abierto (Esquivel *et al.*, 2006 y Salinas *et al.*, 2008). Entonces, los resultados obtenidos con la variedad más productiva (‘Hab-229’ con $3.63 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de

invernadero) indican que el manejo de frijol ejotero en hidroponía bajo condiciones de invernadero permite obtener mayor rendimiento por unidad de superficie (alrededor de un 45 % más) según lo reportado por Esquivel *et al.* (2006) y 200 % más que lo reportado por Salinas *et al.* (2008). Esquivel *et al.* (2006) encontró hasta $2.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ a campo abierto y con riego por goteo, mientras que Salinas *et al.* (2008) obtuvieron solamente $1.17 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Esto debido a las condiciones controladas de agua de riego, temperatura, luz, nutrimentos y patógenos que se tuvo en el presente estudio.

En valores absolutos, una de las variedades con mayor rendimiento fue la 'Hab-229' con $3.63 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Esta se obtuvo en un ciclo de 110 días de siembra a fin de cosecha al despuntar las plantas a tres m de altura, por lo que es posible obtener hasta tres ciclos en un año, que equivale a un rendimiento potencial de $11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero ($110 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

Cuadro 11. Comparaciones de medias de variables del rendimiento y sus componentes en 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.

Variedades	Rendimiento de fruto (kg.m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g.m ⁻²)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
'Hav-68'	3.50 a	459 bc	7.67 ab	0.94 b	13.69 b
'Hav-44B'	3.40 a	569 ab	5.97 d	0.55 e	12.24 c
'Hav-2'	3.30 a	438 c	7.48 ab	0.76 d	14.47 a
'EJ-SI-88'	3.21 a	428 c	7.47 ab	0.82 cd	14.06 ab
'R. Celaya'	2.96 a	591 a	5.01 e	0.83 cd	9.32 e
'Hav-27'	3.53 a	498 abc	7.07 abc	1.05 a	11.08 d
'Hav-65'	3.52 a	451 bc	7.91 a	1.02 a	10.60 d
'Hab-229'	3.63 a	542 abc	6.73 bcd	1.05 a	10.71 d
'Hav-44N'	3.10 a	480 abc	6.50 cd	0.61 e	12.70 c
'Hav-62'	3.16 a	427 c	7.46 ab	0.92 b	14.05 ab
Media	3.30	488	6.93	0.86	12.30
DMSH	0.81	130.9	0.95	0.07	0.61

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



Figura 5. Vainas de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado antes de la cosecha.

En cuanto a tamaño de fruto, Myers (2000) menciona que la longitud de las vainas es un carácter importante en la aceptación comercial de las variedades de frijol ejotero y se considera que la longitud de vaina comercial debe ser superior a 12 cm. Con base en los resultados obtenidos, es posible elegir al menos seis variedades de las evaluadas con esta característica. No obstante, el grosor de la vaina también es un factor importante de calidad. Otro factor de calidad es el color del fruto, en este caso la variedad 'Rojo Celaya' presentó vainas de color rojo (Figura 6) que pueden resultar atractivas para los consumidores; además recientemente se ha demostrado que el frijol ejotero posee una impresionante capacidad antioxidante ya que contienen una amplia variedad de carotenoides y flavonoides (Baardseth, 2010).



Figura 6. Características de vaina en variedades de hábito indeterminado.

Las variedades de hábito indeterminado no presentaron diferencias para ninguna variable del rendimiento evaluada al manejarse densidades de 15 y 10 plantas·m⁻² (Cuadro 12), lo cual puede deberse a la alta densidad de población establecida, ya que se observó sombreado excesivo (Figura 7), por lo que seguramente hubo fuerte competencia por intercepción de luz.

Lo anterior coincide con López *et al.* (2002) quien menciona que densidades altas de población en invernadero conducen a condiciones de humedad extremadamente altas y sombras excesivas, por lo que se reduce el rendimiento, mientras que mejores condiciones de humedad y más radiación, se incrementa la producción. De igual manera, Escalante y Kohashi (1982) señalan que el incremento en la densidad de población genera mayor sombreado, producido por el mayor número de hojas·m⁻², lo que reduce el acceso de la luz conforme avanza el ciclo del cultivo e incrementa la senescencia de las hojas. Además, afecta algunos procesos fisiológicos, como: la velocidad de fotosíntesis, respiración, fotorrespiración y transpiración.

Cuadro 12. Comparación de medias de dos densidades de población en 10 variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2012.

Densidad de plantas (m ²)	Rendimiento de fruto (kg·m ²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
10	3.20 a	485.6 a	6.70 a	0.85 a	12.29 a
15	3.40 a	490.9 a	7.16 a	0.86 a	12.26 a
DMSH	0.23	84.6	1.30	0.01	0.54

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



Figura 7. Variedades de hábito indeterminado que muestran la cantidad de área foliar en la etapa de producción del cultivo.

CONCLUSIONES

El manejo de frijol ejotero en invernadero e hidroponía permite obtener altos rendimiento por unidad de superficie ($3.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 95 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'Palma' que es de hábito de crecimiento determinado, y hasta $3.63 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 110 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'Hab-229' que es de hábito de crecimiento indeterminado).

Las densidades de población evaluadas no mostraron diferencias en rendimiento en ninguno de los dos grupos de variedades establecidas.

LITERATURA CITADA

BAARDSETH, P.; BJERKE, F.; MARTINSEN, B.K. 2010. Vitamin C, total phenolics and antioxidative activity in tip-cut green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and swede rods (*Brassica napus* var. napobrassica) processed by methods used in catering. J Sci Food Agric. 90(7):1245-55.

BASCUR B., G. 2002. Trepador-INIA: variedad de poroto verde (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo bajo invernadero. Agricultura Técnica 62(1): 158-165.

ESCALANTE E., J.A.; KOHASHI S., J. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia 48: 29-38.

ESQUIVEL E., G.; ACOSTA G., J. A.; ROSALES S., R.; PEREZ H., P.; HERNADEZ C., M.; NAVARRETE M., R.; MURUAGA M., J. S. 2006. Productividad y adaptación de frijol ejotero en el Valle de México. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 119-126.

GUZMÁN M., S.H.; GALLEGOS A., A.J.; ÁLVAREZ M., M.A.; GARCÍA D.,S.; LORCA P., G. 2002. Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica en México. 28 (2): 159-173.

KELLY, J. D. 2001. Remaking vean plant architecture for efficient production. Adv. Agron. 71: 109-143.

LIEN, A.; BAGGETT, R. 1998. Pod detachment characteristics of easy picking and normal green beans. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 41: 223-224.

LÓPEZ, J.C.; BAILLE, A.; BONACHELA, S.; PÉREZ-PARRA, J. 2002. Effects of heating strategies on earliness and yield of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under "Parral" plastic greenhouses. International ISHS Symposium on product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate. Ragusa-Italy. 7 p.

MORENO P., E.C.; SÁNCHEZ DEL C., F.; BLANCAS C., M.E.; VÁSQUEZ S., A.; GONZÁLEZ M., L.; MONTALVO H., D. 2014. Huerto Comercial Hidropónico: Una alternativa de producción de hortalizas en invernadero. Revista Agroproductividad 1 (1): 21-27.

MYERS, J. R. 2000. Tomorrow's snap bean cultivars, pp. 39-51. In: Bean Research, Production and Utilization. SINGH, S. P. (ed.). Proceedings of the Idaho Bean Workshop 'Celebrating 75 years of Bean Research and Development' and 50 Years of the Cooperative Dry Bean Nursery. Ag. Communications, Univ. of Idaho.

SALINAS R., N. 2010. Cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento en función del manejo en ambientes contrastantes. Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 89 p.

SALINAS R., N; ESCALANTE E, .J.A.; RODRÍGUEZ G., M.T.; SOSA M., ELISEO. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana 31(003): 235-241.

SALINAS, R.; SÁNCHEZ, E.; RUÍZ, J.M.; LAO, M.T.; ROMERO, L. 2012. Producción de biomasa y rendimiento en judía verde (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Strike' en respuesta a la fertilización fosforada. Phytton 81(1): 35-39.

SÁNCHEZ DEL. C., F.; ESCALANTE R., E. R.1988. Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 188 p.

SÁNCHEZ DEL C., F.; MUÑIZ C., F. DE J. 2008. El huerto comercial hidropónico: una alternativa para pequeños y medianos productores de invernadero. Artículo *inextenso*. Segundo Simposio Internacional de Invernaderos. Toluca, Edo. de México. 25 p.

SIAP-SAGARPA. 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. (Consultado en marzo de 2014).

IV. EVALUACIÓN DE VARIEDADES II:

MANEJO DE VARIEDADES DE FRIJOL EJOTERO EN TRES DENSIDADES DE POBLACION EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Con base en los resultados obtenidos en la primera fase de la investigación, se establecieron de abril a julio de 2013, dos experimentos independientes en hidroponía bajo invernadero. En el primer experimento, se evaluaron cuatro variedades de hábito de crecimiento indeterminado: 'Hav-2', 'Hav-65', 'Hav-68' y 'Hab-229', en tres, seis y nueve plantas·m⁻² útil. Al mismo tiempo, en un segundo experimento, se comparó la respuesta de variedades de hábito de crecimiento determinado: 'Palma', 'León' y 'Hialeah', en 10, 15 y 20 plantas·m⁻² útil. Los resultados obtenidos indicaron que el manejo de frijol ejotero en invernadero e hidroponía permite obtener rendimientos por unidad de superficie del orden de 2.0 kg·m⁻² de invernadero en un ciclo de 86 días de siembra a fin de cosecha usando la variedad 'León' que es de hábito de crecimiento determinado, y hasta de 4.02 kg·m⁻² de invernadero en un ciclo de 102 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'Hab-229' que es de hábito de crecimiento indeterminado. El mayor rendimiento en las variedades de frijol de hábito de crecimiento determinado se obtuvo con una densidad de población de 15 plantas·m⁻², mientras que en las de hábito indeterminado fue de 9 plantas·m⁻².

Palabras clave: frijol ejotero, hidroponía, invernadero, densidad de población.

ABSTRACT

This research was carried out in greenhouses condition of the Horticulture Institute at the Plant Science Department located in the experimental field of the Chapingo Autonomous University. Based on the results obtained in the first phase of the research, two independent experiments in hydroponics greenhouse condition from April to July 2013, were established. In the first experiment, were evaluated four indeterminate growth habit varieties: 'Hav-2' 'Hav-65', 'Hav-68' and 'Hab-229', in three, six and nine plants·m⁻² useful. At the same time, in a second experiment was compared the response of three determinate growth habit commercial varieties: 'Palma', 'León' and 'Hialeah' in 10, 15 and 20 plants·m⁻² useful. The results indicate that green bean management in greenhouse and hydroponics allows yields per area unit (2.01 kg·m⁻² greenhouse in a cycle of 86 days from sowing to harvest using the determinate growth habit 'León' variety, and up to 4.02 kg·m⁻² greenhouse in a cycle of 102 days from sowing to harvest in the indeterminate growth habit 'Hab-229' variety. The highest yield of determinate growth habit varieties was obtained with a population density of 15 plants·m⁻², while the indeterminate habit was 9 plants·m⁻².

Key words: green bean, hydroponic, greenhouse, population density.

INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es una hortaliza de importancia mundial por su alto valor nutrimental. En México es conocido como ejote, es rico en proteína, hierro y contiene nutrientes esenciales, como ácido ascórbico, vitamina A, vitamina B y calcio (Kelly y Scott, 1992; Esquivel *et al.*, 2006). Además aporta cantidades importantes de carbohidratos y fibras (Salinas *et al.*, 2008).

En México, La mayor superficie de frijol ejotero es cultivada bajo condiciones de riego a cielo abierto (98 %) (SIAP-SAGARPA, 2013), y los rendimientos que se obtienen son bajos debido a las limitaciones climáticas en que crecen las plantas. Una forma de incrementar el rendimiento, es mediante el manejo del cultivo en hidroponía bajo invernadero como unicultivo, o bien, como parte de un sistema de producción basado en un huerto comercial hidropónico, lo que permite obtener ejotes de alta calidad en forma intensiva y continua en espacios pequeños durante todo el año (Moreno *et al.*, 2014). Existe escasa literatura disponible en este cultivo bajo invernadero e hidroponía, por lo que hace falta más investigación que permita conocer el comportamiento del frijol ejotero en estos sistemas de producción para un manejo apropiado. Por tal motivo, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado y cuatro de hábito indeterminado, en hidroponía bajo condiciones de invernadero, en tres densidades de población.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Con base en los resultados obtenidos en la primera fase de evaluación, se establecieron de abril a julio de 2013, dos experimentos independientes.

En el primer experimento, se evaluaron cuatro variedades de hábito de crecimiento indeterminado: 'Hav-2', 'Hav-65', 'Hav-68' y 'Hab-229' (Figura 1). De observaciones y resultados del primer experimento se considero necesario hacer ajustes en las densidades de población, de tal manera que se establecieron en tres, seis y nueve plantas·m⁻² útil. Asimismo, en un segundo experimento, se comparó la respuesta de variedades de hábito de crecimiento determinado: 'Palma', 'León' y 'Hialeah', también en tres densidades de población (10, 15 y 20 plantas·m⁻² útil). Se eligió la variedad 'Palma' para un segundo estudio entre las variedades con crecimiento determinado, por ser la de mayor rendimiento en la primera fase.



Figura 1. Semillas de variedades de hábito indeterminado (a) 'Hav-2', (b) 'Hav-65', (c) 'Hav-68' y (d) 'Hab-229'.

La siembra en ambos experimentos se realizó el 06 de abril de 2013, misma que se hizo directamente en camas de cultivo de 1.2 m de ancho por 22 m de largo y 30 cm de profundidad, rellenas con arena de tezontle rojo con partículas de 2 a 4 mm diámetro en promedio, separadas del suelo con una capa de grava de 10 cm y una cubierta de plástico para evitar la incidencia de plagas del suelo. Una vez humedecido el sustrato, se hicieron hoyos a una profundidad homogénea de 7 cm, posteriormente $\frac{3}{4}$ partes de la cavidad se rellenó con peat moss y encima se colocó la semilla a una profundidad aproximada de 2 a 3 cm; por último se cubrió nuevamente con peat moss (Figura 2). Se dejaron bordos de medio metro de cama útil.

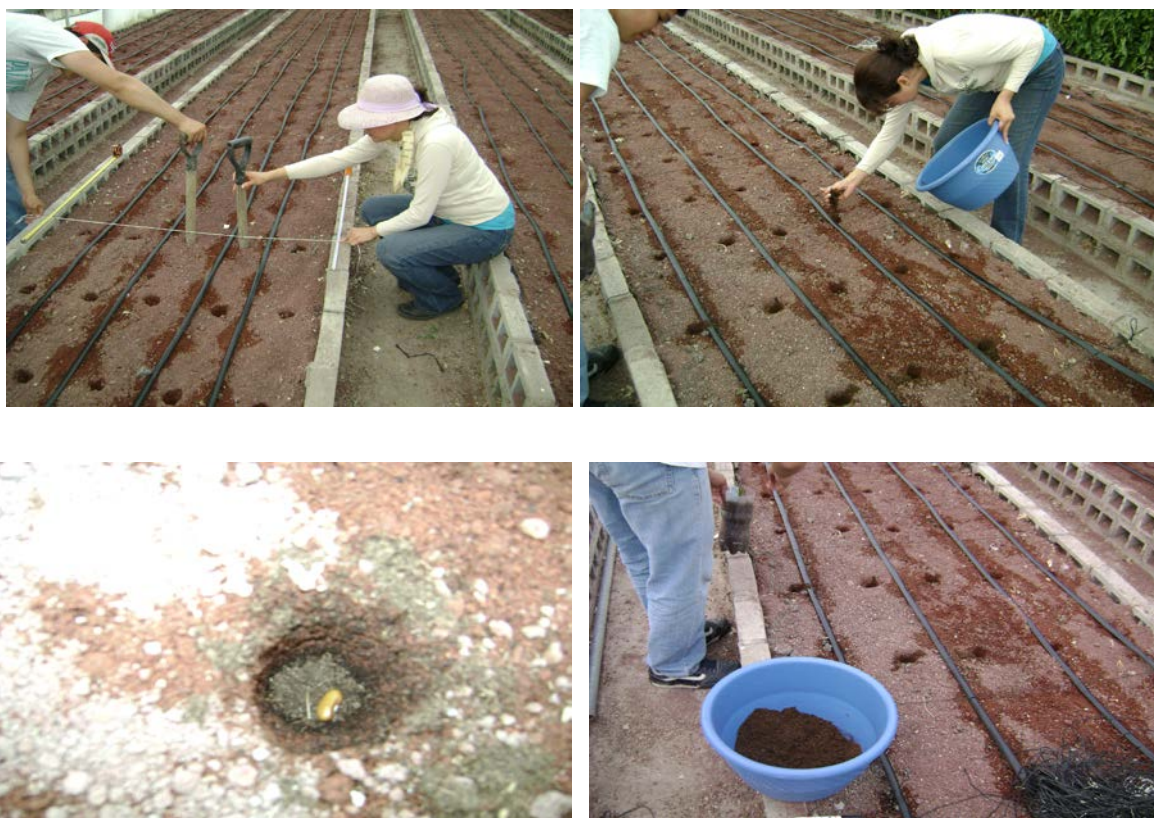


Figura 2. Procedimiento de siembra en variedades de frijol ejotero de hábito determinado e indeterminado.

Las plantas de los dos experimentos fueron irrigadas diariamente durante 10 minutos cada hora, siete veces al día, con una solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1988) y como se indica en el Cuadro 2 de la primera fase. Al inicio (primeros 5 días) la solución nutritiva fue al 30 % y después que apareció el primer par de hojas trifoliadas al 100 %. Se utilizó un sistema de riego por goteo basado en cintillas con goteros integrados, separados a 20 cm.

Para mantener erectas las plantas, en ambos experimentos se manejó un sistema de tutoreo en el cual se sujetó cada planta a una cinta de rafia amarrada a un alambre sostenido de la estructura superior del invernadero (Figura 3). Las plantas

de hábito de crecimiento indeterminado fueron despuntadas (remoción de la yema terminal de las guías) una vez que alcanzaron los tres metros de altura, lo cual ocurrió aproximadamente a los 40 días después de la siembra (dds).



Figura 3. Actividades de tutorado realizadas en variedades de frijol ejotero de hábito determinado e indeterminado, durante el desarrollo del cultivo.

Antes de la siembra el sustrato se desinfectó con Quatz IV microbicida Twin-Chan a dosis de 1 L en 200 L de agua, asimismo, se realizó una aplicación de Beleaf® (i.a. Flonicamid) a dosis de $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ para el control de la mosquita blanca presente en el invernadero. A los 35 dds, se detectó la presencia de nemátodos principalmente en las plantas de hábito determinado, por lo que cada 15 días se hicieron aplicaciones de Vydate® LV (i.a. Oxamil) a dosis de $5 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$, y RUTER AA (enraizador a base de aminoácidos) a dosis de $3 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$, para recuperar el crecimiento de las plantas afectadas.

En los dos experimentos se cuantificaron variables fenológicas, morfológicas, fisiológicas, del crecimiento, del rendimiento y sus componentes.

Variables fenológicas

Días a emergencia (DE). Se cuantificaron los días transcurridos desde la siembra hasta que al menos el 50 % de las plantas habían emergido.

Días a primer par de hojas trifoliadas (DPPHT). Se cuantificaron los días transcurridos hasta el momento en que el 50 % de las plantas presentaron el primer par de hojas trifoliadas.

Días a floración (DF). Se cuantificaron los días a floración hasta el momento en que el 50 % de las plantas presentaban por lo menos una flor en antesis.

Días a inicio de corte (DIC) y días a fin de corte (DFC). Se cuantificaron los días transcurridos de la siembra al inicio y fin de corte, respectivamente. Los cortes se realizaron a intervalos de cinco días, con un total de seis para las variedades de hábito determinado y siete para las indeterminadas; sin embargo, en las variedades de hábito determinado la cosecha inicio aproximadamente 10 días antes que las indeterminadas. Las vainas se cortaron al presentar una longitud mínima de 10 cm.

Variables morfológicas

Se realizaron tres muestreos a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), en cada uno se eligieron tres plantas al azar y se midió:

Altura de planta (AP) en cm, se tomó desde la base del tallo hasta el punto de crecimiento.

Número de hojas (NH). Se contabilizó el número total de hojas por planta.

Díámetro de planta (DP) en cm, se tomó de la parte media de la planta.

Variables fisiológicas

Área foliar (AF). Se estimó a los 30, 60 y 90 dds. Se determinó mediante el método no destructivo del área del triángulo a los 30 y 60 dds (Escalante y Kohashi, 1993), para ello se midió con una regla, la longitud y el ancho de la base de cada foliolo de tres plantas elegidas al azar por unidad experimental para posteriormente calcular el área ($\text{base} \times \text{altura} / 2$). A los 90 dds, el AF se determinó con un integrador marca Li-cor 3100, para tal efecto, las tres plantas muestreadas a los 30 y 60 días, se cortaron y se llevaron al laboratorio para medir las laminas foliares. Se contemplo un factor de corrección, el cual se determinó de la siguiente manera: en una repetición independiente, se eligieron tres plantas al azar por variedad a los 30 y 60 dds, en cada foliolo se calculó el área del triángulo ($\text{base} \times \text{altura} / 2$), paso siguiente se cortaron y se llevaron al laboratorio para medir las laminas foliares con un integrador marca Li-cor 3100. Los datos resultantes, se sometieron a un análisis de regresión lineal para obtener el factor de corrección, el cual se multiplicó por el área del triangulo calculado en los muestreos no destructivos.

Índice de área foliar (IAF). Con los datos anteriores, se calculó mediante la relación siguiente:

$$IAF = \frac{AF * DP}{10,000 \text{ cm}^2}$$

Donde:

AF = Área foliar por planta (cm²); DP = Densidad de población (número de plantas·m⁻²).

Variables del crecimiento

En la mismas fechas se analizó el crecimiento del cultivo en una repetición independiente, para ello, se eligieron tres plantas al azar por variedad a los 30 y 60 dds, las cuales fueron cortadas a nivel del sustrato (en la base del tallo) durante las primeras horas de la mañana, posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se llevaron al laboratorio para desecarlas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55 °C aproximadamente por 72 h hasta obtener peso constante, luego se pesaron en una balanza digital para determinar el peso seco (PS) en gramos en tallo, hoja y frutos, sin considerar el sistema radical. A los 90 dds el PS se determinó de la misma manera, pero las plantas fueron cortadas directamente de cada unidad experimental. Con esos datos la **tasa de asimilación neta (TAN)** y la **tasa de crecimiento del cultivo (TCC)** se estimaron mediante las relaciones siguientes:

$$TAN (g \cdot m^{-2} \text{ de hoja} \cdot d^{-1}) = \frac{TCC}{IAF}$$

$$TCC (g \cdot m^{-2} \text{ de suelo} \cdot d^{-1}) = \frac{PS_2 - PS_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

PS = Pesos de la biomasa total de la planta al final y al inicio de un periodo determinado.

$t_2 - t_1$ = Tiempo transcurrido entre los dos muestreos.

Variables del rendimiento y sus componentes

Rendimiento de fruto (RF): se cuantificó el peso fresco en $kg \cdot m^{-2}$ de frutos comerciales, para lo cual se empleó una báscula electrónica digital.

Número de vainas (NV): se contabilizó el número de vainas totales por metro cuadrado.

Peso medio de vaina (PMV): se obtuvo dividiendo el rendimiento de fruto entre el número de vainas en $g \cdot m^{-2}$ de invernadero.

Longitud de vaina (LV): con ayuda de una regla se midió la longitud de vaina en cm, de la base al ápice de la misma, sin considerar la punta, en una muestra de 10 vainas tomadas al azar en cada unidad experimental.

Diámetro de vaina (DV): las vainas son más o menos rectangulares y con apoyo de un vernier se midieron (en cm) su ancho y su grueso en el centro de la vaina,

en una muestra de 10 vainas tomadas al azar por unidad experimental. El diámetro medio se determinó dividiendo su ancho entre su grueso.

Diseño experimental y análisis estadístico

En ambos experimentos, se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones, con un arreglo de parcelas divididas. En la parcela grande se establecieron las densidades y en la parcela chica las variedades. La unidad experimental de parcela chica constó de 1 m² de cama de cultivo. Las variables estudiadas se sometieron a un análisis de varianza, así como pruebas de comparación de medias de Tukey (P=0.05). Los datos obtenidos de los muestreos no destructivos, se sometieron a un análisis de regresión para encontrar el factor de corrección que permitió estimar el AF. Se utilizó el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variedades de hábito determinado

Variables fenológicas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre densidades de población para días a primer par de hojas trifoliadas (DHT), no así para las otras variables. Entre variedades, existieron diferencias significativas para DE, DHT, DF, DFC y altamente significativas para DFC. La interacción Densidades*Variedades presentó diferencias significativas sólo para DF (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de caracteres fenológicos en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Cuadrados medios					
	Grados de libertad	Días a emergencia	Días a primer par de hoja trifoliada	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
Bloque	2	0.11	2.33	1.81	0.33	1.44
Densidad (D)	2	0.44	10.11*	1.14	1.77	4.00
Variedad (V)	2	1.77*	9.00*	9.59*	45.77*	98.77**
D*V	4	0.55	0.11	6.87*	5.88	5.11
CV %		7.97	6.67	2.60	3.08	2.23

*Significativo; **Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

En promedio, la emergencia ocurrió a los ocho dds, el primer par de hojas trifoliadas a los 20 dds, el inicio de floración a los 47 dds, el inicio de cosecha a los 63 dds y el último corte a los 87 dds, siendo 'Hialeah' la variedad más precoz con 84 días de siembra a fin de cosecha (Cuadro 2). Kenneth (2012), señala que el frijol ejotero tiene un corto período de crecimiento, de entre 50 y 75 días dependiendo de la variedad y temporada de siembra.

El presente trabajo se llevó a cabo en diferente invernadero y ciclo de cultivo respecto a la primera fase, por lo tanto, las condiciones variaron con la época del año lo que afectó el tiempo de cosecha (cuatro días de diferencia en la variedad 'Palma' con respecto al primer ciclo) lo que sería importante para el manejo del huerto, ya que se acorta el tiempo de cosecha. Así en un ciclo de 84 días con la variedad más precoz ('Hialeah'), es posible obtener al menos cuatro ciclos (4.3 ciclos) de cultivo al año; por lo tanto, para el manejo de un huerto comercial, se

deben dejar tres espacios dentro del invernadero, sembrando el primero de cada mes de forma alternada, en cada uno de los espacios para cosechar durante todo el año. La cosecha inicia a los 61 dds, realizando 6 cortes por mes (uno cada cinco días). Con lo anterior se garantizaría una producción constante, con excepción de los dos primeros meses del primer ciclo.

Cuadro 2. Comparaciones de medias de caracteres fenológicos en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	Días a emergencia	Días a primer par de hoja trifoliada	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
'Palma'	8.0 ab	20.7 a	46.1 b	65.1 a	90.4 a
'León'	7.6 b	18.7 b	48.1 a	62.2 b	86.3 b
'Hialeah'	8.4 a	19.7 ab	47.0 ab	60.6 b	83.8 c
Media	8.0	19.7	47.0	62.6	86.8
DMSH	0.8	1.9	1.54	2.4	2.4

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables morfológicas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre densidades solamente para diámetro de planta (DP) de los 30 a los 60 dds y para altura de planta (AP) de los 60 a los 90 dds. Entre variedades, existieron diferencias significativas para número de hojas (NH) y DP en el primer muestreo y para AP y NH en el segundo muestreo. La interacción Densidades*Variedades presentó

diferencias significativas sólo para NH tanto en el primero como en el segundo muestreo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de caracteres morfológicos en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)
		30-60 DDS			60-90 DDS		
Bloque	2	84.40	21.37*	68.96*	90.22*	50.77*	9.05
Densidad (D)	2	103.97	10.81	30.88*	127.34*	16.44	60.92
Variedad (V)	2	16.20	18.37*	165.57**	90.28*	113.77*	9.8
D*V	4	13.18	24.48*	6.03	13.57	91.38*	75.53*
CV %		20.45	15.41	7.67	9.56	11.80	10.24

*Significativo; **Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

En la comparación de medias, en general la variedad ‘León’ presentó las mejores características morfológicas en la última etapa de su desarrollo con 45.1 cm de altura y 30.4 hojas. En DP no hubo diferencias estadísticas en el segundo muestreo, pero en el primer muestreo presentó un perfil más ancho entre variedades. Al respecto Adams (1982) y Adams y Kelly (1992) indican, que de manera ideal las hojas del cultivo de frijol, deben estar dispuestas de manera que intercepten toda la luz incidente sin que las hojas superiores ocluyan seriamente a las inferiores de modo de maximizar la fotosíntesis del dosel en su conjunto. Plantean que el mayor rendimiento se tendrá con un perfil de planta estrecho (poco diámetro vista desde arriba) un rápido establecimiento del IAF crítico (alrededor de 4) y una duración prolongada del área foliar.

Cuadro 4. Comparaciones de medias de caracteres morfológicos registrados en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	30-60 DDS			60-90 DDS		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)
'Palma'	30.6 a	11.0 b	32.5 b	38.9 b	23.3 b	42.0 a
'León'	31.4 a	13.6 a	36.2 a	45.1 a	30.4 a	42.3 a
'Hialeah'	32.9 a	11.4 ab	27.6 c	42.8 ab	26.8 ab	44.0 a
DMSH	6.74	2.33	3.1	5.08	3.99	5.5

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables fisiológicas y del crecimiento

El análisis de varianza que se presenta en el Cuadro 5, mostró diferencias significativas en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) e índice de área foliar (IAF) entre densidades y entre variedades en los dos períodos de crecimiento evaluados. La interacción Densidades*Variedades presentó diferencias en la tasa de asimilación neta (TAN) de los 30 a los 60 dds y el IAF en los dos periodos evaluados.

Cuadro 5. Análisis de varianza de variables del crecimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		TAN	TCC	IAF	TAN	TCC	IAF
		30-60 DDS			60-90 DDS		
Bloque	2	1.22	0.11	1.44*	0.07	7.14	2.95*
Densidad (D)	2	0.67	5.24**	5.13*	0.22	71.4**	26.16**
Variedad (V)	2	0.15	6.17**	1.00*	0.35	37.46*	3.45*
D*V	4	2.14*	0.51	1.05*	0.52	5.41	2.46*
CV %		45.73	16.88	25.93	22.2	16.37	15.29

*Significativo; **Altamente significativo. TAN: tasa de asimilación neta; TCC: tasa de crecimiento del cultivo; IAF: índice de área foliar; DDS: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación.

En la comparación de medias, los valores de la TAN no mostraron diferencias estadísticas entre variedades en ninguno de los periodos evaluados (Cuadro 6); por lo tanto la eficiencia de un metro cuadrado de hojas para producir fotoasimilados fue similar entre variedades, mostrando tasa similar de fotosíntesis neta (Escalante y Kohashi, 1993; Morales *et al.*, 2008). Rosales *et al.* (2000) y Rodríguez *et al.* (2005) observaron que el aumento en la tasa media de crecimiento relativo (TCR) y tasa de asimilación neta (TAN), se correlacionaron positivamente con el incremento en el rendimiento.

Entre variedades la mayor TCC (3.53 y 10.46) la obtuvo 'León' en los dos periodos de muestreo. En el segundo período de evaluación se aprecia que las variedades 'León' y 'Hialeah' mostraron los valores más altos en el IAF (4.87 y 4.60, valores dentro de lo recomendado), debido probablemente a que fueron más eficientes e

interceptaron mayor radiación (Morales *et al.*, 2006). Adams (1982) y Adams y Kelly (1992) sostiene que la tasa de crecimiento de un cultivo aumenta conforme lo hace el IAF, hasta alcanzar un valor óptimo, después del cual empieza a declinar. Este punto óptimo es el IAF requerido para interceptar el 95 % de la RFA incidente y que generalmente responde a un valor de entre 3 y 5. Después de estos valores el incrementar el área foliar, provoca sombreo entre las hojas y junto con la senescencia de ellas reducen la actividad fotosintética de la planta, es decir, el dosel reduce en gran medida su capacidad para interceptar mayor cantidad de luz.

Cuadro 6. Comparación de medias de variables del crecimiento en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	30-60 DDS			60-90 DDS		
	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ²)	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ²)
'Palma'	1.64 a	2.04 b	1.55 b	1.81 a	6.38 c	3.69 b
'León'	1.82 a	3.53 a	2.22 a	2.20 a	10.46 a	4.87 a
'Hialeah'	1.57 a	2.15 b	1.86 ab	1.95 a	8.50 b	4.60 a
DMSH	0.96	0.54	0.61	0.55	1.74	0.84

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). TAN: tasa de asimilación neta; TCC: tasa de crecimiento del cultivo; IAF: índice de área foliar; DDS: días después de la siembra; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables del rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza que se presenta en el Cuadro 7, muestra que entre densidades existieron diferencias significativas para RF, NV y LV, no así para la variable DV. Entre variedades, todas las variables mostraron diferencias significativas, aunque la interacción D*V no mostró diferencias en ningún caso.

Cuadro 7. Análisis de varianza de las variables del rendimiento y sus componentes en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Rendimiento de fruto	Número de vainas	Peso medio de vaina	Diámetro de vaina	Longitud de vaina
Bloque	2	0.46*	12182.4*	0.01	0.005	0.007
Densidad (D)	2	1.32**	35081.9**	0.12	0.001	0.749*
Variedad (V)	2	0.31*	13584.1*	0.19*	0.0103*	4.315**
D*V	4	0.03	779.9	0.01	0.001	0.189
CV %		12.17	10.27	3.39	5.25	2.91

*Significativo; **Altamente significativo; CV: coeficiente de variación.

La comparación de medias entre variedades mostró que en rendimiento de fruto, la variedad 'León' fue estadísticamente similar a 'Hialeah' (2.01 y 1.82 kg·m⁻², respectivamente); pero mayor que 'Palma' (1.63 kg·m⁻²). La variedad 'León' fue ligeramente de menor DV y LV que 'Palma' y 'Hialeah', pero produjo una mayor cantidad de vainas, posiblemente como efecto de un mayor IAF y por lo tanto de una mayor TCC desde etapas tempranas del desarrollo, lo que le permitió incrementar su rendimiento final; la variedad 'Hialeah' presentó las vainas más

largas con 14.7 cm (Cuadro 8). Kelly (2001) menciona que en variedades de hábito de crecimiento determinado el potencial de rendimiento es limitado comparado con las variedades indeterminadas, debido al menor número de nudos que pueden dar origen a flores y vainas. Kennet (2011) en un estudio realizado a campo abierto en las Bahamas encontró un rendimiento de $450 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ en la variedad 'Hialeah'.

El rendimiento obtenido en las variedades determinadas en esta segunda fase de evaluación, fue 50 % menor respecto a la primera etapa, aunque el ciclo de cultivo también se acortó ligeramente. Lo anterior debido posiblemente a la presencia de nemátodos desde las primeras etapas de desarrollo, a pesar de que se realizaron aplicaciones para el control de esta plaga, el rendimiento se vio afectado. Además, el experimento se llevó a cabo en diferente invernadero y ciclo de cultivo, por lo que las condiciones variaron con la época del año. El ciclo donde hubo mejor respuesta coincidió en la época donde hubo mayores nublados y por ende menor intensidad de luz, que de acuerdo con Schwartz (1980) la alta intensidad lumínica puede producir aborto de flores y vainas, lo cual pudo ocurrir en el invernadero de la segunda etapa.

Así con un rendimiento de $2.01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en un ciclo de 86 días con la variedad 'León', es posible obtener al menos cuatro ciclos (4.2 ciclos) de cultivo al año, que representa potencialmente un rendimiento anual de $8.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, es decir $84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Cuadro 8. Comparación de medias en las variables del rendimiento y sus componentes en tres variedades de frijol ejotero de hábito determinado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	Rendimiento de fruto (kg.m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
'Palma'	1.63 b	265 b	6.14 a	0.88 a	13.88 b
'León'	2.01 a	343 a	5.86 b	0.82 b	13.32 c
'Hialeah'	1.82 ab	300 b	6.08 ab	0.86 ab	14.70 a
Media	1.80	202	6.03	0.85	13.97
DMSH	0.28	39.10	0.25	0.06	0.51

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

En las variedades de hábito determinado las densidades de 15 y 20 plantas·m⁻² tuvieron estadísticamente igual rendimiento (1.98 y 2.10 kg·m⁻² de invernadero) y número de vainas (322 y 353), superando a la densidad de 10 plantas·m⁻² (Cuadro 9). En DV y LV no hubo ninguna diferencia entre densidades, por lo que el menor rendimiento con la menor densidad se debió al menor número de vainas producidas por unidad de superficie. Escalante (1999) y Olalde *et al.* (2000) afirman que el manejo de la densidad de población puede proveer a los cultivos de condiciones favorables para la expresión del mayor potencial de rendimiento. Asimismo, el tamaño y la duración del aparato fotosintético, están relacionadas con el rendimiento (Escalante, 1999); no obstante, dentro de un cierto rango, ya que densidades de población demasiado altas reducen la penetración de luz, lo que afecta el crecimiento de las plantas vecinas y por lo tanto del rendimiento por

unidad de superficie (Adams 1982), lo que pudo haber ocurrido en las densidades de 15 y 20 plantas·m⁻².

Cuadro 9. Comparación de medias de tres densidades de población en tres variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento determinado. Chapingo, México. 2013.

Densidad de plantas (m ²)	Rendimiento de fruto (kg.m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
10	1.38 b	233 b	5.97 a	0.84 a	13.65 a
15	1.98 a	322 a	6.16 a	0.86 a	14.03 a
20	2.10 a	353 a	5.95 a	0.86 a	14.22 a
DMSH	0.51	56.46	0.65	0.64	0.66

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variedades de hábito indeterminado

Variables fenológicas

El análisis de varianza para densidades de población reveló diferencias altamente significativas en DHT y DF. En cuanto a variedades, se presentaron diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas. La interacción Densidad*Variedad presentó diferencias estadísticas en DHT, DF, DIC y DFC (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza de caracteres fenológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Días a emergencia	Días a primer par de hoja trifoliada	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
Bloque	2	0.36	0.33	5.25	3.52	2.33
Densidad (D)	2	0.02	4.08**	80.33**	2.52	8.58
Variedad (V)	3	13.5**	3.33**	76.39**	64.4**	75.37**
D*V	6	0.28	0.75*	9.25*	35.86**	13.73*
CV %		11.01	2.44	2.84	1.69	1.81

*Significativo; ** Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

De acuerdo con la prueba de medias, al igual que en la primera fase de evaluación, la variedad más precoz fue 'Hav-2', en este caso con 6.2 DE, 16.0 DHT, 46.8 DF, 65.7 DIC y 95.5 DFC (Cuadro 11). Salinas *et al.* (2008) encontraron que en clima semiárido y templado bajo condiciones de temporal, la antesis en la variedad 'Hav-14' ocurrió a los 60 días; mientras que Peixoto *et al.* (2002) señalaron que bajo condiciones de riego en clima templado, esta misma variedad requirió solamente 42 días de siembra a antesis.

Cuadro 11. Comparaciones de medias de caracteres fenológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	Días a emergencia	Días a primer par de hoja trifoliada	Días a floración	Días a inicio de corte	Días a fin de corte
'Hav-2'	6.2 c	16.0 b	46.8 c	65.7 c	95.5 c
'Hav-65'	8.5 ab	17.3 a	51.8 ab	69.3 b	99.5 b
'Hav-68'	9.0 a	17.0 a	50.4 b	70.6 ab	100.4 ab
'Hab-229'	7.6 b	16.3 b	53.7 a	72.0 a	102.4 a
Media	7.8	16.7	50.7	71.3	99.5
DMSH	1.15	0.54	1.92	1.57	2.41

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables morfológicas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas sólo para DP en el primer muestreo y para NH y DP en el segundo entre densidades y entre variedades. La interacción Densidades*Variedades no presentó diferencias significativas en ninguno de los periodos de muestreo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza de caracteres morfológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)
		30-60 DDS			60-90 DDS		
Bloque	2	3911.91*	55.44	68.7*	0	46.19	11.19
Densidad (D)	2	670.39	0.03	39.45*	0	5733.7**	45.77*
Variedad (V)	3	3095.02	77.36	101.36**	0	2111.4*	31.70*
D*V	6	764.42	30.02	5.23	0	238.4	12.53
CV %		14.13	25.27	5.77	0	22.39	4.44

*Significativo; ** Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

En la prueba de comparación de medias, en el primer muestreo, 'Hab-229' presentó ligeramente más altura, pero un perfil de planta más estrecho entre variedades; en el segundo muestreo la misma variedad mostró ligeramente un mayor número de hojas y diámetro de planta más estrecho (Figura 13), lo que concuerda con Adams (1982) y Adams y Kelly (1992) quienes plantean que el mayor rendimiento se tendrá con un perfil de planta estrecho (poco diámetro vista desde arriba) un rápido establecimiento del IAF crítico (alrededor de 4) y una duración prolongada del área foliar.

Cuadro 13. Comparaciones de medias de caracteres morfológicos en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	30-60 DDS			60-90 DDS		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)	Altura de planta (cm)	Número de hojas (Planta)	Diámetro de planta (cm)
'Hav-2'	244.8 ab	24.3 a	52.5 a	3.0	63.0 b	62.3 a
'Hav-65'	249.2 ab	27.3 a	46.9 bc	3.0	92.3 a	58.2 b
'Hav-68'	228.0 b	26.4 a	48.3 b	3.0	80.6 ab	60.6 ab
'Hab-229'	267.1 a	31.3 a	44.5 c	3.0	97.6 a	58.6 b
DMSH	39.06	9.21	3.69	3.0	24.87	3.55

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables fisiológicas y del crecimiento

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la TAN, TCC e IAF entre densidades, de los 30 a 60 dds; asimismo se encontraron diferencias significativas en la TCC e IAF de los 60 a 90 dds. Entre variedades, solamente se presentaron diferencias significativas en IAF de los 30 a los 60 dds y en la TCC e IAF de los 60 a los 90 dds. La interacción Densidad*Variedad sólo presentó diferencias en IAF en el primer periodo de crecimiento evaluado (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza de variables del crecimiento en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		TAN	TCC	IAF	TAN	TCC	IAF
		30-60 DDS			60-90 DDS		
Bloque	2	8.74*	0.79	1.42*	0.11	23.04	0.5
Densidad (D)	2	6.82*	36.45**	9.08**	0.24	169.35**	31.14*
Variedad (V)	3	2.25	0.36	1.4*	0.28	34.92*	10.04*
D*V	6	0.55	0.4	0.38*	0.08	18.6	4.13
CV %		26.96	13.63	19.75	23.96	27.38	24.29

*Significativo; ** Altamente significativo. TAN: tasa de asimilación neta; TCC: tasa de crecimiento del cultivo; IAF: índice de área foliar; DDS: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación.

Entre las variedades de hábito indeterminado, no se observaron diferencias estadísticas en la TAN en ninguno de los dos periodos evaluados (Cuadro 15); por lo tanto la eficiencia de un metro cuadrado de hojas para producir fotoasimilados fue similar entre variedades, mostrando igual velocidad de fotosíntesis neta (Escalante y Kohashi, 1993; Morales *et al.*, 2008). Los valores máximos se registraron de los 30 a los 60 dds y disminuyeron al aumentar el área foliar y la edad de la planta. Aguilar *et al.* (2005), señalan que conforme avanza el ciclo del cultivo, aumenta el sombreado, se reduce el acceso de la luz y se incrementa la senescencia de las hojas, por lo cual la TAN disminuye. Escalante y Kohashi (1982), señalan que la disminución de la TAN puede atribuirse al autosombreado, generado por el mayor tamaño del dosel vegetal al incrementar la densidad de población y al aumento de la senescencia de las hojas.

La TCC sólo presentó diferencias estadísticas en el segundo período de evaluación, siendo 'Hab-229' la que tuvo el valor más alto (14.4); asimismo esta variedad alcanzó un IAF de 2.33 desde el primer muestreo, lo que permite suponer que 'Hab-229' tuvo un mayor porcentaje de radiación interceptada y mejor eficiencia en el uso de este recurso desde las primeras etapas de su desarrollo (Morales *et al.*, 2006).

Cuadro 15. Comparación de medias de variables del crecimiento en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	30-60 DDS			60-90 DDS		
	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ²)	TAN (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	TCC (g·m ⁻² ·día ⁻¹)	IAF (m ²)
'Hav-2'	3.62 a	5.10 a	1.59 b	2.01 a	9.97 b	5.03 b
'Hav-65'	3.92 a	5.19 a	1.48 b	1.64 a	11.60 ab	7.22 a
'Hav-68'	3.75 a	5.04 a	1.57 b	1.63 a	10.50 ab	6.58 ab
'Hab-229'	2.79 a	5.49 a	2.33 a	1.75 a	14.40 a	7.32 a
DMSH	1.26	0.94	0.45	0.56	4.20	2.11

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). TAN: tasa de asimilación neta; TCC: tasa de crecimiento del cultivo; IAF: índice de área foliar; DDS: días después de la siembra; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Variables del rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas entre densidades para RF, NV y PMV, pero no para las variables DV y LV. En

cuanto a variedades, existieron diferencias significativas para tres de las variables analizadas (NV, DV y LV). La interacción Densidad*Variedad solamente mostró diferencias significativas para DV (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza de las variables del rendimiento y sus componentes en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		Rendimiento de fruto	Número de vainas	Peso medio de vaina	Diámetro de vaina	Longitud de vaina
Bloque	2	0.4	23089.5	0.93	0.001	0.44
Densidad (D)	2	9.48**	224460.1**	21.67**	0.003	0.02
Variedad (V)	3	0.85	53609.4*	1.90	0.094*	8.68**
D*V	6	0.07	3263.0	0.16	0.003*	0.035
CV %		14.79	17.68	14.86	3.12	2.71

*Significativo; ** Altamente significativo. CV: coeficiente de variación.

La prueba de medias entre variedades mostró que las variedades ‘Hav-65’ y ‘Hab-229’ tuvieron el mayor diámetro de vaina (1.00 y 0.98 cm, respectivamente), siendo ‘Hav-2’ la de mayor longitud (15.39 cm), pero la más delgada; aunque, en peso fresco de fruto no hubo diferencias estadísticas entre variedades (Cuadro 17). Solamente en valores absolutos, la variedad “HAB- 229” tuvo el mayor rendimiento ($4.02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), esto debido a un mayor número de vainas y diámetro de fruto, comparado con las variedades ‘Hav-2’ y ‘Hav-68’; y por un mayor IAF desde las primeras etapas del desarrollo. Cabe recordar que en la primera fase del experimento la variedad ‘Hab-229’ fue también la que produjo un mayor peso de

fruto, por lo que esta variedad fue consistentemente de mayor rendimiento en ambos ciclos de evaluación.

Cuadro 17. Comparaciones de medias de variables del rendimiento y sus componentes registradas en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Variedades	Rendimiento de fruto (kg.m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g.m ⁻²)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
'Hav-2'	3.44 a	497 b	5.15 a	0.77 c	15.39 a
'Hav-65'	3.67 a	558 ab	5.51 a	1.00 a	13.29 b
'Hav-68'	3.32 a	507 b	4.95 a	0.93 b	13.57 b
'Hab-229'	4.02 a	666 a	6.00 a	0.98 a	13.32 b
Media	3.60	557	5.40	0.92	13.90
DMSH	0.71	131.27	1.07	0.04	0.40

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Con 4.02 kg·m⁻² en un ciclo de cultivo de 102 días (3.5 ciclos de cultivo al año), es posible obtener un rendimiento potencial de 14 kg·m⁻² (140 t·ha⁻¹·año⁻¹). Kelly (2001) menciona que en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado se favorece la producción de ejotes debido a una mayor cantidad de nudos y estructuras vegetativas que pueden sustentar un mayor número de vainas. Bascur (2002) indica que el aspecto de la vaina es un factor importante en la comercialización y aceptación en el mercado de una nueva variedad, ya que para producción en verde el consumidor prefiere una vaina plana, larga, de color verde claro, y sin presencia de hilo. Aunque no se cuantificó estas últimas

características, todas las variedades estudiadas cumplen con estas propiedades (Figura 4).



Figura 4. Características de la vaina de variedades de hábito indeterminado (a) 'Hav-2', (b) 'Hav-65', (c) 'Hav-68' y (d) 'Hab-229'.

En las variedades de hábito indeterminado, la densidad de nueve plantas·m⁻² mostró el mayor RF (4.47 kg·m⁻²), NV (687) y PMV (6.69), con un kg·m⁻² de diferencia por densidad (Cuadro 18). En DV y LV no hubo ninguna diferencia entre densidades. Lo anterior coincide con lo registrado por Russo (2008) quien señala que, dentro de cierto rango, las plantas manejadas en alta densidad en un ambiente sin limitaciones climáticas, como las que se pueden dar en un invernadero, incrementan su rendimiento por unidad de superficie. Moreno *et al* (2014) demostraron que al aumentar la densidad de población, hubo una

disminución en el rendimiento por planta, indicativo de cierto grado de competencia por radiación fotosintéticamente activa (RFA), producto de un mayor índice de área foliar (IAF); sin embargo, este decremento no fue tan importante, de manera que el rendimiento por unidad de superficie aumentó por mayor número de plantas.

De igual manera, Escalante y Kohashi (1982) y Escalante (1999) sostienen que mediante el manejo apropiado de la densidad de población puede incrementarse la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos, como producto del aumento en el área foliar, el índice de área foliar y su duración, generada por un mayor número de hojas·m⁻² y, en consecuencia, por una mejor eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar.

Cuadro 18. Comparación de medias de tres densidades de población en cuatro variedades de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado. Chapingo, México. 2013.

Densidad de plantas (m ²)	Rendimiento de fruto (kg.m ⁻²)	Número de vainas (m ²)	Peso medio de vaina (g.m ⁻²)	Diámetro de vaina (cm)	Longitud de vaina (cm)
3	2.70 c	414 c	4.01 c	0.92 a	13.94 A
6	3.67 b	570 b	5.51 b	0.94 a	13.96 A
9	4.47 a	687 a	6.69 a	0.92 a	14.02 A
DMSH	0.71	99.06	1.10	0.04	0.39

Las medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P=0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

CONCLUSIONES

El manejo de frijol ejotero en invernadero e hidroponía permite obtener rendimiento de $2.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 86 días de siembra a fin de cosecha usando la variedad 'León' que es de hábito de crecimiento determinado, y hasta de $4.02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ de invernadero en un ciclo de 102 días de siembra a fin de cosecha en la variedad 'HAB-229' que es de hábito de crecimiento indeterminado. Esta variedad también tuvo la Tasa de Crecimiento de Cultivo más alta (14.4) en el período de los 60 a 90 dds.

El mayor rendimiento en las variedades de frijol de hábito de crecimiento determinado se obtuvo con una densidad de población de $15 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$, mientras que en las de hábito indeterminado fue de $9 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$.

LITERATURA CITADA

ADAMS M., W. 1982. Plant architecture and yield breeding. Iowa. State Journal of Research 56 (3): 225-254.

ADAMS M., W.; KELLY J., D. 1992. The role of architecture, crop physiology and recurrent selection in ideotype breeding for yield in dry beans. Crop and Soil Sciences Department. Michigan State University. East Lansing, Michigan. EUA.

AGUILAR G., L.; ESCALANTE E., J.A.; FUCIKOVSKY Z., L.; TIJERINA CH., L.; MARK E., E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra Latinoamericana 23 (3): 303-310.

BASCUR B., G. 2002. Trepador-INIA: variedad de poroto verde (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo bajo invernadero. Agricultura Técnica 62(1): 158-165.

ESCALANTE E., J.A.; KOHASHI S., J. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia 48: 29-38.

ESCALANTE E., J. A.; KOHASHI S., J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

ESCALANTE E., J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra. 17: 149-157.

ESQUIVEL E., G.; ACOSTA G., J.A.; ROSALES S., R.; PEREZ H., P.;
HERNADEZ C., M.; NAVARRETE M., R.; MURUAGA M., J. S. 2006. Productividad
y adaptación de frijol ejotero en el Valle de México. *Revista Chapingo Serie
Horticultura* 12(1): 119-126.

KELLY, J. D. 2001. Remaking vean plant architecture for efficient production. *Adv.
Agron.* 71: 109-143.

KELLY, J.F.; SCOTT, M.K. 1992. The nutritional value of snap beans versus other
vegetables, p. 23-46. *In*: Henry, G. y W. Janssen (Tech. Eds.). *CIAT Proceedings
of an International Conference on Snap Beans in the Developing World Held from
16th to 20th October 1989 in Cali, Colombia.*

KENNETH V. A., R. 2011. Evaluation of two string bean (*Phaseolus vulgaris* L.)
varieties grown for the fresh market. *GRAC Crop Research Report No 5*:
Department of Agriculture, Nassau, Bahamas. pp. 1-5.

KENNETH V. A., R. 2012. Evaluation of six fresh green bean (*Phaseolus vulgaris*
L.) varieties for pod quality and yield. *GRAC Crop Research Report No 9*:
Department of Agriculture, Nassau, Bahamas. pp. 1-8.

MORALES R., E.J.; ESCALANTE E, J.A.; LÓPEZ S, J.A. 2008. Crecimiento,
índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y
asociado con girasol (*Helianthus annum* L.) *Universidad y Ciencia.* 24(1): 1-10.

MORALES R., E. J.; ESCALANTE E., J. A.; TIJERINA CH., L.; VOLKE H., V.; SOSA M., E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra latinoamericana* 24: 55-64.

MORENO P., E.C.; SÁNCHEZ DEL C., F.; BLANCAS C., M.E.; VÁSQUEZ S., A.; GONZÁLEZ M., L.; MONTALVO H., D. 2014. Huerto Comercial Hidropónico: Una alternativa de producción de hortalizas en invernadero. *Revista Agroproductividad* 1 (1): 21-27.

OLALDE G., V.M.; ESCALANTE E., J.A.; SÁNCHEZ G., P.; TIJERINA CH., L.; MASTACHE L., A.A.; CARREÑO R., E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana* 18: 313-323.

PEIXOTO, N.; BRAZ, L.T.; BANZATTO, D.A.; MORAES, E.A.; MOREIRA, F.M. 2002. Características agronómicas, productividad, qualidade de vagens e divergencia genética en Feijoo-vegem de crecimiento indeterminado. *Horticultura Brasileira* 20: 447-451.

ROSALES, R.; RAMÍREZ, P.; ACOSTA, J.A.; CASTILLO, F.; KELLY, D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34: 153-165.

RODRÍGUEZ, E.; SILVA, A.; PAULO, A.; GRANDI, M. 2005. Effects of size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Brazilian Journal of Physiology* 17(3): 273-281.

RUSSO V., M. 2008. Plant density and nitrogen fertilizer rate on yield and nutrient content of onion developed from greenhouse-grown transplants. *HortScience* 43: 1759-1764.

SALINAS R., N; ESCALANTE E, .J.A.; RODRÍGUEZ G., M.T.; SOSA M., ELISEO. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(003): 235-241.

SCHWARTZ H., F. 1980. Problemas de Producción de Frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticos de *Phaseolus vulgaris* L. CIAT. 424 p.

SIAP-SAGARPA. 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. (Consultado en marzo de 2014).

V. LITERATURA GENERAL CITADA

ADSULE, R.N; DESHPANDE, S.S.; SATHE, S.K. 2004. Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Editorial Acirbia, S.A. Distrito Federal, México. 739 p.

ADBEL, M.A.; DESUKI, S.R.; SALMAN, S.R. 2005. Performance of some snap bean varieties as affected by different levels of mineral fertilizers. *Journal of Agronomy* 4(3): 242-247.

AMANUEL, G.; KUHNE, R.F.; TANNER, D.G.; VLEK, P.L.G. 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biology and Fertility of Soils* 32: 353-359.

ALARCÓN V., A.L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnostico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro* 6: 16-19.

ASCENCIO J., L; SGAMBATTI. 2005. Análisis de crecimiento en tres cultivares de caraotas venezolanas (*Phaseolus vulgaris* L. cv "Coche" cv "Cubaguas" cv "Tacarigua") en condiciones de campo. *Agronomía Tropical* 25(2): 125-147.

BLANCAS C., M.E. 2011. Manejo de especies olerícolas de clima templado dentro de un huerto comercial hidropónico. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 108 p.

BASCUR B., G. 2002. Trepador-INIA: variedad de poroto verde (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo bajo invernadero. *Agricultura Técnica* 62(1): 158-165.

CÁNOVAS M., F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo. In: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España pp. 227-254.

CASTELLANOS, J. Z.; BORBÓN M., C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México, *In*: Manual de producción de tomate en invernadero. Javier Z. Castellanos (ed.). pp. 1-18.

CASTILLA P., N. 2007. Invernaderos de Plástico: Tecnología y Manejo. 2da. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 462 p.

DÍAZ L., E.; ESCALANTE E., J.A.; RODRÍGUEZ G., M.T; GAYTÁN A., A. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(3): 215-221.

ESCALANTE E., J. A.; KOHASHI S., J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

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(4): 309-315.

ESQUIVEL E., G.; ACOSTA G., J. A.; ROSALES S., R.; PEREZ H., P.; HERNADEZ C., M.; NAVARRETE M., R.; MURUAGA M., J. S. 2006. Productividad

y adaptación de frijol ejotero en el Valle de México. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 119-126.

FAOSTAT. 2013. *Food and Agricultural Commodities Production*; Available online: <http://faostat.fao.org> (accessed 01 Dic 2013).

GONZÁLEZ N. J. F. 2006. Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agro Síntesis. S.A. de C.V. México D.F. p 6.

KELLY, J.F.; SCOTT, M.K. 1992. The nutritional value of snap beans versus other vegetables, p. 23-46. *In*: Henry, G. y W. Janssen (Tech. Eds.). CIAT Proceedings of an International Conference on Snap Beans in the Developing World Held from 16th to 20th October 1989 in Cali, Colombia.

KENNETH V. A., R. 2011. Evaluation of two string bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown for the fresh market. *GRAC Crop Research Report No 5*: Department of Agriculture, Nassau, Bahamas. pp. 1-5.

KENNETH V. A., R. 2012. Evaluation of six fresh green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties for pod quality and yield. *GRAC Crop Research Report No 9*: Department of Agriculture, Nassau, Bahamas. pp. 1-8.

LEE, S.; JEONG, L., D.; YOUNG H., H. 2001. Determination of seeding and harvesting time in snap bean. J. Korean 11: 64-67.

LIEN, A.; BAGGETT, R. 1998. Pod detachment characteristics of easy picking an normal green beans. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 41: 223-224.

LÓPEZ, J.C.; BAILLE, A.; BONACHELA, S.; PÉREZ-PARRA, J. 2002. Effects of heating strategies on earliness and yield of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under “Parral” plastic greenhouses. International ISHS Symposium on product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate. Ragusa-Italy. 7 p.

MARSCHNER, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. 2a. ed. Academic Press. San Diego CA. USA. pp. 245-281.

MÉNDEZ J., G. 2011. Producción de hortalizas en huertos familiares bajo invernadero. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.

MORALES R., E.J.; ESCALANTE E, J.A.; LÓPEZ S, J.A. 2008. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annum* L.) Universidad y Ciencia. 24(1): 1-10.

MORENO P., E.C.; SÁNCHEZ DEL C., F.; BLANCAS C., M.E.; VÁSQUEZ S., A.; GONZÁLEZ M., L.; MONTALVO H., D. 2014. Huerto Comercial Hidropónico: Una alternativa de producción de hortalizas en invernadero. Revista Agroproductividad 1 (1): 21-27.

MORENO, R., AGUILAR, D. y LUÉVANO, G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 29: 763-774.

MYERS, J. R. 2000. Tomorrow's snap bean cultivars, pp. 39-51. *In*: Bean Research, Production and Utilization. SINGH, S. P. (ed.). Proceedings of the Idaho Bean Workshop 'Celebrating 75 years of Bean Research and Development' and 50 Years of the Cooperative Dry Bean Nursery. Ag. Communications, Univ. of Idaho.

NDERITU, J.H.; WAMBUA, E.M.; OLUBAYO, F.; KASINA, J.M.; WATURU, C.N. 2007. Evaluation of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars and breeding lines for resistance to thrips (Thysanoptera: thripidae) pests in Kenya. *Journal of Entomology* 4: 202-209.

OMAE H.; KUMAR, A.; KASIWABA, K.; SHONO, M. 2007. Assessing drought tolerance of snap vean (*Phaseolus vulgaris* L.) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science* 10(1): 28-35.

ONDER, S.; BOZKURT, S.; SAYILIKAN, G.; ONDER, D.; KARA, M. 2006. Effects of water stress and mulch on grean bean yield and yield components in greenhouse condition. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 127-132.

PEIXOTO, N.; BRAZ, L.T.; BANZATTO, D.A.; MORAES, E.A.; MOREIRA, F.M. 2002. Características agronómicas, produtividade, qualidade de vagens e

divergencia genética en Feijoo-vegetal de crecimiento indeterminado. *Horticultura Brasileira* 20: 447-451.

ORGAZA, F.; FERNANDEZ, M.D.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M.; FERERES, E. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agricultural Water Management* 72 (2005) 81–96.

RAINEY K., M.; GRIFFITHS P., D. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *J Am Soc Hort Sci* 130(1):18–23.

ROY, G.; LAFLAME, L.; TREMBLAY, N. 2000. Evolution des calibers et des rendements de cultivars de haricot destinés a la transformation. *Canadian Journal of Plant Science* 80: 869-873.

SAGARPA. 2012. Agricultura protegida 2012. 2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/.../Agricultura-Protegida2012 (Consultado en marzo de 2014).

SALINAS R., N. 2010. Cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento en función del manejo en ambientes contrastantes. Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 89 p.

SALINAS R., N; ESCALANTE E, .J.A.; RODRÍGUEZ G., M.T.; SOSA M., ELISEO. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana 31(003): 235-241.

SALINAS, R.; SÁNCHEZ, E.; RUÍZ, J.M.; LAO, M.T.; ROMERO, L. 2012. Producción de biomasa y rendimiento en judía verde (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Strike' en respuesta a la fertilización fosforada. Phytton 81(1): 35-39.

SÁNCHEZ DEL C., F.; ESCALANTE R., E.R. 1988. Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 188 p.

SÁNCHEZ DEL C., F.; ESCALANTE R., E.R.; ESPINOSA R., P. 1991. Experiencias sobre la producción de flores y hortalizas en México con sistemas hidropónicos. Revista Chapingo Serie Horticultura (73-74): 7-13.

SÁNCHEZ DEL C., F.; MUÑIZ CH., F. DE J. 2008. El huerto comercial hidropónico: una alternativa para pequeños y medianos productores de invernadero. Artículo *inextenso*. Segundo Simposio Internacional de Invernaderos. Toluca, Edo. de México. 25 p.

SÁNCHEZ, E; AVILA-QUEZADA, G.; GARDEA, A.A.; MUÑOZ, E.; RUIZ, J.M.; ROMERO, L. 2009. Metabolismo del nitrógeno en raíces y hojas de plantas de frijol ejotero expuestas a diferentes dosis de fósforo. Phytton 78: 11-16.

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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(3): 187-195.

SARANGI, S.K.; DE, L.C. 2010. Varietal evaluation of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at mid-hills of Arunachal Pradesh. *Indian Journal of Hill Farming* 23(2): 53-54.

SCHNEIDER, K.A.; KELLY, J.D. 2000. Greenhouse screening protocol for *Fusarium* root rot in bean. *Hortscience* 35(6): 1095-1098.

SCULLY, T.; WALLACE, H. 1990. Variation in and relationship of biomass, growth rate, harvest index, and phenology to yield of common bean. *Amer. Soc. for Hort. Sci.* 115: 218-225.

SIAP-SAGARPA. 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. (Consultado en marzo de 2014).

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

SUZUKI, H.H.; TSUKAGUCHI, T.; EGAWA, Y. 2001. Ultrastructural study on degeneration of tapetum in anther of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under heat stress. *Sexual Plant Reprod.* 13: 293-299.

TSUKAGUCHI, T.; FUKAMACHI, H.; OZAWA, K.; TAKEDA, H.; SUSUKI, K.; EGAWA, Y. 2005. Diurnal change in water balance of heat-tolerant snap bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivar and its association with growth under high temperature. Plant Production Science. 8(4): 375-382.

URRESTARAZU, G. M. 2002. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. Universidad Politécnica de Madrid. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 914 p.

VÁSQUEZ S., A. 2008. Evaluación de cinco especies olerícolas para huerto comercial hidropónico. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 130 p.

ZARAGOZA, G.; BUCHHOLZ, M.; BUENDIA, D., MECA, D., PEREZ-PARRA, J. 2008. Experiences in cultivation inside the watergy prototype of a closed greenhouse for semi-arid regions. Acta horticulturae 801(1): 773-780.

WASONGA, CH. J.; PASTOR-CORRALES, M. A.; PORCH, T. G.; GRIFFITHS, P. D. 2012. Multi-environment selection of small sieve snap beans reduces production constraints in East Africa and subtropical regions. Hortscience 47(8): 1000-1006.