

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

**CULTIVARES DE FRIJOL EJOTERO DE DIFERENTE
HÁBITO DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL MANEJO EN
AMBIENTES CONTRASTANTES**

NICOLÁS SALINAS RAMÍREZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis, titulada: **Cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento en función del manejo en ambientes contrastantes**, realizada por el alumno Nicolás Salinas Ramírez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

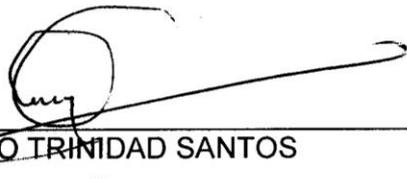
DOCTOR EN CIENCIAS
BOTÁNICA
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



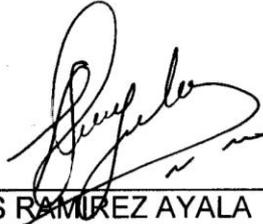
DR. JOSÉ ALBERTO S. ESCALANTE ESTRADA

ASESOR:



DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR:



DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA

ASESOR:



DR. GUILLERMO MONDRAGÓN PEDRERO

ASESOR:



DR. ELISEO SOSA MONTES

Montecillo, Texcoco, México, 27 de septiembre de 2010

**CULTIVARES DE FRIJOL EJOTERO DE DIFERENTE HÁBITO DE
CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL MANEJO EN AMBIENTES
CONTRASTANTES**

**Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010**

El presente estudio se dividió en dos etapas, la primera se realizó en verano del 2008, bajo condiciones de temporal y tuvo como objetivo seleccionar dentro de cultivares de diferente hábito de crecimiento, aquellos con mayor producción de biomasa, rendimiento y calidad nutrimental, en dos ambientes Montecillo (clima semiárido, CS) y San Pablo Ixayoc (clima templado, CT). Los resultados encontrados indican que en CS los cultivares de hábito de crecimiento indeterminado (CHCI) presentaron la mayor producción de biomasa, rendimiento y calidad nutrimental del ejote (235 g m^{-2} , 1.38 kg m^{-2} , proteína 22 %, FDA 31 %, grasa 1.9 % y fósforo 0.080 %, respectivamente) y los valores más bajos (86 g m^{-2} , 0.41 kg m^{-2} , proteína 19.5 %, FDA 21.4 %, grasa 1.7 % y fósforo 0.070 %) en CT. Estas diferencias se atribuyen a que los CHCI presentaron el ciclo más largo (127 días) en CS y acumularon mayor precipitación, unidades calor y evapotranspiración (432 mm, $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 178 mm), que los de crecimiento determinado en CT (383 mm, $572 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 156 mm, respectivamente), con 94 días de siembra a último corte. El segundo experimento, realizado en el verano del 2009, se evaluó la aplicación de fertilizante, biofertilizante y su combinación sobre el crecimiento, rendimiento y calidad nutrimental del frijol ejotero “Hav-14”, los resultados encontrados indican que la combinación de biofertilizante + 200 kg de N ha^{-1} , presentó los valores más altos en rendimiento, número de ejotes y porcentaje de proteína (2131 g m^{-2} , 486 ejotes m^2 y 22 %) y los más bajos (983 g m^{-2} , 278 ejotes m^2 y 20.5 %, respectivamente) con el testigo, sin biofertilizante ni aplicación de N.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento, calidad nutrimental, fertilizantes

SNAP BEAN CULTIVARS OF DIFFERENT GROWTH HABIT AS A FUNCTION OF MANAGEMENT IN CONTRASTING ENVIRONMENTS

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

This study was divided into two stages: the first was held in the summer of 2008 under rainfed conditions and had as its objective within cultivars of different growth habits, those with greater biomass production, yield and nutritional quality in two environments Montecillo (semiarid climate, CS) and Pablo Ixayoc (temperate, CT). The results show that CS cultivars of indeterminate growth habit (IGH) showed the highest biomass production, yield, and nutritional quality of snap bean (235 g m^{-2} , 1.38 kg m^{-2} , protein 22 %, 31 % ADF, 1.9 % fat and phosphorus 0.080 %) and the lowest (86 g m^{-2} , 0.41 kg m^{-2} , protein 19.5 %, ADF 21.4 %, fat 1.7 % and phosphorus 0.070 %, respectively) on CT. These differences are attributed in part to the IGH, that had the longest cycle (127 days) in CS and accumulated more precipitation, heat units and evapotranspiration (432 mm, $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 178 mm), than the determined growth in CT (383 mm, $572 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 156 mm, respectively), with 94 days from sowing to harvest. The second experiment, conducted in the summer of 2009, the application of fertilizer, biofertilizer and their combination on growth, yield and nutritional quality of snap beans "Hav-14" was evaluated, these results indicate that the combination of biofertilizer + 200 kg N ha^{-1} , exhibited the highest values of yield, number of snap beans and percentage of protein (2131 g m^{-2} , 486 m^2 and 22 %) and lowest (983 g m^{-2} , 278 m^2 and 20.5 %, respectively) with the control.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L. yield, nutritional quality, fertilizers

DEDICATORIAS

A mis Padres **Leoncio Salinas Cruz** y **Rosa María Ramírez León** por apoyarme incondicional en todas y cada una de mis decisiones tomadas

A mis Hermanas **Vicenta, Gladis** y **Angélica** por sus consejos e impulso constante para alcanzar mis metas

A mis sobrinos **Magali, Jeremín** y **Emmanuel** por su cariño sincero e incondicional

A **Marí Isabel A. Y.** por estar conmigo en cada uno los momentos más importantes de mi vida

A **Pañe, Riquis** y **Moni** por brindarme su apoyo en todo momento

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por apoyarme a enfrentar un reto mas en mi vida.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la ayuda económica proporcionada para la realización de mis estudios de Doctorado.

Al **Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT)** por la ayuda económica para la culminación de esta tesis.

Al **Colegio de Postgraduados** por forjar mi formación académica.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** por las facilidades para realizar los análisis correspondientes.

Al **Dr. J. Alberto Escalante Estrada**, por su sabios consejos y su apoyo incondicional en mi formación académica, así como en la dirección y revisión de ésta tesis.

A la **M.C. María Teresa Rodríguez González** por su constante motivación para concluir esta tesis.

Al **Dr. Eliseo Sosa Montes** por sus asesorías y apoyo en el área de laboratorio.

Al **Dr. Guillermo Mondragón Pedrero** por las observaciones a esta tesis.

Al **Dr. Antonio Trinidad Santos** por sus acertadas correcciones en esta tesis.

Al **Dr. Carlos Ramírez Ayala** por sus valiosas correcciones para mejorar esta tesis.

A mis compañeros **Juan Carlos, Patricio, Rafael y Cid** por su amistad.

A **Sr. Manuel, Fidel, Héctor, Sra. Rafa, Sra. Leticia y M.C Isabel M. de la C.** que de alguna manera contribuyeron para la realización de ésta tesis.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	3
CAPÍTULO I. Rendimiento, calidad nutrimental y hábito de crecimiento del frijol ejotero en dos ambientes.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
Relación de la fenología con la precipitación y temperatura.....	14
Rendimiento, acumulación de Unidades Calor (UC, °C), evapotranspiración del cultivo (ETc, mm) y precipitación (pp, mm)	16
Calidad nutrimental de cultivares de frijol ejotero.....	18
CONCLUSIONES.....	21
LITERATURA CITADA.....	22

CAPÍTULO II. Crecimiento, rendimiento, calidad nutrimental y rentabilidad del frijol ejotero en clima templado.....	25
RESUMEN.....	26
ABSTRACT.....	27
INTRODUCCIÓN.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
Fenología del frijol ejotero y su relación con la temperatura y la precipitación.....	32
Rendimiento de ejote en función de la acumulación de UC, ETc y Pp.....	33
Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento.....	34
Calidad nutrimental.....	35
Análisis económico.....	37
CONCLUSIONES.....	38
LITERATURA CITADA.....	39
CAPÍTULO III. Fenología, análisis de crecimiento, biomasa y calidad de rendimiento del frijol ejotero (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	41
RESUMEN.....	42
ABSTRACT.....	44
INTRODUCCIÓN.....	45
MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
Fenología del frijol ejotero.....	49
Índices de análisis de crecimiento.....	50
Biomasa y su distribución.....	54

Índice de cosecha.....	55
Dinámica del rendimiento de ejote.....	56
Calidad nutrimental.....	57
CONCLUSIONES.....	60
LITERATURA CITADA.....	61
CAPÍTULO IV. Fenología, rendimiento, calidad nutrimental del frijol ejotero y biofertilizante.....	64
RESUMEN.....	65
ABSTRACT.....	67
INTRODUCCIÓN.....	69
MATERIALES Y MÉTODOS.....	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
Relación de la fenología con la temperatura y la precipitación.....	73
Rendimiento, número y longitud del ejote.....	74
Producción de biomasa.....	76
Interacción del biofertilizante + N sobre la producción de biomasa.....	77
Índice de cosecha (IC).....	79
Calidad nutrimental del frijol ejotero.....	80
CONCLUSIONES.....	84
LITERATURA CITADA.....	85
CONCLUSIONES GENERALES.....	89

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

Página

Cuadro 1	Rendimiento de frijol ejotero (kg m^{-2}), número de ejotes por m^2 , e índices ambientales en función del cultivar. Montecillo y San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008.....	17
Cuadro 2	Análisis químico (%), del ejote en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo (clima semiárido) y San Pablo Ixayoc (clima templado), Estado de México. 2008.....	20

CAPÍTULO II

Cuadro 1	Rendimiento de frijol ejotero (kg m^{-2}), número de ejotes por m^2 , variables e índices ambientales en función del cultivar. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008 (datos promedio de cuatro repeticiones).....	34
Cuadro 2	Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en función del cultivar de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008 (datos promedio de cuatro repeticiones).....	35
Cuadro 3	Análisis químico de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México. 2008. % en base seca.....	36
Cuadro 4	Rendimiento, ingreso bruto, costos fijos, variables y totales e ingreso neto para cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008.....	37

CAPÍTULO III

Cuadro 1	Biomasa y su distribución en la estructura de la planta (g m^{-2}) en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo, Méx. Verano 2008.....	55
Cuadro 2	Dinámica de rendimiento de ejote por corte y rendimiento total (kg m^{-2}) en función del cultivar. Montecillo, Méx. Verano 2008 (datos promedio de cuatro repeticiones).....	57
Cuadro 3	Análisis químico de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 2008.....	59

CAPÍTULO IV

Cuadro 1	Rendimiento del frijol ejotero (kg m^{-2}), número de ejotes por m^2 y longitud del ejote (cm) e índices ambientales en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.....	74
Cuadro 2	Producción de biomasa (g m^{-2}), su distribución e Índice de cosecha (IC) del frijol ejotero “Hav-14” en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.....	77
Cuadro 3	Análisis químico del cultivar “Hav-14” en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.....	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Página

- Figura 1 Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Clima semiárido (Montecillo, a) y clima templado (San Pablo Ixayoc, b) Méx. Verano 2008..... 15
- Figura 2 Rendimiento y número de ejotes del frijol ejotero en función de la interacción genotipo*ambiente..... 18

CAPÍTULO II

- Figura 1 Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2008..... 33

CAPÍTULO III

- Figura 1 Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de las temperaturas máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Verano 2008..... 50
- Figura 2 Tasa media de crecimiento absoluto (\overline{TCA}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008..... 51
- Figura 3 Tasa media de crecimiento relativo (\overline{TCR}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México.

	Verano 2008.....	53
Figura 4	Tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008.....	54
Figura 5	Índice de cosecha, en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008. Datos a los 90 DDS.....	56

CAPÍTULO IV

Figura 1	Fenología del frijol ejotero (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) cultivar “Hav-14”, media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.....	73
Figura 2	Rendimiento de ejote (g m^{-2}) en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.....	75
Figura 3	Número de ejotes m^{-2} en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.....	76
Figura 4	Producción de biomasa (g m^{-2}) en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.....	78
Figura 5	Producción de biomasa del frijol ejotero en función de la interacción genotipo * ambiente.....	79
Figura 6	Índice de cosecha (IC) del frijol ejotero “Hav-14” en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx.	

Verano 2009.....	80
------------------	----

INTRODUCCIÓN GENERAL

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) por sus características nutraceuticas y nutrimentales, es considerado una hortaliza de importancia mundial, ya que aporta proteínas, carbohidratos, fibras (Salinas *et al.*, 2008), calcio (Quintana *et al.*, 1999) y vitaminas (Guzmán *et al.*, 2002). En México su consumo *per capita* pasó de 0.9 a 1.1 kg (SAGARPA, 2009), y se espera que en los próximos años siga incrementándose; sin embargo, los cultivares que actualmente se siembran no podrán satisfacer la demanda, debido a que no están bien adaptados a las condiciones ambientales de la región, además donde se siembra este cultivo los suelos muestran escasa fertilidad. Esto señala la necesidad de implementar prácticas agronómicas tales como: fechas de siembra, arreglos topológicos, uso de cultivares de diferente hábito de crecimiento y fertilización, que contribuyan a aumentar la biomasa, el rendimiento y la calidad del frijol ejotero en condiciones de clima templado y semiárido. Esquivel *et al.* (2006), bajo condiciones de clima templado y con riego, encontraron que el frijol ejotero de crecimiento indeterminado presenta en promedio mayor rendimiento (25.6 t ha⁻¹), en relación con los de crecimiento determinado (22.2 t ha⁻¹). Por su parte, Peixoto *et al.* (2002) bajo condiciones de riego en clima templado señalan que “Hav-14” requiere 42 días, de siembra a antesis, para un rendimiento de 21.7 t ha⁻¹; Salinas *et al.* (2008) observaron que en clima semiárido y en condiciones de temporal, la antesis de “Hav-14” ocurrió a los 60 días con un rendimiento de 11.7 t ha⁻¹. Con relación a la calidad nutrimental, Esquivel *et al.* (2006) evaluaron el porcentaje de fibra cruda en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento, bajo condiciones de clima templado, y no encontraron diferencias estadísticas en esta variable. Por otra parte, Singh *et al.* (2003) mencionan que un bajo contenido de nitrógeno (N) en el suelo (45 kg ha⁻¹), afecta la velocidad de crecimiento y ocasiona clorosis en hojas de frijol. Phillips *et al.* (2002) encontraron que con la aplicación de 67 kg de N ha⁻¹, se obtiene el mayor rendimiento de

ejote fresco (6.3 t ha^{-1}), mientras que el testigo (sin aplicación de N) sólo presenta 3.8 t ha^{-1} . Castellanos *et al.* (1998) encontraron que con $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$, se incrementó la biomasa total del frijol en 630 kg ha^{-1} y en 4 kg el contenido de N ha^{-1} en la paja con respecto a un testigo sin aplicación. Como se observa, el frijol responde positivamente a altas aplicaciones de N, sin embargo, estas altas dosis de nitrógeno pueden ocasionar problemas de contaminación ambiental. Una alternativa para evitar problemas de contaminación es el uso de biofertilizante. Singer *et al.* (2000) encontraron que con la aplicación de *Rhizobium* + 90 kg de N , el frijol ejotero presentó mayor altura de planta, número de hojas, número de ramas, peso fresco y peso seco de la biomasa. Por lo tanto, el objetivo general de la presente investigación fue seleccionar cultivares y dosis adecuadas de fertilizante y biofertilizante que incrementen el crecimiento, rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero.

La información de la presente investigación se presenta en cuatro capítulos. En el capítulo I se analiza el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero en función del hábito de crecimiento en dos ambientes. En el capítulo II se compara el crecimiento, rendimiento, calidad nutrimental y rendimiento de cultivares frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento en clima templado. El capítulo III muestra la fenología, el análisis de crecimiento, la biomasa y calidad de rendimiento del frijol ejotero y finalmente en el capítulo IV se analiza la fenología, el rendimiento, la calidad nutrimental del frijol ejotero en función del fertilizante.

LITERATURA CITADA

Castellanos J Z, J J Peña, V Badillo, S A Aguilar, G J Acosta, G A J Rodríguez (1998)

Características agronómicas del frijol asociadas a la capacidad de fijación de N₂ en el centro de México. Terra. 16(4): 351-357.

Esquivel E G, A A J Gallegos, R R Serna, P P Herrera, H M J Casillas, N R Maya, M S

J Martínez (2006) Productividad y adaptación de frijol ejotero en el valle de México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 12:109-116.

Guzmán M S H, A A J Gallegos, M M A Álvarez, D S García y P G Loarca (2002)

Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) Agricultura Técnica en México. 28(2):159-173.

Peixoto N, L T Braz, D A Banzatto, E A Moraes, F M Moreira (2002) Características

agronómicas, productividad, qualidade de vagens e divergencia genetica em Feijoo-vegem de crecimiento indeterminado. Horticultura Brasileira. 20:447-451.

Phillips S B, G L Mullins, S J Donohue (2002) Changes in snap bean yield, nutrient

composition, and soil chemical characteristic when using broiler litter as fertilizer source. Journal of Plant Nutrition. 25(8): 1607-1620.

Quintana J M, H C Harrison, J P Palta, J Nienhuis, K Kmiecik (1999) Calcium

fertilizers fail to affect pod calcium concentration and yield of four snap bean cultivars. Hort Science. 34(4): 646-647.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y

Alimentación) (2009) Producción de hortalizas. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.com.mx> (verificado el 15 de diciembre de 2009).

Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008) Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 235-241.

Singer S M, A H Ali, M M El-Desuki (2000) Synergistic effect of bio and chemical fertilizers to improve quality and yield of snap bean grown in sandy soil. Acta Horticulturae. 19(2): 213-220.

Singh S P, Terán H, Muñoz C G, Osorio J M, Takegami J C, Thung M D T (2003) Low soil fertility tolerance in landraces and improved common bean genotypes. Crop Science. 43: 110-119.

CAPÍTULO I

RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRIMENTAL Y HÁBITO DE CRECIMIENTO DEL FRIJOL EJOTERO EN DOS AMBIENTES

CAPÍTULO I

RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRIMENTAL Y HÁBITO DE CRECIMIENTO DEL FRIJOL EJOTERO EN DOS AMBIENTES

**Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010**

RESUMEN

Por su calidad nutrimental el frijol ejotero es un cultivo de importancia mundial. Tanto el rendimiento como la calidad nutrimental de la vaina podrían estar relacionado con el cultivar utilizado y de las condiciones ambientales de desarrollo; dilucidar la naturaleza de esta interacción en el frijol ejotero fue el objetivo del presente estudio. La siembra de cultivares de hábito de crecimiento determinado “Strike” y “Black Valentine”, y de crecimiento indeterminado “Hav-14” se realizó en clima semiárido y templado (Montecillo y San Pablo Ixayoc, Estado de México, respectivamente) el 7 de mayo de 2008, bajo condiciones de temporal. El diseño experimental fue de bloques al azar, en cada ambiente. Se registró la fenología, y se evaluó el rendimiento en ejote (peso fresco, g m^{-2}), número de ejotes m^{-2} y la calidad nutricional. Con respecto al ambiente de desarrollo se monitorearon, las temperaturas máxima y mínima, la precipitación y se calcularon la evapotranspiración (ETc) y las unidades calor (UC). El tiempo de ocurrencia de las etapas fenológicas del frijol fue diferente entre cultivares y ambientes. En clima semiárido, “Strike” presentó el ciclo más corto (78 días de siembra a último corte) y “Hav-14” el más largo (102 días). En clima templado, “Strike” alargó su ciclo 12 días más y “Hav-14” 17 días. En clima semiárido el mayor rendimiento y número de ejotes más alto (1.37 kg m^{-2} y 307 ejotes) correspondieron a “Hav-14” con 782 UC, 175 mm de ETc y 275 mm de precipitación y los menores en “Strike” (0.195 kg m^{-2} y 57 ejotes, respectivamente) en clima templado (567 UC, 151 mm de ETc y 379 mm de precipitación). La calidad nutrimental presentó diferencias, ya que

“Hav-14” en clima semiárido mostró contenidos más altos en proteína (22.3 %), minerales (8.8 %) y fibra (FDA 24.3 % y FDN 31.5 %). En contraste, en clima templado dicho cultivar presentó una tendencia opuesta, ya que mostró los valores más bajos en proteína (18 %), minerales (6.1 %), FDA (17.4 %) y FDN (24.4 %) estos porcentajes son en base seca. La interacción genotipo ambiente indica que el rendimiento, número de ejotes y calidad nutricional de los cultivares variaron en función del ambiente de desarrollo.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., cultivares, evapotranspiración, fenología, unidades calor.

YIELD, NUTRITIONAL QUALITY AND GROWTH HABIT OF SNAP BEAN IN TWO ENVIRONMENTS

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

ABSTRACT

According to its nutritional quality, snap bean is a crop of global importance. Yield and nutritional quality of the pods may depend on the cultivar and the developing environmental conditions; elucidate the nature of this interaction of snap bean cultivars was the aim of this research. The study of determined growth habit cultivars "Strike" and "Black Valentine" and the indeterminate climbing growth habit "Hav-14" took place in semiarid and temperate climate (Montecillo and San Pablo, Ixayoc State of Mexico, respectively), on May 7, 2008, under rainfall conditions. The experimental design was randomized blocks in each environment. Phenology, yield of snap bean (fresh weight, g m^{-2}), number of pods m^{-2} and nutritional quality were evaluated. With respect to the environment of development maximum and minimum temperatures, precipitation and evapotranspiration (ETc), as well as heat units (UC) were monitored. The occurrence time of phenological stages of bean plants was different between cultivars and between environments. In semiarid climate, "Strike" presented the shortest cycle (78 days from sowing to last cut) and "Hav-14" the longest (102 days). In temperate climate, "Strike" extended its cycle 12 and "Hav-14" 17 days. In semiarid climate the highest yield and number of pods (1.37 kg m^{-2} and 307) corresponded to "Hav-14" with 782 UC, 175 mm of ETc and 275 mm of precipitation, and the lowest to "Strike" (0.195 kg m^{-2} and 57 pods) in temperate climate (567 UC, 151 ETc and 379 mm of precipitation). The nutritional quality showed differences, since "Hav-14" in semiarid climate showed the highest protein content (22.3 %), ashes (8.8 %), ADF (24.3 %) and NDF (31.5 %). In contrast, in temperate climate cultivars have the opposite trend, which showed

the lowest values of protein (18 %), ashes (6.1 %) and fiber (ADF 17.4 % and NDF 24.4 %) these values as dry basis. The genotype environment interaction indicated that yield, number of pods and nutritional quality of cultivars varied according to the environment of development.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L, cultivars, evapotranspiration, phenology, heat units.

INTRODUCCIÓN

En México existe cultura y tradición para el consumo de frijol en grano, pero no así para el ejote (vaina fresca de frijol), que tiene un alto valor nutrimental, ya que aporta proteínas, carbohidratos, fibras (Salinas *et al.*, 2008), calcio (Quintana *et al.*, 1999) y vitaminas (Guzmán *et al.*, 2002). A nivel mundial la producción de frijol ejotero es de 10.6 t ha⁻¹ (Yvestirilly, 2002), en México ésta es de 10 t ha⁻¹ bajo condiciones de riego; sin embargo para el Estado de México se reportan 3.7 t ha⁻¹, siendo Texcoco, el municipio con mayor superficie sembrada (40 hectáreas) con este cultivo (SAGARPA, 2009). Este rendimiento, no satisface la demanda interna de ejote (0.9 a 1.1 kg *per cápita*), por lo que se debe importar de otros estados productores (Morelos, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala) y cubrir así su demanda. El bajo rendimiento de ejote, puede deberse a la falta de un manejo apropiado de los cultivares usados y a la falta de adaptación al ambiente de desarrollo. Por lo que se deben diseñar estrategias, como prácticas agronómicas, que conduzcan al incremento del rendimiento y calidad nutricional. Dentro de éstas se podrían implementar: arreglos topológicos, fertilización, fechas de siembra y siembra de nuevos cultivares de frijol ejotero. Esquivel *et al.* (2006), bajo condiciones de clima templado y con riego, encontraron que el frijol ejotero de crecimiento indeterminado presenta en promedio mayor rendimiento (25.6 t ha⁻¹), en relación con los de crecimiento determinado (22.2 t ha⁻¹). Peixoto *et al.* (2002) bajo condiciones de riego en clima templado señalan que “Hav-14” requiere 42 días, de siembra a antesis, para un rendimiento de 21.7 t ha⁻¹; Salinas *et al.* (2008) observan que en clima semiárido y en condiciones de temporal, la antesis de “Hav-14” ocurrió a los 60 días con un rendimiento de 11.7 t ha⁻¹. Por otra parte, al ejote se le atribuyen propiedades nutraceuticas, ya que es un alimento dietético por presentar bajo contenido calórico 32 kcal por cada 100 g de ejote fresco (Adsule *et al.*, 2004) y puede ayudar a reducir el sobrepeso y la obesidad, además, por su alto contenido de fibra (25 %), reduce el tiempo de tránsito intestinal, la tasa

de glucosa sanguínea postprandial y la absorción de grasa y colesterol. También está relacionado con la prevención del cáncer de colon (Yvestirilly, 2002). La calidad nutricional del ejote, varía en función del cultivar utilizado. Zhiwei *et al.* (1995) encontraron que la fibra y la proteína cruda de 51 cultivares de frijol ejotero fueron en promedio de 11.6 g y 28 g por cada 100 g de peso seco, respectivamente. Esquivel *et al.* (2006) señalan que el contenido de fibra y de proteína cruda para cultivares de crecimiento indeterminado, fueron de 16.2 g y 30 g por 100 g de peso seco. La acumulación de calcio en la vaina está más relacionada con el cultivar que con la disponibilidad de este nutrimento en el suelo (Miglioranza *et al.*, 2003; Pomper y Grusac, 2004; Favoro *et al.*, 2007). Por otra parte, la fenología, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero podrían estar determinados por el ambiente de desarrollo (Traka *et al.*, 2000; Mawgoud *et al.*, 2005). Los cultivares de frijol ejotero “Strike”, “Black Valentine” y “Hav-14” utilizados en este estudio, se han evaluado bajo condiciones de riego, en ambientes de Morelos (clima cálido subhúmedo), Hidalgo (clima seco), Puebla y Tlaxcala (clima templado subhúmedo) y han mostrado un rendimiento promedio de 8.5 t ha⁻¹, que es superior a la media reportada para el Estado de México (3.7 t ha⁻¹). Sin embargo, la información sobre la producción de ejote bajo condiciones de régimen de lluvia estacional para el ambiente de Montecillo (clima semiárido) y San Pablo Ixayoc (clima templado), Estado de México, es limitada. El objetivo de este estudio fue: determinar la influencia del ambiente sobre el crecimiento, rendimiento y calidad nutrimental de cultivares de frijol ejotero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos ambientes de importancia agrícola de la región: 1) Montecillo, municipio de Texcoco México (19° 29' N, 98° 53' O, a 2250 m de altitud), con clima BS1, que indica el menos seco de los áridos con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y 558.5 mm de precipitación (clima semiárido), en un suelo franco arenoso y pH de 7.0; 2) San Pablo Ixayoc (19° 33' N, 98°47' O, a 2600 m de altitud), con clima C (W0) (w), templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.7 °C y 609 mm de precipitación, clima templado (García, 2005) en un suelo migajón arenoso y pH 6.3. Posteriormente, ambos ambientes serán referidos como semiárido y templado, respectivamente. Los cultivares “Strike” y “Black Valentine” de hábito de crecimiento determinado, y “Hav-14” de crecimiento indeterminado, se sembraron en cada ambiente el 7 de mayo de 2008, en surcos de 80 cm a una densidad de 6.25 plantas m⁻², bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, registrándose en cada ambiente la precipitación (mm) y temperaturas máxima y mínima (°C) y promedio semanal durante el ciclo del cultivo. Además, se calcularon las unidades calor (UC) (Snyder, 1985) y la evapotranspiración del cultivo (ETc, mm) (Doorenbos y Pruitt, 1986). Para cada cultivar de frijol ejotero se registró la fenología: etapas vegetativas (V-1 = Emergencia, V-2 = Primer par de hojas primarias, V-3 = Primer par de hojas trifolioladas y V-4 = Tercer par de hojas trifolioladas) y etapas reproductivas (R-5 = Prefloración, R-6 = Floración y F-7 = Formación de vainas) siguiendo los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993); los cortes de ejote se realizaron con intervalos de tres días, con un total de siete por cultivar y el criterio fue que las vainas presentaran una longitud mayor a 10 cm, registrándose el peso fresco (kg m⁻²) y número de ejotes m⁻². La calidad nutrimental (% de cenizas, % de calcio, % de fósforo, % de carbohidratos solubles, % de fibra detergente ácido (FDA), % lignina, % de fibra detergente neutro (FDN), % de hemicelulosa, % de proteína, % de grasa) se

determinó mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979), y la humedad de las muestras colocando los ejotes en una estufa de aire forzado (Modelo 28, THELCO) a 55 °C, hasta obtener un peso constante. Una vez secas las muestras, se procedió a molerlas en un molino eléctrico (Modelo Kb 5/10 JANKE AND KUNKEL INKA, GERMANY), con criba de 1 mm. A las variables en estudio se les realizó un análisis de varianza combinado (ambientes por cultivares). A los tratamientos con diferencias significativas se les aplicó una prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05 de error).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de la fenología con la precipitación y la temperatura

Los cultivares en estudio mostraron diferencias en el tiempo de ocurrencia de sus etapas fenológicas; los de crecimiento determinado presentaron en promedio 89 días de siembra a último corte y los de crecimiento indeterminado 110 días en promedio. En clima semiárido, “Strike” mostró el periodo más corto, de siembra a último corte (78 días) y “Hav-14” el más largo (102 días, Figura 1-a). Por otra parte, “Strike” y “Hav-14” en clima templado, mostraron un ciclo reproductivo 12 y 17 días mayor que en clima semiárido (Figura 1-b). Estas diferencias pueden explicarse por una mejor distribución de la precipitación (33 % en la fase vegetativa y 67 % en la reproductiva) en clima semiárido. En contraste, en clima templado la mayor precipitación ocurrió en la fase vegetativa (54 %) y la menor en la reproductiva (46 %). Con respecto a la temperatura, la máxima promedio más alta (25 °C) se registró en clima semiárido y la más baja (22 °C) en clima templado, lo que pudo contribuir a alargar el ciclo de los cultivares “Strike” y “Hav-14” en dicho clima. Estos resultados sugieren, que la disponibilidad de humedad, de temperatura y su interacción influyen sobre la fenología del frijol ejotero. Tendencias similares con relación al efecto de la temperatura sobre la fenología del frijol para grano fueron reportados por Rosales *et al.* (2001), quienes encontraron que la reducción en la temperatura máxima durante el ciclo del cultivo retrasó la fenología del mismo.

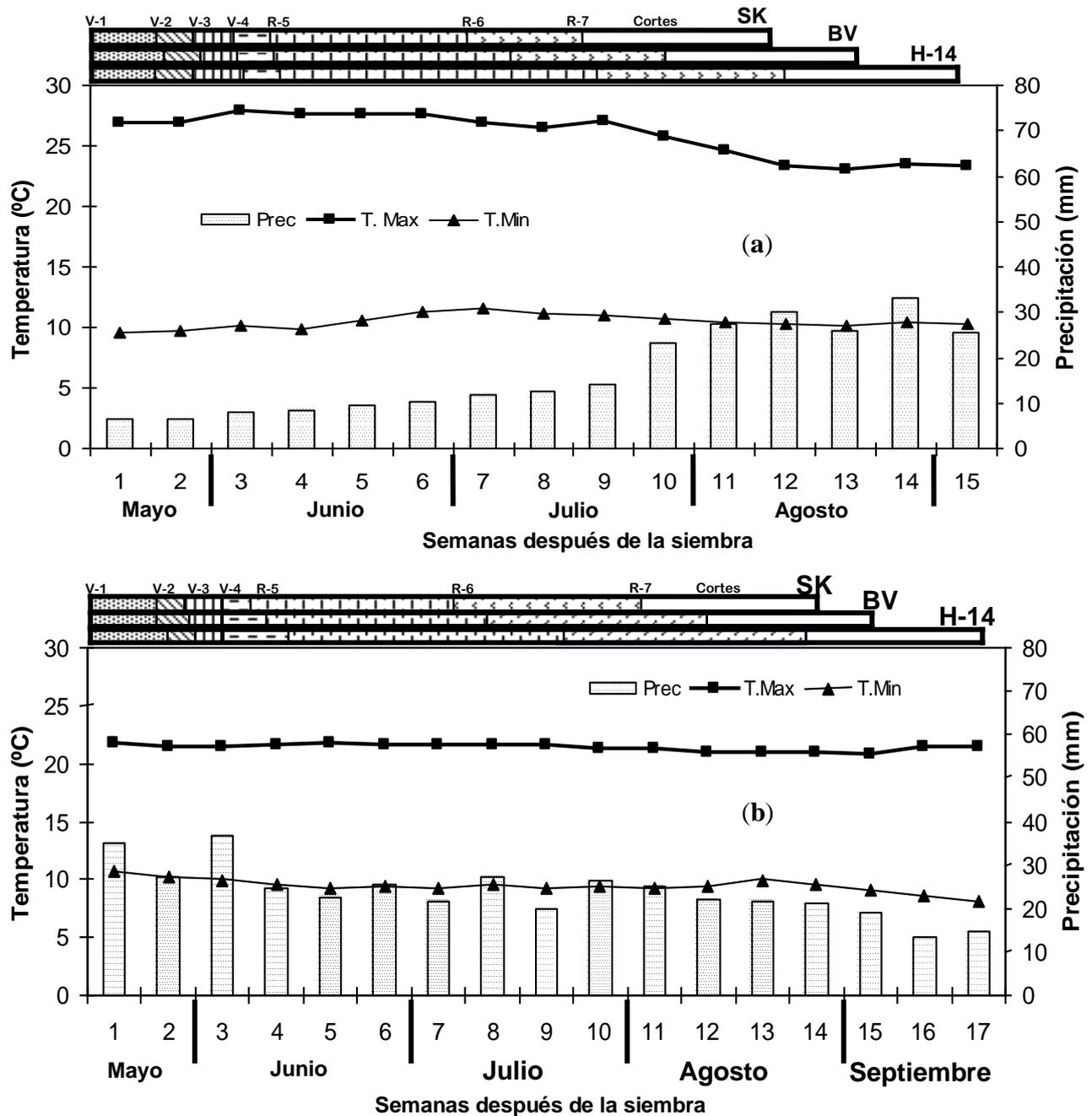


Figura 1. Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Clima semiárido (Montecillo, a) y clima templado (San Pablo Ixayoc, b) Méx. Verano 2008.

Etapas fenológicas del frijol ejotero: V-1 = Emergencia; V-2 = Hojas primarias; V-3 = Primera hoja trifoliolada; V-4 = Tercera hoja trifoliolada; R-5 = Prefloración; R-6 = Floración; R-7 = Formación de vaina. Cultivares SK = “Strike”; BV = “Black Valentine” y H-14 = “Hav-14”; Prec = Precipitación; T.Max = Temperatura máxima; T.Min = Temperatura mínima.

Rendimiento, acumulación de Unidades Calor (UC, °C), evapotranspiración del cultivo (ETc, mm) y precipitación (pp, mm)

En este estudio, el rendimiento de ejote promedio (0.671 kg m^{-2}), fue superior al promedio reportado para el Estado de México (0.37 kg m^{-2}). En clima semiárido, el cultivar “Hav-14” presentó el rendimiento y número de ejotes más alto (1.378 kg m^{-2} y $307 \text{ ejotes m}^{-2}$), seguido de “Black Valentine” (0.880 kg m^{-2} y $218 \text{ ejotes m}^{-2}$) y “Strike” (0.483 kg m^{-2} y $132 \text{ ejotes m}^{-2}$). Tendencias similares se encontraron en clima templado, ya que “Hav-14” presentó 0.573 kg m^{-2} y $146 \text{ ejotes m}^{-2}$, “Black Valentine” 0.517 kg m^{-2} y $112 \text{ ejotes m}^{-2}$ y “Strike” 0.195 kg m^{-2} y 57 ejotes m^{-2} (Cuadro 1). La diferencia en rendimiento entre cultivares probablemente se relaciona con diferencias en la longitud del ciclo de desarrollo entre hábitos de crecimiento, puesto que los de hábito indeterminado tienen mayor oportunidad de ocupar el espacio y los insumos para su crecimiento y rendimiento, por ejemplo, “Hav-14” de hábito de crecimiento indeterminado mostró un ciclo más largo y acumuló más UC, ETc y pp (716 °C , 176.9 mm y 345 mm , respectivamente) en contraste con “Strike” de ciclo corto que acumuló 614 °C , 145.3 mm y 293 mm de UC, ETc y pp, respectivamente. Siguiendo esta tendencia, se esperaría que “Hav-14” en clima templado presentara el rendimiento más alto con 415 mm pp en todo su ciclo, comparado con el encontrado en el clima semiárido con 275 mm de pp. Sin embargo, las diferencias en humedad disponible en la etapa reproductiva entre ambientes ocasionaron que en clima semiárido “Hav-14” contara con mayor disponibilidad de agua (116 mm de pp) del primero al séptimo corte, en contraste, con el clima templado fue sólo contó con 69 mm de pp, lo que explica las diferencias en rendimiento. Tendencias similares fueron observadas por Cselotei y Varga (1987). Por otra parte, en clima semiárido se observaron los valores más altos en rendimiento y número de ejotes, con 0.914 kg m^{-2} y $219 \text{ ejotes m}^{-2}$, y los más bajos en clima templado, con 0.429 kg m^{-2} y $105 \text{ ejotes m}^{-2}$, respectivamente. Esto confirma que la

distribución de la precipitación es factor determinante para el rendimiento del frijol ejotero. Así mismo, se observaron diferencias en el rendimiento y número de ejotes promedio por cultivar. El cultivar “Hav-14” presentó los valores más altos con 0.975 kg m⁻² y 227 ejotes m⁻² y “Strike” los más bajos con 0.339 kg m⁻² y 95 ejotes m⁻², respectivamente. En cuanto a la interacción genotipo ambiente, se observó que el clima semiárido favoreció el rendimiento y número de ejotes del cultivar “Hav-14”, por el contrario en el clima templado se observaron los valores más bajos con “Strike” (figura 2).

Cuadro 1. Rendimiento de frijol ejotero (kg m⁻²), número de ejotes por m², e índices ambientales en función del cultivar. Montecillo y San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008.

Ambiente	Cultivares	Rendimiento (kg m ⁻²)	No. ejotes (m ⁻²)	UC (°C)	ETc (mm)	Precipitación (mm)
Montecillo (Semiárido)	Strike	0.483 c	132.3 c	661	139.6	207.1
	Black Valentine	0.880 b	217.7 b	690	158.7	235.5
	Hav-14	1.378 a	307.2 a	782	175.8	275.0
San Pablo (Templado)	Strike	0.195 c	57.3 d	567	151	379
	Black Valentine	0.517 bc	111.9 cd	572	161	388
	Hav-14	0.573 bc	146.3 bc	650	178	415
Prom. Montecillo (Semiárido)		0.914 a	219.1 a	711	158	239
Prom. San Pablo (Templado)		0.429 b	105.1 b	596	163	394
Prom.	Strike	0.339 c	94.8 c	614	145.3	293
“	” Black Valentine	0.698 b	164.8 b	631	160	312
“	” Hav-14	0.975 a	226.8 a	716	177	345
Promedio general		0.671	162.11	653.6	160.6	316.6
	Ambientes (A)	** (2.32)	** (4.48)	DSA	DSA	DSA
Prob	Cultivares (C)	** (6.17)	** (14.25)	DSA	DSA	DSA
F	Interacción (A*C)	** (2.52)	** (16.14)	DSA	DSA	DSA
	CV %	25	19.88	DSA	DSA	DSA

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$). UC = Unidades Calor; ETc = Evapotranspiración; DSA = Datos sin analizar; () = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

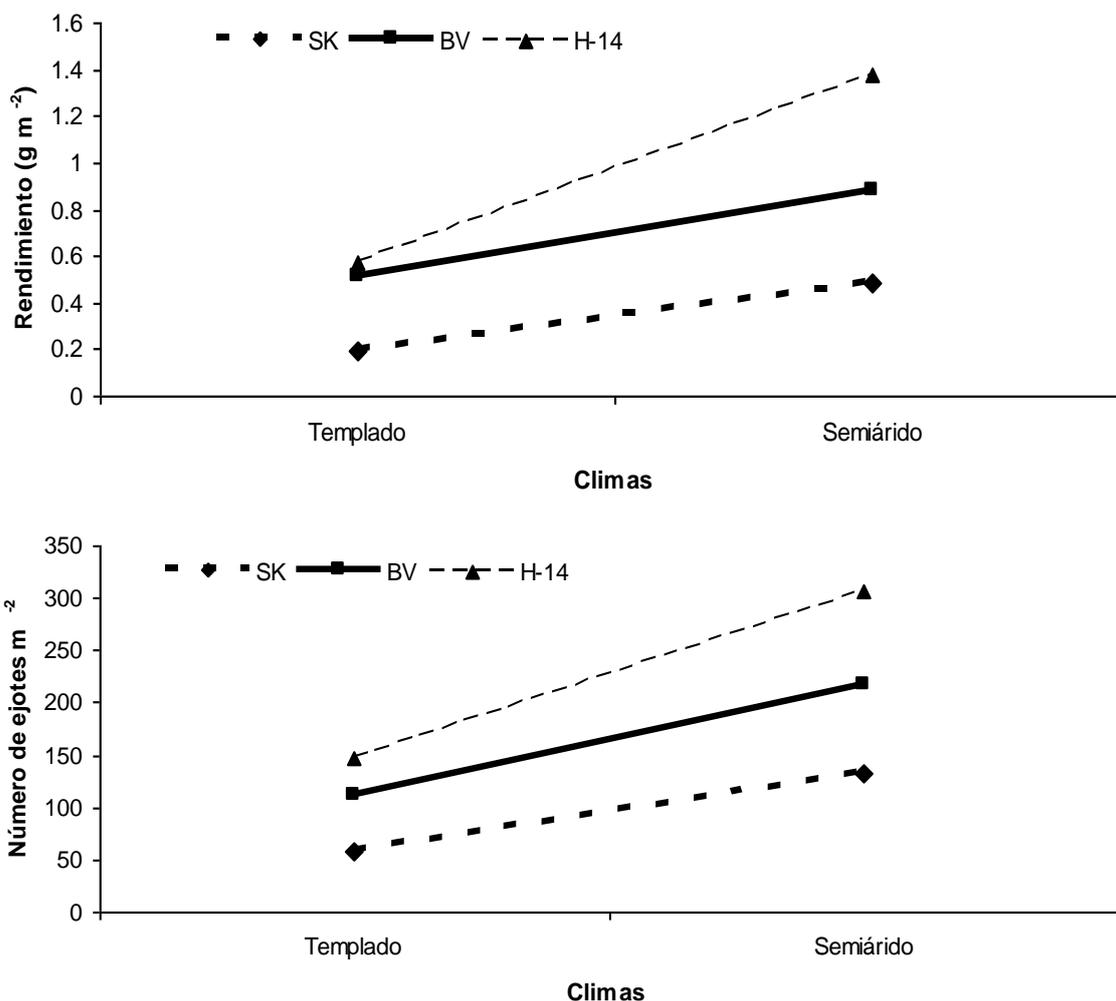


Figura 2. Rendimiento y número de ejotes del frijol ejotero en función de la interacción genotipo * ambiente.

Calidad nutricional de cultivares de frijol ejotero

En el cuadro 2 se observa que en promedio por cada 100 g de materia seca, el frijol ejotero aporta: carbohidratos solubles 44 %, FDN 27.1 %, FDA 20.6 %, proteínas 19.7 %, minerales 7.8 %, calcio 2.9 %, grasa 1.7 % y fósforo 0.5 %. Lo que indica que el ejote es un alimento con bajo contenido calórico (32 kcal por 100 g de materia seca) y alta calidad proteica, que lo hace una alternativa para incrementar su consumo y contribuir a reducir los problemas de sobre peso y obesidad que actualmente afectan a más de la mitad de la población en México (Secretaría de Salud, 2010). Por otra parte, el contenido nutricional de los cultivares, mostró cambios significativos por efecto del ambiente. Los valores más altos

de proteína, minerales, lignina y FDN, se encontraron en clima semiárido. El porcentaje de grasa, hemicelulosa, fósforo y calcio no presentó diferencias entre climas (Cuadro 2). Miglioranza *et al.* (2003) mencionan que el contenido de calcio en el ejote depende principalmente del cultivar utilizado y no de la disponibilidad de este mineral en el suelo. En clima semiárido, “Hav-14”, mostró el contenido más alto en proteína, minerales, FDA y FDN (22.3 %, 8.8 %, 24.3 % y 31.5 %, respectivamente). En contraste, en clima templado dicho cultivar presentó los valores más bajos de proteína, minerales, FDA y FDN (17.9 %, 6.1 %, 17.4 %, 24.4 %), respectivamente (Cuadro 2). Posiblemente, dicha respuesta puede ser explicada por la variación en los índices ambientales, principalmente la distribución de la precipitación durante el desarrollo de las etapas reproductivas del cultivo (prefloración, floración y formación de vaina). Al comparar el contenido nutrimental promedio por ambiente, se observa que en el clima semiárido se obtienen los porcentajes más altos en minerales (8.6 %), fósforo (0.06 %), FDA (21.9 %), lignina (0.2 %), FDN (28.5 %) y proteína (20.3 %), sin embargo, en clima templado sólo se obtienen los porcentajes más altos de calcio (1.4 %), carbohidratos solubles (46.5 %) y grasa (1.6 %). Por otra parte, al comparar el promedio por cultivar, se encontró que “Hav-14” de crecimiento indeterminado presentó los valores más altos en calcio (1.5 %), fósforo (0.07 %), proteína (20.1 %) y grasa (1.7 %) y los más bajos en “Strike” de crecimiento determinado (1.2 %, 0.06 %, 19.0 % y 1.0 %, respectivamente). La interacción genotipo ambiente resultó estadísticamente significativa, lo que indica que el ambiente tiene un efecto directo en cada uno de los cultivares y sobre la expresión de cada uno de sus nutrimentos. Estos resultados sugieren la necesidad de continuar los estudios sobre el comportamiento de los cultivares en ambientes específicos, buscando las condiciones de desarrollo más apropiadas para un mayor rendimiento y calidad nutrimental.

Cuadro 2. Análisis químico (%), del ejote en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo (clima semiárido) y San Pablo Ixayoc (clima templado), México. 2008.

Ambiente	Nutrimentos									
	Minerales	Calcio	Fósforo	CS	FDA	Lignina	FDN	Hemicel	Proteína	Grasa
Mont Strike	7.9 b	1.2 c	0.07 a	42.9 c	22.4 ab	0.3 a	30.7 a	8.3 a	18 d	0.4 d
“ ” B.V	9.1 a	1.4 b	0.05 d	45.9 b	18.9 c	0.1 b	23.2 c	4.21 c	20.7 b	1.2 c
“ ” H-14	8.8 a	1.5 ab	0.07 a	35.7 d	24.3 a	0.3 a	31.5 a	7.1 ab	22.3 a	1.8 a
SPI Strike	7.3 c	1.2 c	0.06 c	44.3 bc	21.7 b	0.1 b	26.5 b	4.8 bc	20.1 b	1.7 a
“ ” B.V	7.4 c	1.5 a	0.06 b	45.6 b	19.3 c	0.1 b	26.5 b	7.3 ab	18.9c	1.5 b
“ ” H-14	6.1 d	1.5 ab	0.07 a	49.7 a	17.4 c	0.1 b	24.4 c	7.1 ab	17.9 d	1.7 a
Prom. Mont	8.6 a	1.3 b	0.06 a	41.5 b	21.9 a	0.2 a	28.5 a	6.5 a	20.3 a	1.1 b
“ ” SPI	6.9 b	1.4 a	0.06 a	46.5 a	19.4 b	0.1 b	25.8 b	6.4 a	18.9 b	1.6 a
“ ” Strike	7.6 b	1.2 b	0.06 b	43.6 b	22.0 a	0.2 a	28.6 a	6.5 a	19.0 b	1.0 c
“ ” B.V	8.2 a	1.5 a	0.05 c	45.7 a	19.1 c	0.1 b	24.8 b	5.7 a	19.8 a	1.3 b
“ ” H-14	7.5 b	1.5 a	0.07 a	42.7 b	20.8 b	0.2 a	28 a	7.1 a	20.1 a	1.7 a
“ ” general	7.8	1.4	0.06	44	20.6	0.2	27.1	6.5	19.6	1.4
A	** (0.13)	** (0.04)	Ns	** (0.73)	** (0.71)	** (0.07)	** (0.59)	ns	** (0.31)	** (0.10)
Pro. C	** (0.37)	** (0.11)	** (0.01)	** (1.78)	** (1.93)	** (0.02)	** (1.59)	** (2.68)	** (0.84)	** (0.10)
F A*C	** (0.18)	** (0.9)	** (0.04)	** (0.84)	** (1.02)	** (0.05)	** (1.10)	** (1.02)	** (0.06)	** (0.12)
CV %	1.70	2.99	1.78	1.59	3.29	4.14	2.07	1.45	1.51	2.71

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$). CS = Carbohidratos solubles; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutro; Hemicel = Hemicelulosa; Mont = Ambiente de Montecillo; SPI = Ambiente de San Pablo Ixayoc; B.V = Black Valentine; H-14 = Hav-14; Prom = Promedio; Cifras entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

La fenología, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero están en función del cultivar y del ambiente. En clima semiárido (Montecillo) y templado (San Pablo Ixayoc) el cultivar “Hav-14” de hábito de crecimiento indeterminado presentó la mayor producción de ejote y el mismo cultivar presentó la mayor calidad nutrimental pero en clima semiárido. En condiciones de clima templado el cultivar “Hav-14” presentó el rendimiento más alto y la calidad nutrimental más baja. La interacción genotipo ambiente indica que los cultivares evaluados responden de manera diferente al ambiente de desarrollo en cuanto a su rendimiento, número de ejotes y calidad nutrimental, por lo que debe buscarse el cultivar más apropiado de alto rendimiento y calidad nutrimental para cada región agrícola.

LITERATURA CITADA

- Adsule R N, S S Deshpande, S K Sathe (2004)** Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia, S.A. Distrito Federal, México. 739 p.
- Cselotei L, G Vargas (1987)** The effect of irrigation on the quality and Harvest time of snap beans. *Acta Horticulturae*. 220: 337-381.
- Escalante E J A, J S Kohashi (1993)** El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. México. 84 p.
- Esquivel E G, A A J Gallegos, R R Serna, P P Herrera, H M J Casillas, N R Maya, M S J Martínez (2006)** Productividad y adaptación de frijol ejotero en el valle de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12:109-116.
- Doorenbos J, W O Pruitt (1986)** Las Necesidades del Agua para los Cultivos. Estudio FAO. Riego y drenaje. Manual 24. 194 p.
- Favaro P S, B J A Neto, W H Takahashi, E Miglioranza, I E Ida (2007)** Rates of calcium, yield and quality of snap bean. *Science Agricola*. 64(6): 616-620.
- García E L (2005)** Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México, D.F. 217 p.
- Guzmán M S H, A A J Gallegos, M M A Álvarez, D S García, P G Loarca (2002)** Calidad alimentaria y potencial nutraceutico del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agricultura Técnica en México*. 28(2):159-173.
- Mawgoud A, M Desuki, S R Salman, A Hussein (2005)** Performance of some snap bean varieties as affected by different levels of mineral fertilizers. *Journal of Agronomy*. 4(3): 242-247.

- Miglioranza E, R Araujo, M R Endo, P R J Souza, A M Montanari (2003)** Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijao-vagem. Horticultura Brasileira. 21(2): 158-161.
- Peixoto N, L T Braz, D A Banzatto, E A Moraes, F M Moreira (2002)** Características agronómicas, productividad, qualidade de vagens e divergencia genetica em Feijoo-vegem de crecimiento indeterminado. Horticultura Brasileira. 20:447-451.
- Pomper W K, A M Grusak (2004)** Calcium uptake and whole-plant water use influence pod calcium concentration in snap bean plants. Journal American Society Horticulture Science. 129(6): 890-895.
- Quintana J M, H C Harrison, J P Palta, J Nienhuis, K Kmiecik (1999)** Calcium fertilizers fail to affect pod calcium concentration and yield of four snap bean cultivars. Hort Science. 34(4): 646-647.
- Rosales S R, M R Ochoa y J A G Acosta (2001)** Fenología y rendimiento del frijol en el Altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. Agrocienca. 35: 513-523.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación) (2009)** Producción de hortalizas. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.com.mx>(verificado el 15 de diciembre de 2009).
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 235-241.
- Secretaria de Salud (2010)** Sobre peso y obesidad problema gordo para México. Disponible en http://portal.salud.gob.mx/sites/salud/descargas/pdf/period_mexsano/mexicosano_ene10.pdf. (verificado el 14 de junio de 2010).

- Snyder R L (1985)** Hand calculating degree days. *Agriculture Forest Meteorology*. 35:353-358.
- Sosa P E (1979)** Manual de Procedimientos Analíticos para Alimentos de Consumo Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Traka M E, D Georgakis, K M Sotiriou, T Pritsa (2000)** An integrated approach of breeding and maintaining an elite cultivar of snap bean. *Agronomy Journal*. 92: 1020-1026.
- Yvestirilly C M B (2002)** Tecnología de Hortalizas. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. 591 p.
- Zhiwei Q, X Xangyang, L Hongyu, Y Chengge, T Bing (1995)** Evaluation of quality characteristic of the fresh pods of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in breeds in Heilongilang province. *Acta Horticulturae*. 402: 200-205.

CAPÍTULO II

CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRIMENTAL Y RENTABILIDAD DEL FRIJOL EJOTERO EN CLIMA TEMPLADO

CAPÍTULO II
CRECIMIENTO, RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRIMENTAL Y
RENTABILIDAD DEL FRIJOL EJOTERO EN CLIMA TEMPLADO

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

Una de las estrategias para lograr mayor rendimiento y calidad nutrimental en las regiones agrícolas es la búsqueda de cultivares que presenten una mayor expresión del crecimiento y rendimiento en cada condición ambiental. El objetivo de este estudio fue caracterizar cultivares de frijol ejotero con base en su fenología, crecimiento, rendimiento, calidad nutrimental y rentabilidad, bajo condiciones de temporal en clima templado. Los cultivares “Opus”, “Strike” y “Black Valentine” de hábito de crecimiento determinado y “Hav-14” de crecimiento indeterminado fueron sembrados el 7 de mayo de 2008, a una densidad de 6.25 plantas m⁻². El cultivar “Strike” resultó más precoz (90 días de siembra a último corte) y “Hav-14” el más tardío (119 días). “Hav-14” mostró un rendimiento (0.573 kg m⁻²) y número de ejotes más altos (146 ejotes m⁻²) y “Strike” los más bajos (0.195 kg m⁻² y 56 ejotes, respectivamente). Estas diferencias se relacionan con las unidades calor (UC), la evapotranspiración (ETc) y la precipitación (pp). En la calidad nutrimental, “Opus” mostró los porcentajes más altos en contenido de minerales, fósforo, fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN) y lignina (8.3, 0.9, 23.2, 28.6 y 0.13 %, respectivamente), mientras que “Hav-14” los más bajos (6.2, 0.7, 17.4, 24.4 y 0.10 %). El ingreso más alto correspondió a “Hav-14” y el más bajo a “Strike”. Esto sugiere que “Hav-14” sería el cultivar más apropiado para mayor producción en este tipo de clima.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., cultivares, fenología, hábitos de crecimiento, unidades calor.

**GROWTH, YIELD, NUTRITIONAL QUALITY AND PROFITABILITY OF SNAP
BEAN IN TEMPLATE CLIMATE**

**Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010**

ABSTRACT

One strategy to achieve a greater yield and nutrient quality in agricultural regions is the search for cultivars that show increased expressions of growth and yield in every environmental condition. The aim of this study was to characterize snap bean cultivars based on their phenology, growth, yield, nutritional quality, and profitability under rainfed conditions in a temperate climate. The cultivars "Opus", "Strike", and "Black Valentine" with a determined growth habit and "Hav-14" with an undetermined climbing growth were sown on May 7th, 2008, at a density of 6.25 plants m⁻². The "Strike" cultivar showed the fastest growing (90 days from sowing to final cut), and "Hav-14" the slowest (119 days). "Hav-14" had the highest yield (0.573 kg m⁻²) and the greatest number of green beans (146 green beans m⁻²) while "Strike" had the lowest (0.195 kg m⁻² and 56 green beans m⁻², respectively). These differences are related to heat units (UC), evapotranspiration (ETc) and precipitation (pp). With respect to nutritional quality, "Opus" showed the highest percentage in minerals, phosphorus, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF) and lignin (8.3, 0.9, 23.2, 28.6 and 0.13 %, respectively), while "Hav-14" showed the lowest (6.2, 0.7, 17.4, 24.4 and 0.10 %). Income was highest with "Hav-14" and lowest with "Strike". This suggests that "Hav-14" would be the most appropriate cultivar for increase production and profit in this type of climate.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., cultivars, phenology, growth habit, heat units.

INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero es una hortaliza de importancia en la dieta de países como Turquía, Estados Unidos, Chile y Brasil, ya que su consumo *per capita* es 6.5, 3.5, 3.2 y 1.2 kg respectivamente (Peixoto *et al.*, 2001). En México su bajo consumo está relacionado con cuestiones culturales, ya que desde épocas prehispánicas se consumía más el frijol como grano seco que como ejote (Kaplan, 1965). Además, de que los cultivares usados no están bien adaptados a las condiciones ambientales, por lo que su rendimiento promedio es de 3.7 t ha⁻¹ y no satisface la demanda interna (1.1 kg *per capita*). Otro factor que contribuye es la escasa y heterogénea distribución de la precipitación (menos de 500 mm), durante el ciclo del cultivo. Por otra parte, las políticas de agricultura sostenible sugieren el mejor aprovechamiento de los recursos edáficos, genéticos, hídricos y humanos, que mejoren la calidad de vida del productor (Quintero *et al.*, 2005). Por lo tanto, una posible alternativa para lograr esto es buscar cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento, que con la precipitación disponible satisfagan sus necesidades hídricas e incrementen el rendimiento y los ingresos del productor. En la actualidad en Estados Unidos y Francia se han originado más de 120 cultivares de frijol ejotero, dentro de los que podemos 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). Sin embargo, este rendimiento no depende únicamente del genotipo, sino también de las condiciones edáficas (Abdel *et al.*, 2005). Se sabe que la fenología, el rendimiento y sus componentes del frijol ejotero dependen de la cantidad y distribución de la precipitación (Roy *et al.*, 2000), de la temperatura (Tsukaguchi *et al.*, 2005) y de la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo (Omae *et al.*, 2007). Además, también se ha observado que la calidad nutrimental es afectada por los cambios en

los elementos del tiempo (Salinas *et al.*, 2008). Para la región en estudio existe información limitada sobre el comportamiento del frijol ejotero bajo condiciones de temporal, por lo que es necesario realizar investigaciones al respecto e identificar cultivares de frijol ejotero de mayor rendimiento y calidad nutrimental para el Altiplano Mexicano. El objetivo del presente estudio fue: a) Determinar la fenología, el rendimiento, sus componentes y calidad nutrimental del ejote en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento y b) determinar que índices del clima se relacionan con el crecimiento y el rendimiento del frijol ejotero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México (19° 33' N, 98°47' O, a 2600 m de altitud), con clima C (W0) (w) templado, con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.7 °C y 609 mm de precipitación (García, 2005). Los cultivares utilizados fueron: “Opus”, “Strike” y “Black Valentine”, de hábito de crecimiento determinado, y “Hav-14” de crecimiento indeterminado, el cual se cultivo con espaldera convencional (polines y maya tutora). La siembra se realizó el 7 de mayo de 2008, a una densidad de 6.25 plantas m⁻², bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se registró la fenología y sus etapas: vegetativas (V-1: emergencia, V-2: primer par de hojas primarias, V-3: primer par de hojas trifolioladas y V-4: tercer par de hojas trifolioladas) y reproductivas (R-5: prefloración, R-6: floración y F-7: formación de vainas) siguiendo los criterios en Escalante y Kohashi (1993). Los cortes de ejote se realizaron cada tres días (cuando la vaina alcanzó una longitud de 10 cm), con un total de siete por cultivar, registrándose el peso fresco (kg m⁻²), número de ejotes m⁻² y longitud del ejote (cm). Los componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento: número de hojas (NH), peso seco de las hojas (PSH, g planta⁻¹), longitud del tallo (LT, cm), peso seco del tallo (PST, g planta⁻¹), número de nudos (NN), área foliar (AF, dm²) y duración del área foliar (DAF, días), se evaluaron a los 90 días después de la siembra (DDS). La calidad nutrimental se determinó mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979), y el porcentaje de humedad de las muestras se determinó colocando a los ejotes en una estufa de aire forzado (Modelo 28, THELCO) a 55 °C, hasta obtener un peso constante. Una vez secas las muestras, se procedió a molerlas en un molino eléctrico (Modelo Kb 5/10 JANKE AND KUNKEL INKA, GERMANY), con criba de 1 mm. Apartir de la siembra hasta el último corte se calculó la suma semanal de unidades calor (UC °C, Snyder, 1985), precipitación (pp mm) y evapotranspiración del cultivo (ETc mm, Doorenbos y Pruitt, 1986). Además, se realizó un

análisis económico, en donde el ingreso bruto se calculó con base en el precio de 6 pesos por kg de ejote, según lo reportado por el SIAP (2008). El costo fijo le fue asignado a la renta del suelo; para el costo variable se consideró: la preparación del suelo, costo de la semilla, agroquímicos, jornales y espaldera (en el caso del cultivar de crecimiento indeterminado). Los datos de cada variable, fueron analizados mediante el análisis de varianza y cuando se observaron diferencias estadísticas se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS para computadora (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología del frijol ejotero y su relación con la temperatura y la precipitación

En la figura 1 se puede observar que los cultivares de crecimiento determinado presentaron el ciclo biológico más corto con 93 días promedio de siembra a último corte, comparados con “Hav-14” de hábito indeterminado quien mostró el ciclo más largo 119 días. Con relación a la fase vegetativa (de V-1 a V-4), se puede observar que “Opus” fue el más precoz (16 días), y “Hav-14” el más tardío (22 días), una tendencia similar se presentó en la fase reproductiva (R-5 y R-6), con 51 y 69 días en “Opus” y “Hav-14”, respectivamente. Sin embargo, entre el primero y séptimo corte “Strike” fue el más precoz con 68 y 90 días, y “Hav-14” el más tardío con 96 y 119 días respectivamente. Tendencias similares fueron reportadas por Traka *et al.* (2002). Estas diferencias en la fenología sugieren que los cultivares de hábito de crecimiento indeterminado (tipo IV) responden favorablemente a la disponibilidad de humedad, ya que si la precipitación es homogénea durante todo su ciclo, las plantas continúan produciendo hojas, ramas, flores y frutos durante su etapa reproductiva, lo cual trae por consecuencia un ciclo más largo (119 días) y mayor precipitación acumulada (415 mm), en contraste con los cultivares de crecimiento determinado con 94 días y 383 mm, respectivamente. Con relación a las temperaturas máxima y mínima (21.3 y 9.4 °C, respectivamente), éstas no influyeron en la fenología de los cultivares ya que fueron constantes en el tiempo.

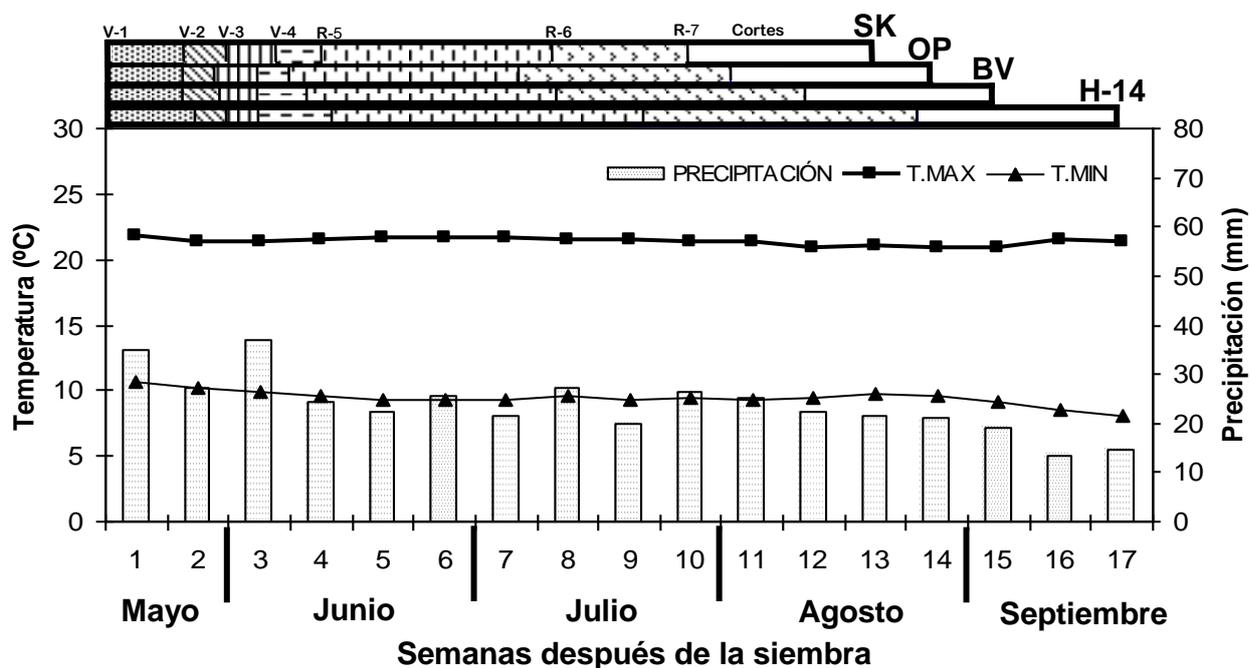


Figura 1. Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2008.

Etapas fenológicas del frijol ejotero: V-1 = Emergencia; V-2 = Hojas primarias; V-3 = Primera hoja trifoliolada; V-4 = Tercera hoja trifoliolada; R-5 = Prefloración; R-6 = Floración; R-7 = Formación de vainas; Cultivares SK = “Strike”; OP = “Opus”; BV = “Black Valentine” y H-14 = “Hav-14”.

Rendimiento de ejote en función de la acumulación de UC, ETc y pp

El cultivar “Hav-14” de hábito indeterminado presentó rendimiento (0.573 kg m^{-2}) y número de ejotes ($146 \text{ ejotes m}^{-2}$) mayores, seguido de “Opus” (0.520 kg m^{-2} y $140 \text{ ejotes m}^{-2}$), “Black Valentine” (0.516 kg m^{-2} y $112 \text{ ejotes m}^{-2}$) y “Strike” (0.195 kg m^{-2} y 56 ejotes m^{-2} , respectivamente). Así mismo, “Hav-14” mostró mayor acumulación de UC, ETc y pp durante su ciclo ($650 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 178 mm y 415 mm , respectivamente), en contraste, “Strike” presentó los valores más bajos con $567 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 151 mm y 379 mm respectivamente (Cuadro 1). Este comportamiento posiblemente se debe a que “Hav-14” por su ciclo largo (119 días), puede disponer mayor tiempo de los insumos para su crecimiento y ésto en condiciones de

riego sería una ventaja, ya que se podría aprovechar para incrementar el número de cortes y el rendimiento de ejote. Sin embargo, bajo condiciones de temporal se debe tomar en cuenta que la precipitación no presenta un patrón bien definido en su frecuencia y distribución durante el año, por lo que debe evitarse que el cultivo sufra estrés hídrico, principalmente en las etapas reproductivas, ya que esto podría originar la reducción o pérdida total del rendimiento.

Cuadro 1. Rendimiento de frijol ejotero (kg m⁻²), número de ejotes por m², variables e índices ambientales en función del cultivar. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008 (datos promedio de cuatro repeticiones).

Cultivares	Rendimiento (kg m ⁻²)	No. Ejotes (m ⁻²)	Longitud del ejote (cm)	UC (°C)	ETc (mm)	pp (mm)
Opus	0.521 ab	141 ab	10.2 a	577	157	382
Strike	0.196 b	57 b	10.1 a	567	151	379
Black Valentine	0.517 ab	112 ab	10.6 a	572	161	388
Hav-14	0.574 a	146 a	10.2 a	650	178	415
Promedio general	0.452	113.5	10.3	592	162	391
Prob. F	C	*(16.28)	*(13.70)	Ns(0.50)	DSA	DSA

Valores con letra similar dentro de cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$); Ns= No significativo y * = Significativo; cifras entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; C = Cultivar; UC = Unidades calor; ETc = Evapotranspiración; pp = Precipitación.

Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento

En el cuadro 2 puede observarse que a los 90 días después de la siembra (DDS), el número de hojas, peso seco de las hojas y peso seco del tallo no mostraron diferencias estadísticas entre cultivares. Sin embargo, esto sí ocurrió para el número de nudos y la longitud del tallo. El cultivar “Hav-14” presentó el mayor número de nudos (14.5) y un tallo de 181 cm de longitud, seguido de “Black Valentine” con 6.1 nudos y 39.3 cm; “Opus” con 5.7 nudos y 28.6 cm; y “Strike” con 6.7 nudos y 25.5 cm, respectivamente. Estas diferencias se relacionan con el hábito de crecimiento, ya que “Hav-14” por ser de crecimiento indeterminado, tipo IV, presenta un tallo principal y yemas vegetativas durante la etapa reproductiva, en tanto que los de crecimiento determinado presentan una yema reproductiva

en el ápice con lo cual cesa su crecimiento vegetativo. Así mismo “Hav-14” presentó el área foliar (AF) y la duración del área foliar (DAF) más altos (10 dm² y 13.7 días, respectivamente). En contraste, “Strike” mostró los valores más bajos (5.3 dm² y 7.7 días, respectivamente). Estas diferencias permiten esclarecer en parte el comportamiento del rendimiento entre cultivares, ya que la capacidad fotosintética y su duración fueron mayores en el cultivar “Hav-14”, ésto le permitió incrementar la producción de fotosíntatos, debido a una mayor DAF, los cuales posiblemente fueron trasladados a los órganos reproductivos con lo que se incrementó el número y peso fresco de los ejotes.

Cuadro 2. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en función del cultivar de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008. (datos promedio de cuatro repeticiones).

Cultivares	NH	PSH (g)	AF (dm ²)	DAF (días)	LT (cm)	PST (g)	NN	
Opus	11.0 a	6.3 a	9.4 ab	12.9 ab	28.6 b	3.0 a	5.7 b	
Strike	10.3 a	4.1 a	5.3 b	7.7 b	25.6 b	2.0 a	6.7 b	
B. Valentine	11.3 a	5.0 a	9.6 a	13.0 ab	39.3 b	3.6 a	6.1 b	
Hav-14	11.6 a	5.7 a	10.0 a	13.7 a	181.0 a	3.4 a	14.5 a	
Prom. General	11.0	5.3	8.6	11.8	69.0	3.0	8.2	
Prob. F	C	Ns(5.44)	Ns(3.01)	*(4.23)	*(5.83)	*(33.30)	Ns(1.64)	*(2.16)

Valores con letra similar dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey, ($\alpha=0.05$); Ns = No significativo; * = Significativo; Cifras entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; C= Cultivar. NH = Número de hojas; PSH = Peso seco de las hojas; AF = Área foliar; DAF = Duración del área foliar; LT = Longitud del tallo; PST = Peso seco del tallo; NN = Número de nudos.

Calidad nutricional

El análisis de varianza para las variables que caracterizan la calidad nutricional, mostró cambios significativos entre cultivares. “Opus” presentó los valores más altos en contenido de minerales (8.3 %), fósforo (0.9 %), FDA (23.2 %), lignina (0.13 %) y FDN (28.6 %), mientras que “Hav-14” los más bajos (6.2, 0.7, 17.4, 0.10 y 24.4 %, respectivamente). Sin embargo, el porcentaje de CS fue mayor en “Hav-14” (49.7 %) y menor (41.8 %) en “Opus” (Cuadro 3). Esto indica que a medida que se incrementa el contenido de fibras, se reduce el de carbohidratos solubles, una tendencia similar fue encontrada por Salinas *et al.* (2008) con

el cultivar “Hav-14” evaluando en distintas fechas de siembra. Además, cabe resaltar la importancia nutraceutica de las fibras alimentarias, ya que con un consumo de 25 a 30 g día⁻¹, se reduce la predisposición a enfermedades crónicas como: hipertensión arterial, diabetes tipo II, estreñimiento y cáncer colorrectal. También se ha encontrado que del total de la fibra consumida, el 50 % es fermentada por microorganismos del colon, originando ácidos grasos de cadena corta (AGCC), gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía, que estimulan el crecimiento de bacterias benéficas (bifidobacterias y lactobacilos) y se reduce el de patógenas (Escudero y González, 2006).

En general, entre hábitos de crecimiento no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de fósforo, hemicelulosa y extracto etéreo. Sin embargo, sí se encontraron en minerales, FDA, lignina, FDN y proteína. Encontrándose los valores más altos en cultivares de hábito determinado con 7.7, 21.4, 0.11, 27.2 y 19.5 %, respectivamente. Esto indica una relación inversa entre el rendimiento de ejote fresco y la calidad nutrimental, ya que a mayor rendimiento, menor calidad nutrimental.

Cuadro 3. Análisis químico de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México. 2008. Datos promedio de cuatro repeticiones, % con base en materia seca.

Cultivar	Minerales	Calcio	Fósforo	CS	Nutrimentos						
					FDA	Lignina	FDN	Hemicel	Proteína	EE	
Opus	8.3 a	1.5 a	0.9 a	41.8 c	23.2 a	0.13 a	28.6 a	5.3 a	19.5 a	1.8 a	
Strike	7.3 b	1.2 b	0.6 b	44.3 b	21.7 b	0.12 b	26.6 ab	4.8 a	20.1 a	1.68 a	
B.Valentine	7.4 b	1.6 a	0.6 b	45.6 b	19.2 c	0.09 d	26.5 ab	7.3 a	18.9 b	1.51 b	
Hav-14	6.2 c	1.5 a	0.7 b	49.7 a	17.4 d	0.10 d	24.4 b	7.0 a	17.9 c	1.7 a	
“ ” general	7.3	1.4	0.7	45.4	20.4	0.11	26.5	6.1	19.1	1.7	
Prob F	C	** (0.56)	** (0.12)	** (0.01)	** (2.42)	** (1.37)	** (0.005)	** (2.26)	Ns (2.80)	** (0.57)	** (0.13)

Valores con letra similar dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$); Ns = No significativo; * = Significativo ($\alpha=0.05$); cifra entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; CS = Carbohidratos solubles; FDA = Fibra detergente ácido; FDN = Fibra detergente neutro; Hemicel = Hemicelulosa; EE = Extracto etéreo; C = Cultivar.

Análisis económico

En cuanto a la rentabilidad se observaron diferencias entre cultivares de frijol ejotero. El cultivar “Opus” fue el que presentó el ingreso más alto por ha⁻¹ (\$10056), seguido de “Black Valentine” (\$9816). “Strike” y “Hav-14” presentaron pérdidas económicas de -\$9444 y -\$24940 respectivamente. En el caso del cultivar “Strike”, estas pérdidas se relacionan con el bajo rendimiento en ejote (1,950 kg ha⁻¹) y en “Hav-14” con el incremento de los costos variables (polines y maya tutora) durante el primer ciclo. Si estas ganancias se extrapolan a un periodo de cinco años (que es la vida de la espaldera), utilizando los mismos cultivares, costos fijos y variables, rendimiento y precio por kilogramo de ejote, se observaría la siguiente tendencia: la ganancia más alta con “Hav-14”, seguida de “Opus” y “B. Valentine” (\$85480, \$50276 y \$49076) respectivamente (Cuadro 4). Sin embargo, el cultivar “Strike” continuaría con pérdidas (-\$42224). Estos resultados sugieren que la siembra de frijol ejotero además de tener buena calidad alimentaria, es una alternativa de mayores ingresos para el agricultor. Es de esperarse que en regiones con condiciones ambientales similares a las de este estudio se observe una respuesta similar en rendimiento, calidad nutrimental e ingresos, que incrementen la calidad de vida del productor.

Cuadro 4. Rendimiento, ingreso bruto, costos fijos, variables y totales e ingreso neto para cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008.

Cultivar	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingreso bruto (\$ ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)			Ingreso Neto (\$ ha ⁻¹)	
			Fijos	Variables	Total	1er. año	5to. Año
Opus	5200 ab	31200	7000	14144	21144	10056	50276
Strike	1950 b	11700	7000	14144	21144	-9444	-42224
B.Valentine	5160 ab	30960	7000	14144	21144	9816	49076
Hav-14	5730 a	34380	7000	51320	58320	-23940	85480

Valores con letra similar dentro de cada columna son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$).

CONCLUSIONES

En clima templado bajo condiciones de temporal los cultivares de diferente hábito de crecimiento presentan cambios en la fenología, el rendimiento y la calidad nutrimental. El rendimiento más alto se logra con el cultivar “Hav-14” y el más bajo con “Strike”. La calidad nutrimental presenta una relación inversa con el rendimiento. Los cambios en el crecimiento, rendimiento y calidad nutrimental se relacionan con los cambios en la acumulación en las unidades calor, evapotranspiración y precipitación durante el ciclo del cultivo. El mayor ingreso se obtiene con “Hav-14” de hábito indeterminado y el menor con “Strike” de hábito determinado.

LITERATURA CITADA

- Abdel M A, S R Desuki, S R Salman (2005)** Performance of some snap bean varieties as affected by different levels of mineral fertilizers. *Journal of Agronomy*. 4(3): 242-247.
- Adsule R N, S S Deshpande, S K Sathe (2004)** Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia, S.A. D. F., México. 739 p.
- Doorenbos J, W O Pruitt (1986)** Las necesidades del agua para los cultivos. Estudio FAO. Riego y drenaje. Manual 24. 194 p.
- Escalante E J A, J S Kohashi (1993)** El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. México. 84 p.
- Escudero A E, S P González (2006)** La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21(2): 61-72.
- García E L (2005)** Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. D.F, México. 217 p.
- Kaplan L G (1965)** Archeology and domestication of *Phaseolus* (beans) in America. *Economic Botany*. 19:358-368.
- Omae H, A Kumar, K Kashiwaba, M Shono (2007)** Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science*. 10(1): 28-35.
- Peixoto N, E A Morales, J D Monteiro, M D T Thung (2001)** Selecao de linhagens de feijao-vagem de crescimento indeterminado para cultivo no Estado de Goiás. *Horticultura Brasileira*. 19(1): 85-88.

- Quintero I, R Álvarez, O Vilorio, J Zambrano, W Materano, M Maffei, A Valera (2005)** Evaluación de potencial agronómico y atributos de calidad en tres variedades de vainita (*Phaseolus vulgaris* L). Sociedad Interamericana de Producción Hortícolas Tropicales. 48: 65-67.
- Roy G, L Laflame, N Tremblay (2000)** Evolution des calibers et des rendements de cultivars de haricot destinés à la transformation. Canadian Journal of Plant Science. 80: 869-873.
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 235-241.
- SAS (Statistical Analysis System Institute) (2002)**. SAS Proceeding Guide, Versión 9.0. SAS Institute.Cary, NC. USA.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera) (2008)** www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1. Consultada en marzo 2010.
- Snyder R L (1985)** Hand calculating degree days. Agriculture Forest Meteorology. 35: 353-358.
- Sosa P E (1979)** Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Tsukaguchi T, H Fukamachi, K Ozawa, H Takeda, K Suzuki, Y Egawa (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.
- Traka M E, D Georgakis, G Spanomitsios, S M Koutsika (2002)** Prebreeding manipulations for pod yield stability in a snap bean cultivar. Journal of Horticultural Science and Biotechnology Trustes. 77: 641-648.

CAPÍTULO III

**FENOLOGÍA, ANÁLISIS DE CRECIMIENTO, BIOMASA Y CALIDAD DE
RENDIMIENTO DEL FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

CAPÍTULO III
FENOLOGÍA, ANÁLISIS DE CRECIMIENTO, BIOMASA Y CALIDAD DE
RENDIMIENTO DEL FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

El ejote por sus propiedades funcionales, originó incremento en su consumo (3.1 kg *per cápita*). Sin embargo, los cultivares que actualmente se utilizan presentan bajo rendimiento (10 t ha⁻¹, en condiciones de riego) y no cubren la demanda del mercado, por lo que surge la necesidad de generar estrategias tales como el estudio de una gama de cultivares que conduzcan a incrementar el rendimiento y la calidad nutrimental del ejote. Así, el objetivo de este estudio fue determinar la fenología, el crecimiento, el rendimiento y la calidad nutrimental de cultivares de frijol ejotero. El estudio se realizó en Montecillo, Estado de México, bajo régimen de lluvia estacional. Los cultivares usados fueron: “La Palma”, “Strike” y “Black Valentine” de hábito determinado, “Hav-14”, “Japonés” y “Oaxaqueño” de hábito indeterminado. Se evaluó en cada cultivar la fenología, la tasa de crecimiento absoluto, la tasa de crecimiento relativo, la tasa de asimilación neta (\overline{TCA} , \overline{TCR} y \overline{TAN} , respectivamente) y la calidad nutrimental. Los resultados indicaron diferencias en la ocurrencia de la fenología, ya que los cultivares de hábito determinado presentaron 81 días de siembra a último corte y los de hábito indeterminado 127 días. Sin embargo, los valores más altos en biomasa (0.235 kg m⁻²), rendimiento (1.37 kg m⁻²) y calidad nutrimental (cenizas 8.9 %, fósforo 0.080 %, fibra detergente ácido (FDA) 22.0 %, lignina 0.24 %, fibra detergente neutro (FDN) 31.2 %, hemicelulosa 9.1 %, proteína 21.6 % y grasa 1.8 %) correspondieron a los cultivares de hábito indeterminado y se relacionaron con la mayor

acumulación en la $\overline{\text{TCA}}$ ($0.31 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) y en $\overline{\text{TCR}}$ ($0.018 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en el periodo de 60 a los 90 días después de la siembra (DDS).

Palabras clave: *índice de cosecha, calidad nutrimental, cultivar, rendimiento*



PHENOLOGY, ANALYSIS OF GROWTH, BIOMASS AND PERFORMANCE

QUALITY OF SNAP BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

ABSTRACT

Snap bean, by its functional properties, resulted an increased consumption (3.1 kg *per capita*). However, the currently used cultivars present low yield (10 t ha⁻¹, under irrigated conditions) and do not meet the market demand, so there is a need to develop strategies such as studying a range of cultivars that to increase yield and nutritional quality of green bean. Thus, the purpose of this study was to determine phenology, growth, yield and nutritional quality of snap bean cultivars. This study was carried out in Montecillo, Stado of Mexico, under seasonal rainfall regime. The cultivars used were: "La Palma", "Strike" and "Black Valentine" of determined growth habit, "Hav-14", "Japanes" and "Oaxaqueño" of indeterminate climbing growth habit. Each cultivar was evaluated phenology, absolute growth rate, relative growth rate, net assimilation rate (AGR, RGR and NAR respectively) as well as nutritional quality. The results showed differences of phenology occurrence, as determined habit cultivars had 81 days from sowing to cut while those of indeterminate growth habit had 127 days. However, the highest biomass values (0.235 kg m⁻²), yield (1.37 kg m⁻²) and nutritional quality (ashes 8.9 %, phosphorus 0.080 %, acid detergent fiber (ADF) 22.0 %, lignin 0.24 %, neutral detergent fiber (NDF) 31.2 %, hemicellulose 9.1 %, protein 21.6 % and fat 1.8 %) were observed with indeterminate growth habit cultivars and were related to higher accumulation of AGR (0.31 g day⁻¹ plant⁻¹) and RGR (0.018 g g⁻¹ day⁻¹) during the experimental period of 60 to 90 days after sowing (DDS).

Keywords: *harvest index, nutritional quality, cultivars, yield*

INTRODUCCIÓN

El ejote es una hortaliza con buena calidad nutrimental (Salinas *et al.* 2008) y nutraceutica (Lefebvre y Thébaudin, 2002), características que han originado incremento en su consumo, que en México pasó de 0.9 a 1.1 kg (SIAP, 2008) y se espera que en los próximos años siga incrementándose. Sin embargo, los cultivares que actualmente se utilizan, no podrán cubrir la demanda de esta hortaliza, debido a que no están adaptados a las condiciones ambientales de la región, por lo que presentan baja eficiencia fotosintética y consecuentemente reducción en la producción de biomasa y del rendimiento. Por lo que surge la necesidad de implementar prácticas agronómicas que contribuyan en parte a aumentar la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero, dentro de ellas podemos mencionar: fechas de siembra, arreglos topológicos, fertilización y uso de cultivares de diferente hábito de crecimiento. Por otra parte, el análisis de crecimiento es una herramienta que nos permite cuantificar la producción de biomasa en función del tiempo, el cual puede ser utilizado para seleccionar cultivares de frijol ejotero que muestren alta producción de biomasa, ya que ésta se ha relacionado con el incremento en el rendimiento (Ascencio y Sgam, 2005). Así mismo, Rosales *et al.* (2000) y Rodrigues *et al.* (2005) también observaron que el aumento en los índices de crecimiento tasa media de crecimiento relativo ($\overline{\text{TCR}}$) y tasa de media de asimilación neta ($\overline{\text{TAN}}$), se relacionaron positivamente con el incremento en el rendimiento. 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 g m^{-2}) y la menor en los de crecimiento determinado (387 g m^{-2}). Sin embargo, Omae *et al.*

(2007) al evaluar dos cultivares de frijol ejotero de hábito indeterminado (“Haibushi” y “Kentucky Wonder”), bajo condiciones de Ishigaki, Japón (clima templado), no observaron diferencias estadísticas en la biomasa total. Sin embargo, se encontraron diferencias en la distribución, ya que los mayores valores en la acumulación de materia seca en vaina (40 g), hoja (36 g) y tallo (20 g) se encontraron en “Haibushi” y los más bajos (20 g, 18 g, 12 g, respectivamente) en “Kentucky Wonder”, esto sugiere que la distribución de la biomasa puede estar en función del hábito de crecimiento. Para el caso de la calidad nutricional, Esquivel *et al.* (2006) evaluaron el porcentaje fibra cruda, en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento, bajo condiciones de clima templado, y no encontraron diferencias estadísticas en esta variable. Sin embargo, Salinas *et al.* (2008) sí observaron diferencias en el porcentaje de fibra en el cultivar “Hav-14” en fechas de siembra, ya que los mayores valores (28 %) se encontraron en la siembra del 1 de junio y los más bajos (23 %) en la del 2 de mayo. Los antecedentes antes mencionados sugieren 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 nutricional de los cultivares de frijol ejotero, sin embargo, esto aun no está muy claro. Dilucidar estos aspectos fue el objetivo del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O, a 2250 m de altitud), con clima BS1, que indica el menos seco de los áridos con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y 558.5 mm de precipitación (García, 2005), en un suelo arcilloso y con pH de 7.8. Los cultivares de hábito de crecimiento determinado fueron: “La Palma”, “Strike” y “Black Valentine”; “Hav-14”, “Japonés” y “Oaxaqueño” de crecimiento indeterminado, como tratamientos, los cuales se cultivaron en espaldera convencional (polines y malla tutora). La siembra se realizó el 7 de mayo de 2008, a una densidad de 6.25 plantas m⁻², bajo un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Se registró la precipitación (mm) y temperaturas máxima y mínima (°C), promedio semanal durante el ciclo del cultivo. Además, en cada cultivar se registró la fenología: etapas vegetativas (V-1 = Emergencia, V-2 = Primer par de hojas primarias, V-3 = Primer par de hojas trifolioladas y V-4 = Tercer par de hojas trifolioladas) y etapas reproductivas (R-5 = Prefloración, R-6 = Floración y F-7 = Formación de vainas) siguiendo los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993). Los índices de crecimiento (\overline{TCA} , \overline{TCR} y \overline{TAN}) se estimaron a partir de las siguientes ecuaciones $\overline{TCA} = (PS_2 - PS_1) / (t_2 - t_1)$, donde: PS_2 y PS_1 representan el peso seco de la planta en los tiempos t_2 y t_1 , respectivamente; la $\overline{TCR} = (\log_e PS_2 - \log_e PS_1) / (t_2 - t_1)$, donde: $\log_e PS_2$ y $\log_e PS_1$ representan el logaritmo natural del peso seco en los tiempos t_2 y t_1 , respectivamente; la $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (AF_2 - AF_1)] / [(\log_e AF_2 - \log_e AF_1) / (t_2 - t_1)]$ donde: PS es el peso seco, AF es el área foliar y t es el tiempo. La acumulación de biomasa total (g m⁻²), su distribución en hoja y tallo se estimó en cada muestreo realizado de 0 a 30, 30 a 60 y 60 a 90 DDS. Para la determinación de biomasa total se tomaron por tratamiento tres plantas de frijol de cada unidad experimental y se sometieron a un tratamiento de secado a 80 °C en una estufa de aire forzado, hasta obtener peso constante. El rendimiento de ejote (g m⁻²) y el Índice de

cosecha (IC, %) se determinaron a los 90 DDS, en plantas sin cortes previos, para estimar el IC se usó la siguiente ecuación $IC = \text{Peso seco de ejote} / \text{Peso seco de la biomasa total}$ (Escalante y Kohashi, 1993). La calidad nutrimental del ejote se determinó en cada cultivar, mediante un análisis químico proximal, además se determinó el porcentaje de calcio y fósforo siguiendo las metodologías en Sosa (1979), el porcentaje de humedad de las muestras se determinó colocando a los ejotes en una estufa de aire forzado (Modelo 28, THELCO) a 55 °C, hasta obtener peso constante. Una vez secas las muestras, se procedió a molerlas en un molino eléctrico (Modelo Kb 5/10 JANKE AND KUNKEL INKA, GERMANY), con criba de 1 mm. A los datos de cada variable, se les aplicó un análisis de varianza y cuando se observaron diferencias estadísticas, se hizo una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS para computadora (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología del frijol ejotero

La fenología del frijol ejotero mostró diferencias entre hábitos de crecimiento. El ciclo más corto (81 días de siembra a último corte) se observó en los de hábito determinado y el más largo (127 días) en los de indeterminado (Figura 1). Sin embargo, dentro de los de hábito determinado, se observó que “La Palma” fue el más precoz con 74 días de siembra a último corte y “Oaxaqueño” de hábito indeterminado fue el más tardío con 157 días. Las diferencias fenológicas entre hábitos de crecimiento se relacionaron con el retraso de 40 días en las etapas previas a la floración (de V-1 a R-5) en los cultivares de hábito indeterminado, comparados con los de determinado. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico esto es favorable, ya que a medida que el ciclo vegetativo se retrasa, la planta tiene mayor oportunidad de producir y acumular fotosintatos que originarán incremento de la biomasa total. Por otra parte, la temperatura mínima no mostró diferencias a lo largo del ciclo del cultivo ya que en promedio fue de 10 °C, tendencias similares se observaron con la temperatura máxima (25 °C). Sin embargo, la distribución de la precipitación influyó en la duración de las etapas fenológicas en los cultivares de crecimiento indeterminado, ya que del total de la precipitación acumulada durante el ciclo (432 mm), 53 % de ésta se presentó durante la fase vegetativa y el 47 % durante la reproductiva. Por lo que los cultivares de hábito indeterminado al disponer de humedad continúan creciendo y retrasaron sus etapas reproductivas (de R5 a R7). Tendencias similares con respecto al efecto de la humedad disponible sobre el retraso de la floración en cultivares de frijol de hábito de crecimiento indeterminado fueron reportados por Allende *et al.* (2006) y Acosta *et al.* (2009).

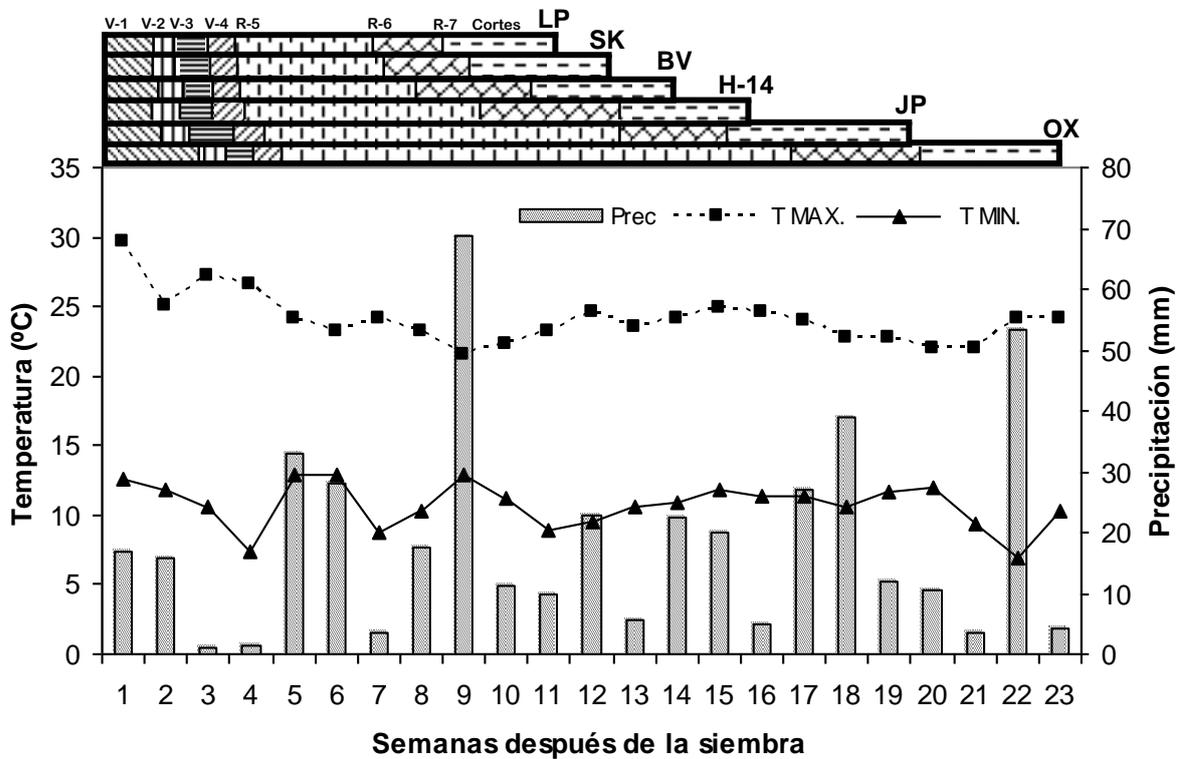


Figura 1. Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de las temperaturas máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. Verano 2008. Etapas fenológicas del frijol ejotero: V-1 = Emergencia; V-2 = Hojas primarias; V-3 = Primera hoja trifoliolada; V-4 = Tercera hoja trifoliolada; R-5 = Prefloración; R-6 = Floración; R-7 = Formación de vainas; Cultivares LP = La Palma; SK = “Strike”; BV = “Black Valentine”; H-14 = “Hav-14”; JP = “Japonés” y OX = “Oaxaqueño”.

Índices de análisis de crecimiento

La tasa media de crecimiento absoluto (\overline{TCA}) mostró diferencias estadísticas entre periodos y cultivares. Entre tratamientos, al comparar los periodos, la \overline{TCA} más baja ($0.99 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) se encontró de los 0 a 30 DDS. En este periodo, “La Palma” y “Hav-14” presentaron la \overline{TCA} más alta ($0.132 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ y $0.124 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$, respectivamente), seguidos de “Strike” ($0.111 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$), “Oaxaqueño” ($0.091 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$), “Japonés” ($0.082 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) y “Black Valentine” (0.057 g día^{-1}). De los 30 a los 60 DDS se observó la \overline{TCA} más alta ($0.232 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$), donde “Hav-14” de crecimiento indeterminado presentó la \overline{TCA} más alta ($0.451 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) y la más baja ($0.46 \text{ g día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) correspondió a “Strike”. En el periodo de los 60 a los 90 DDS, se presentó una reducción de 56 % en la \overline{TCA} con respecto a los 30 a 60 DDS (0.232 g día^{-1}

planta⁻¹). Entre cultivares se mantuvo una tendencia similar al segundo periodo, correspondiendo la \overline{TCA} más alta a “Hav-14” (0.40 g día⁻¹ planta⁻¹) y la más baja (0.036 g día⁻¹ planta⁻¹) a “Strike” (Figura 2). Las diferencias en \overline{TCA} , se relacionan con la duración de la fenología por hábitos de crecimiento, ya que los cultivares de hábito determinado de los 0 a los 30 DDS se encontraban a inicio de prefloración que es la etapa en la cual presentaron su mayor \overline{TCA} (0.11 g día⁻¹ planta⁻¹). Sin embargo, a medida que se desarrolló el cultivo (segundo y tercer muestreo), dichos cultivares entraron a senescencia foliar, lo que originó reducción en la acumulación de materia seca. En contraste, los cultivares de hábito indeterminado presentaron en promedio 127 días de siembra a último corte, desarrollándose un retraso en las etapas vegetativa de V1 a V4, lo cual originó que la mayor \overline{TCA} se encontrara hasta el periodo de 60 días (0.35 g día⁻¹ planta⁻¹). Ascencio y Sgambatti (2005) encontraron en los cultivares “Coche”, “Cubagua” y “Tacarigua”, una tendencia similar con relación a la \overline{TCA} a los 53, 58 y 58 DDS, respectivamente.

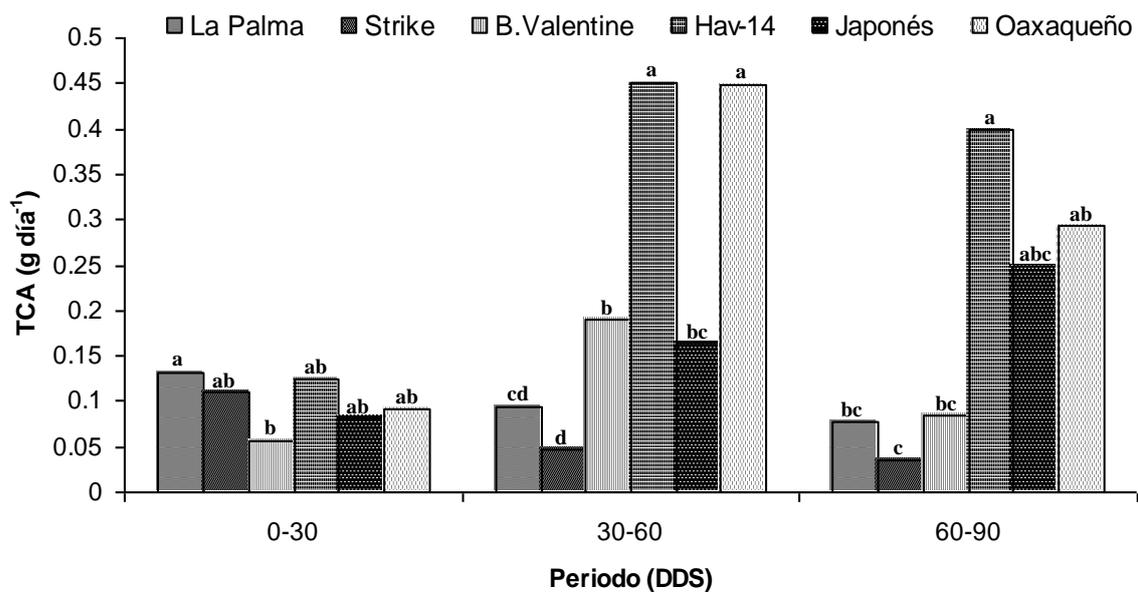


Figura 2. Tasa media de crecimiento absoluto (\overline{TCA}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas en cada periodo Tukey ($\alpha=0.05$).

En la figura 3 se puede observar que la tasa media de crecimiento relativo (\overline{TCR}) de los cultivares evaluados decreció con la edad del cultivo. La \overline{TCR} más alta ($0.078 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), se encontró al inicio del desarrollo del cultivo (0 a 30 DDS) y la más baja ($0.013 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) al final del desarrollo (60 a 90 DDS). Por otra parte, de los 0 a los 30 DDS, el cultivar “La Palma” fue el que mostró la \overline{TCR} más alta ($0.098 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), seguido de “Strike” ($0.086 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), “Hav-14” ($0.81 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), “Oaxaqueño” ($0.079 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), “Japonés” ($0.067 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y “B. Valentine” ($0.061 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), respectivamente. De los 30 a los 60 DDS, “Oaxaqueño” y “Hav-14” de hábito indeterminado, presentaron la \overline{TCR} más alta con 0.058 y $0.051 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ respectivamente, y la más baja correspondió a “Strike” ($0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), esto indica que los cultivares de hábito indeterminado presentan una \overline{TCR} más alta en este periodo. De los 60 a los 90 DDS la \overline{TCR} mostró, una tendencia similar, ya que los cultivares de hábito indeterminado presentaron la \overline{TCR} más alta, que en “Japonés” y “Hav-14” fue de 0.026 y $0.016 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. La acumulación de la materia seca en la \overline{TCR} presentó una tendencia descendente, debido probablemente a que en el primer muestreo realizado a los 30 DDS, los cultivares se encontraban en la fase vegetativa, que es cuando la planta presentan crecimiento rápido, debido a la presencia de hojas verdes, lo que condujo a una mayor producción de fotosintatos, sin embargo, conforme pasó el tiempo se manifestó senescencia foliar de los estratos más bajos de la planta, lo que originó la caída de las hojas más viejas y la reducción en la acumulación de materia seca. Los resultados observados en esta investigación coinciden con los encontrados por Rodrigues *et al.* (2005), en seis cultivares de frijol para grano, donde la mayor \overline{TCR} ($0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) se encontró a los 26 DDS y el valor más bajo ($0.005 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a los 61 días.

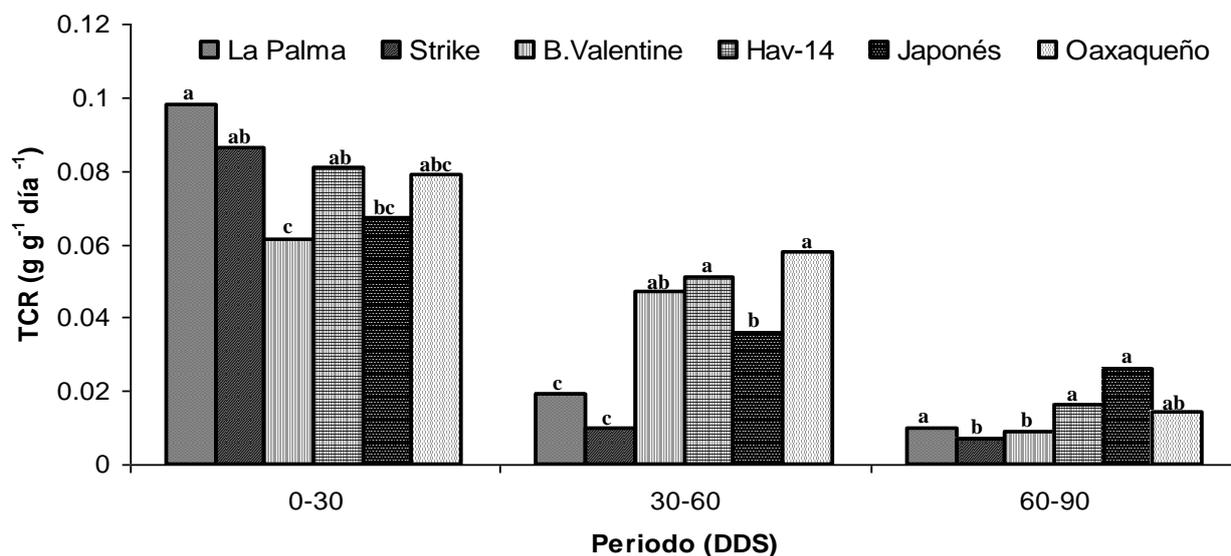


Figura 3. Tasa media de crecimiento relativo (\overline{TCR}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008.

Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas en cada periodo Tukey ($\alpha=0.05$).

La tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) más alta se observó de los 30 a los 60 DDS, con $0.00031 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y la \overline{TAN} más baja ($0.00011 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se encontró de los 60 a los 90 DDS (Figura 4). De los 30 a los 60 días, “Black Valentine” presentó mayor eficiencia fotosintética ($0.00047 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) y “Strike” la más baja ($0.00010 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$). De los 60 a los 90 DDS, no se encontraron diferencias estadísticas en la \overline{TAN} , debido a la senescencia foliar, lo que posiblemente pudo haber originado disminución en la fotosíntesis e incremento en la respiración. La \overline{TAN} presentó su máxima acumulación ($0.00031 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) de los 30 a 60 días debido a que en esta etapa el cultivo presentó el mayor número de hojas verdes y área foliar (21 hojas y 18 dm^2 , respectivamente), sin embargo, de 60 a los 90 DDS el número de hojas verdes y área foliar se redujo a 14 hojas y 14 dm^2 , respectivamente, reflejándose en una \overline{TAN} más baja ($0.00011 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

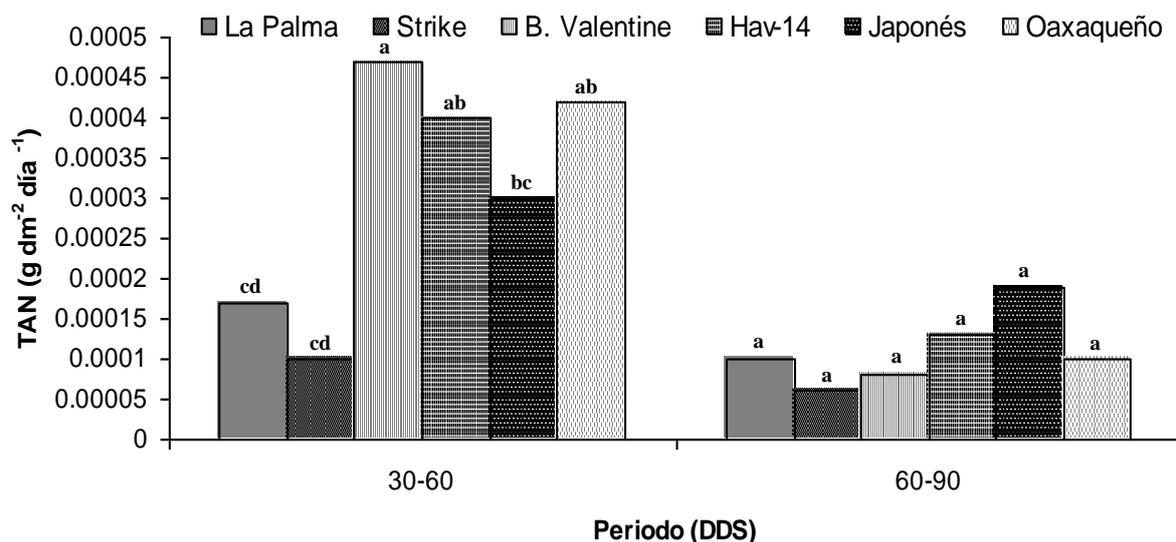


Figura 4. Tasa media de asimilación neta (\overline{TAN}) durante el desarrollo de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticas en cada periodo Tukey ($\alpha=0.05$).

Biomasa y su distribución

En los cultivares estudiados la producción promedio de biomasa se incrementó conforme ocurrió el desarrollo del cultivo. A los 30 DDS, el cultivar “La Palma”, de hábito determinado, presentó los valores más altos (24.8 g m^{-2}), seguido de “Hav-14” (23.5 g m^{-2}), “Strike” (21.0 g m^{-2}), “Oaxaqueño” (17.2 g m^{-2}), “Japonés” (15.5 g m^{-2}) y “Black Valentine” (10.81 g m^{-2}). En promedio del total de la biomasa, el 38 % se acumuló en el tallos y el 62 % en hojas. A los 60 DDS los cultivares de hábito indeterminado (“Hav-14” y “Oaxaqueño”) presentaron la mayor acumulación de biomasa con 108.3 y 101.5 g m^{-2} respectivamente y la más baja con los de hábito determinado como “La Palma”, “Strike” y “B. Valentine”, con 38.1 , 29.6 y 46.5 g m^{-2} , respectivamente. La distribución de la biomasa a los 60 DDS fue de la manera siguiente: 40 % en el tallo y 60 % en la hoja. A los 90 DDS “Hav-14” y “Oaxaqueño” mostraron la mayor biomasa total con 299 y 244 g m^{-2} respectivamente, y “Strike” la más baja (79 g m^{-2}). La biomasa a los 90 DDS, se distribuyó en los cultivares de hábito determinado de la manera siguiente: 21 % en hoja, 21 % tallo y

58 % en vaina, en promedio. En contraste, con los de hábito indeterminado, los de hábito determinado presentaron una distribución más homogénea ya que en el tallo se alojó el 30 %, en la hoja 32 % y en la vaina 38 % (Cuadro 1). La producción de biomasa total se relacionó con la duración del ciclo del cultivo y la precipitación acumulada. Por lo que la mayor acumulación de biomasa (245 g m^{-2}) se encontró en el cultivar “Oaxaqueño” el cual presentó el ciclo más largo (157 días) y acumuló 432 mm de precipitación, comparado con el cultivar “Strike” el cual presentó la biomasa más baja (79 g m^{-2}) así, como el menor ciclo (84 días) y menor precipitación acumulada (230 mm). Estos datos sugieren que la producción de biomasa está determinada en parte por el hábito de crecimiento y por la precipitación acumulada.

Cuadro 1. Biomasa y su distribución en la planta (g m^{-2}) en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo, Méx. Verano 2008.

Distribución de la biomasa (g m^{-2})	Periodo de 0 a 30 DDS							
	Cultivares							
	La Palma	Strike	B.Valentine	Hav-14	Japonés	Oaxaqueño	Prom	DMS
Tallo	9.4 a	8.5 ab	4.3 b	10.2 a	6.0 ab	5.7 ab	7.3	0.7
Hoja	15.3 a	12.4 a	6.5 a	13.1 a	9.4 a	11.4 a	11.4	1.4
Total	24.8 a	21.0 ab	10.8 b	23.5 ab	15.5 ab	17.2 ab	18.8	2.0
	Periodo de 30 a 60 DDS							
Tallo	15.0 b	11.2 b	19.0 b	41.7 a	19.8 b	36.1 a	23.8	1.5
Hoja	23.0 b	18.3 b	27.3 b	65.3 a	26.5 b	65.3 a	37.8	2.6
Total	38.1 b	29.6 b	46.5 b	108.3 a	46.4 b	101.5 a	61.7	3.1
	Periodo de 60 a 90 DDS							
Tallo	21.7 c	19.9 c	29.7 c	82.4 a	51.0 b	74.1 a	46.1	2.9
Hoja	25.9 b	17.5 b	32.0 b	101.0 a	48.8 b	82.3 a	51.2	5.3
Ejote	89.6 ab	43.8 b	70.8 ab	115.8 a	60.4 b	87.9 ab	78.0	8.4
Total	137.3 bc	79.3 c	132.5 bc	299.3 a	160.3 b	244.5 a	175.5	10.7

Medias con la misma letra dentro de hileras son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$). Prom = Promedio; DMS = Diferencia mínima significativa.

Índice de cosecha

En la figura 5 se observa que a los 90 DDS el índice de cosecha (IC) presentó diferencias estadísticas entre cultivares, siendo los de hábito de crecimiento determinado los que presentaron el IC más alto (58 %) y el más bajo (37 %) los de hábito indeterminado. El cultivar “La Palma” mostró el IC más alto (65 %), seguido de “Strike” (55 %), “Black

Valentine” (54 %), “Hav-14” (39 %), “Japonés” (35 %) y “Oaxaqueño” (36 %), que fue el menos eficiente en la acumulación de materia seca en las vainas (Figura 5). Las diferencias en el índice de cosecha indican que los cultivares de crecimiento determinado, no obstante que presentan en promedio la menor acumulación de biomasa (116 g m^{-2}), muestran mayor translocación de materia seca desde las hojas y tallo al órgano de interés agronómico (ejote) e incrementan de esta forma su índice de cosecha. En contraste con los de crecimiento indeterminado, por su ciclo más largo (127 días) y la acumulación de biomasa más alta (211 g m^{-2}). Sin embargo, debido a que estos cultivares continúan produciendo órganos vegetativos después de la floración, se presenta una competencia de los fotosintatos entre órganos reproductivos como el ejote y vegetativo, por lo que su IC es más bajo (37 %).

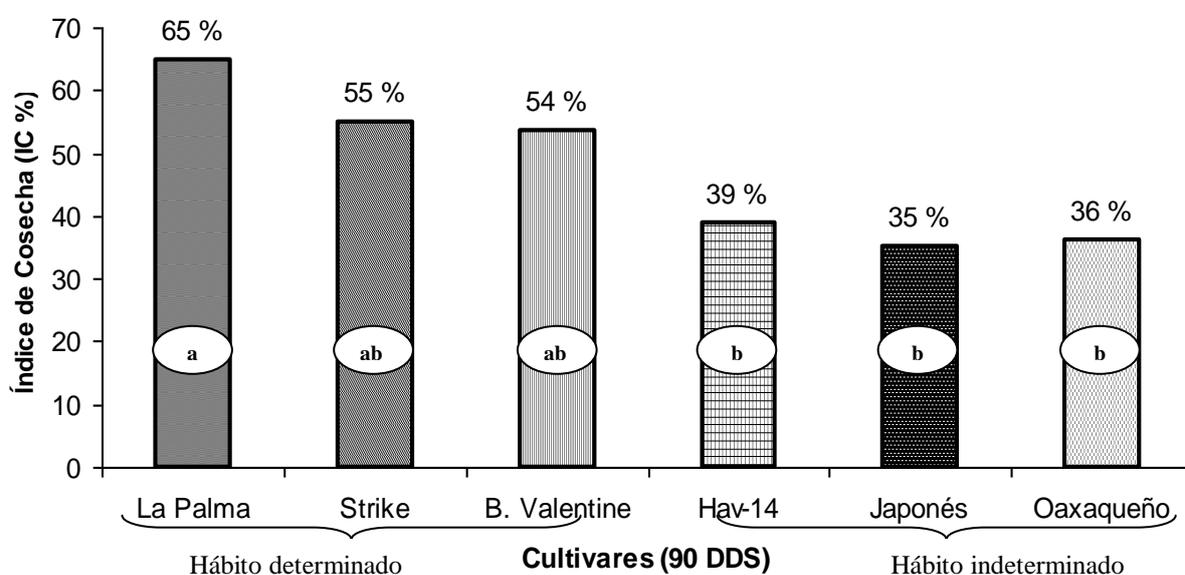


Figura 5. Índice de cosecha, en cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Motecillo, México. Verano 2008. Datos a los 90 DDS.

Letras diferentes en cada barra indican diferencias estadísticas Tukey ($\alpha=0.05$).

Dinámica del rendimiento de ejote

El rendimiento de ejote (peso fresco) mostró diferencias estadísticas entre cultivares. Con “Hav-14” y “La Palma” se lograron los rendimientos más altos (1.37 y 1.17 kg m^{-2}), seguidos de “Oaxaqueño” (1.04 kg m^{-2}), “B.Valentine” (0.87 kg m^{-2}), “Japonés” (0.53 kg m^{-2}).

²) y “Strike” (0.48 kg m⁻²), respectivamente. Respecto al rendimiento total acumulado durante los siete cortes realizados en cada uno de los cultivares, se encontró que los dos primeros proporcionaron en promedio más del 44 % del rendimiento total, en contraste con la suma de los dos últimos, en los cuales se presentó un rendimiento inferior al 20 %. Por otra parte, el cultivar “Black Valentine” fue el único que mantuvo un rendimiento constante de 15 % durante los siete cortes (Cuadro 2). Los resultados observados en este estudio, permitirán al productor programar sus dos primeros cortes de ejote, con la finalidad de que coincidan con el precio más alto en el mercado y se obtenga así el mayor ingreso por unidad de superficie.

Cuadro 2. Dinámica de rendimiento de ejote por corte y rendimiento total (kg m⁻²) en función del cultivar. Montecillo, Méx. Verano 2008 (datos promedio de cuatro repeticiones).

Cultivares	Rendimiento total (kg m ⁻²)	Rendimiento por corte (kg m ⁻²)						
		1	2	3	4	5	6	7
La Palma	1.17 a	0.269 ab	0.318 ab	0.157 ab	0.174 a	0.110 a	0.117 a	SC
Strike	0.48 c	0.114 b	0.062 c	0.094 ab	0.077 ab	0.070 a	0.028 b	0.038 a
B.Valentine	0.87 abc	0.161 ab	0.139 bc	0.187 ab	0.070 b	0.122 a	0.133 a	0.066 a
Hav-14	1.37 a	0.344 ab	0.371 a	0.241 a	0.140 ab	0.142 a	0.065 ab	0.071 a
Japonés	0.53 bc	0.139 b	0.063 c	0.051 b	0.054 b	0.083 a	0.097 ab	0.031 a
Oaxaqueño	1.04 ab	0.382 a	0.177 bc	0.149 ab	0.140 ab	0.072 a	0.078 ab	0.046 a
Prom. HD	0.84 a	0.181 b	0.173 a	0.146 a	0.107 a	0.101 a	0.093 a	0.058 a
Prom. HI	0.98 a	0.288 a	0.204 a	0.147 a	0.111 a	0.099 a	0.080 a	0.038 a
Prom. Gral	0.91	0.234	0.188	0.146	0.109	0.100	0.086	0.042
Prob. F. C	*(87.13)	*(37.99)	*(26.99)	*(28.68)	*(15.59)	*(13.75)	*(13.38)	*(9.55)
Prob. F. H	*(33.00)	*(14.39)	*(11.05)	*(10.86)	*(5.90)	*(5.20)	*(5.06)	*(9.6)
CV	25.91	43.04	42.00	53.01	38.63	37.09	41.80	39.53

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$). Prom. HD = Promedio de cultivares de hábito determinado; Prom. HI = Promedio de cultivares de hábito indeterminado; Prom. Gral = Promedio general; Prob. F. C = Probabilidad de F por cultivares; Prob. F. H = Probabilidad de F por hábito; Cifras entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación; SC = Sin corte.

Calidad nutrimental

Los resultados presentados en el cuadro 3, muestran que de forma general el frijol de crecimiento indeterminado presentó los valores más altos de ceniza (8.9 %), fósforo (0.080

%), FDA (22.0 %), lignina (0.24 %), FDN (31.2 %), hemicelulosa (9.1 %), proteína (21.6 %) y grasa (1.8 %). El frijol de crecimiento determinado sólo presentó los valores más altos en carbohidratos solubles (44.5 %). El cultivar “Oaxaqueño”, de hábito de crecimiento indeterminado, este mostró los contenidos más altos en ceniza (9.7 %), fósforo (0.089 %), FDA (23.0 %), FDN (34.2 %), hemicelulosa (11.16 %) y proteína (23.1 %) y los más bajos (7.9 %, 0.069, 22.4 %, 30.7 %, 8.3 y 18.0 %, respectivamente) correspondieron a “Strike”, de hábito determinado. Las diferencias en la calidad nutrimental del ejote se relacionaron con la duración de las etapas fenológicas, precipitación acumulada y producción de biomasa, así, el cultivar “Oaxaqueño” de hábito indeterminado mostró el ciclo más largo (157 días) y mayor precipitación acumulada (432 mm) y en consecuencia mayor producción de materia seca (244 g m^{-2}) que posteriormente, parte de ésta se translocó al ejote. En contraste, “Strike” por presentar 78 días de siembra a último corte, contó con menor precipitación y biomasa acumulada (230 mm y 79.3 g m^{-2} , respectivamente) y presentó la calidad nutrimental más baja. Con relación al contenido de fibra (FDA y FDN) se observó que los cultivares de hábito indeterminado mostraron los valores más altos (22 % y 31.2 %, respectivamente) debido probablemente a que estuvieron sujetos a un periodo de estrés hídrico más severo (Figura 5) de floración a corte del ejote, lo que originó el incremento en carbohidratos estructurales, resultados similares son reportados por Yvestilly (2002). Esto indica que la calidad nutrimental del ejote está determinada en parte por el cultivar, la acumulación de biomasa y la distribución de la precipitación.

Cuadro 3. Análisis químico de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 2008.

Cultivares	Nutrimento									
	Cenizas	Calcio	Fósforo	CS	FDA	Lignina	FDN	Hemicel	Proteína	Grasa
La Palma	8.3 cd	1.2 b	0.067 d	44.9 ab	19.2 b	0.11 c	25.4 d	6.1 bc	19.8 c	1.5 c
Strike	7.9 d	1.2 b	0.069 cd	42.8 bc	22.4 a	0.30 a	30.7 b	8.3 ab	18.0 d	0.5 e
B.Valentine	9.1 ab	1.4 a	0.052 e	45.8 a	18.9 b	0.08 d	23.1 e	4.2 c	20.7 b	1.2 d
Hav-14	8.8 bc	1.5 a	0.072 c	35.7 d	24.3 a	0.32 a	31.5 b	7.1 bc	22.3 a	1.7 b
Japonés	8.4 cd	1.1 c	0.080 b	41.9 c	18.7 b	0.19 b	28.0 c	9.1 ab	19.6 c	2.1 a
Oaxaqueño	9.7 a	1.2 b	0.089 a	31.2 e	23.0 a	0.20 b	34.2 a	11.1 a	23.1 a	1.8 b
Prom. HD	8.4 b	1.2 a	0.063 b	44.5 a	20.2 b	0.17 b	26.4 b	6.2 b	19.4 b	1.0 b
Prom. HI	8.9 a	1.2 a	0.080 a	36.3 b	22.0 a	0.24 a	31.2 a	9.1 a	21.6 a	1.8 a
Prom. Gral	8.7	1.24 a	0.71	40.4	21.1	0.20	28.8	7.7	20.5	1.46
Prob. F. C	** (0.63)	** (0.10)	** (0.05)	** (2.50)	** (1.43)	** (0.02)	** (2.00)	** (3.06)	** (0.75)	** (0.10)
“ ”. H	** (0.23)	** (0.039)	** (0.03)	** (0.92)	** (0.53)	** (0.09)	** (0.74)	** (1.13)	** (0.27)	** (0.10)
CV	2.58	1.26	2.56	2.18	2.39	4.30	2.45	1.40	1.29	2.47

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$). CS = Carbohidratos solubles; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutro; Hemicel = Hemicelulosa; Prom. HD = Promedio de cultivares de hábito determinado; Prom. HI = Promedio de cultivares de hábito indeterminado; Prom. Gral = Promedio general; Cifras entre paréntesis = Representa la diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Los datos obtenidos del análisis proximal se expresan en %.

CONCLUSIONES

La duración de las etapas fenológicas en cada cultivar están relacionadas con el hábito de crecimiento y con la precipitación acumulada durante su ciclo biológico. La mayor producción de biomasa estimada a través de \overline{TCA} , \overline{TCR} y \overline{TAN} , se relaciona con el rendimiento y calidad nutrimental más alta en los cultivares de hábito indeterminado. Además, de que existe una relación inversa entre la producción de biomasa total y el índice de cosecha, ya que a mayor producción de biomasa menor índice de cosecha.

LITERATURA CITADA

- Acosta D E, G J A Acosta, R M D Amador, R J S Padilla (2009)** Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. *Agricultura Técnica en México*. 35(2): 157-167.
- Allende A G, L M M Rivera, S R Rosales, G M G Acero, P Makek (2006)** Calidad bioquímica del frijol cultivado en distintas condiciones de humedad del suelo. *Investigación y Ciencia*. 14(34): 12-18.
- Ascencio J, L Sgambatti (2005)** Análisis de crecimiento en tres cultivares de caraotas venezolanas (*Phaseolus vulgaris* L. cv “Coche”, cv “Cubagua”, cv “Tacarigua”) en condiciones de campo. *Agronomía Tropical*. 25(2): 125-147.
- Escalante J A, L E Escalante, M T Rodríguez (2001)** Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. *Terra*. 19:309-315.
- Escalante E J A, J S Kohashi (1993)** El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. México. 84 p.
- Esquivel G, A J Gallegos, R Serna, P Herrera, M J Casillas, R Maya, S J Martínez (2006)** Productividad y adaptación de frijol ejotero en el valle de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12:109-116.
- García E L (2005)** Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. D.F, México. 217 p.
- Lefebvre A C, J Y Thébaudin (2002)** Fibras extraídas de las hortalizas. In tecnología de las hortalizas. Y Tirilly, C Bourgeois (eds) Acribia, Zaragoza, España. pp: 459-481.

- Morales R E J, E J A S Escalante, S J A López (2008)** Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.) Universidad y Ciencia. 24(1): 1-10.
- Omae H, A Kumar, K Kashiwaba, M Shono (2007)** Influence of temperature shift alter flowering on dry matter partitioning in two cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L) that differ in heat tolerance. Plant Prod. Sci. 10(1):14-19.
- Rosales R, P Ramírez, J A Acosta, F Castillo, D Kelly (2000)** Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. Agrociencia. 34:153-165.
- Rodrigues E, A Silva, A Paulo, M Grandi (2005)** Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. Brazilian Journal of Physiology. 17(3):273-281.
- Salinas N, E J A Escalante, M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3):235-241.
- SAS Statistical Analysis System Institute (2002)** SAS Proceeding Guide, Version 9.0. SAS Institute.Cary, NC. USA.
- Scully T, H Wallace (1990)** Variation in and relationship of biomass, grow rate, harvest index, and phenology to yield of common bean. Amer. Soc. for Hort. Sci. 115:218-225.
- SIAP Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2010)** Producción agrícola de cultivos cíclicos y perenes. www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1.
- SOSA E (1979)** Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.

Yvestirilly M B Y (2002) Tecnología de hortalizas. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España.

591 p.

CAPÍTULO IV
FENOLOGÍA, RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FRIJOL
EJOTERO BIOFERTILIZANTE

CAPÍTULO IV

FENOLOGÍA, RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FRIJOL

EJOTERO BIOFERTILIZANTE

Nicolás Salinas Ramírez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

La biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero dependen de un apropiado suministro de nitrógeno (N), sin embargo, su uso excesivo origina contaminación al ambiente, una estrategia para optimizarlo es la combinación de biofertilizantes con nitrógeno mineral, para satisfacer la demanda del cultivo. El objetivo del presente estudio fue determinar la mejor combinación de fertilizante y biofertilizante que incremente la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero. La siembra del cultivar “Hav-14” se realizó el 26 de mayo del 2009 bajo régimen de lluvia estacional, en San Pablo Ixayoc, Edo. Méx. El diseño experimental fue de bloques al azar. Con los siguientes tratamientos: 1) 0, 100 y 200 kg de N ha⁻¹ 2) biofertilizante (mezcla de *Rhizobium etli* con *Glomus intraradices*) y 3) la combinación de N más biofertilizante. Las variables evaluadas fueron: fenología, rendimiento (g m⁻²) y número de ejotes m⁻², producción de biomasa (g m⁻²) e índice de cosecha (IC, %). Se registraron, las temperaturas máxima y mínima (° C) y precipitación (mm). Se calcularon la evapotranspiración (ETc, mm) y las Unidades Calor (UC, °C). El frijol ejotero “Hav-14” no mostró diferencias en su fenología por efecto del biofertilizante y del fertilizante. La temperatura máxima (24 °C), mínima (10 °C) y precipitación de 273 mm, tuvieron una ligera variación durante el crecimiento del cultivo lo que probablemente originó que el cultivar mostrara similar fenología. Con el tratamiento biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹ se presentaron los valores más altos en rendimiento, número de ejotes y porcentaje de proteína (2131 g m⁻², 486 ejotes m² y 22 %) y los más bajos (983 g m⁻², 278 ejotes m² y 20.5 %, respectivamente) con el testigo, una

tendencia similar sin fertilización, se observó en la producción de biomasa total, encontrando los mayores valores (649 g m^{-2}) con biofertilizante + $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y los menores (150 g m^{-2}) con el testigo (sin fertilizante). Sin embargo, el IC más alto (46 %) se encontró con el tratamiento con biofertilizante + $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

Palabras clave: *Glomus intraradices*, *Phaseolus vulgaris* L., *Rhizobium etli*

**PHENOLOGY, YIELD AND NUTRITIONAL QUALITY OF SNAP BEAN AS A
FUNCTION OF ITS BIOFERTILIZATION**

**Nicolás Salinas Ramírez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010**

SUMMARY

Biomass, yield and nutritional quality of snap bean depend on a proper supply of nitrogen (N), however, their excessive use causes environmental pollution to the environment, a strategy to optimize the combination of biofertilizers with mineral nitrogen, to meet crop demand. The aim of this study was to determine the best combination of biofertilizer and mineral nitrogen to increase biomass production, yield and nutritional quality of snap bean. The cultivar "Hav-14" sowing was held on May 26, 2009 under a seasonal rainfall regime in San Pablo Ixayoc, State of Mexico. The experimental design was randomized blocks, that had the following treatments: 1) 0, 100 and 200 kg of N ha⁻¹ 2) biofertilizer (Rhizobium etli mixture with Glomus intraradices) and 3) a combination of N plus biofertilizer. The variables evaluated were: phenology, yield (g m⁻²) and number of snap beans m⁻², biomass production (g m⁻²) and harvest index (HI, %). The maximum and minimum temperatures (°C) and precipitation (mm) were recorded and evapotranspiration (ET_c, mm) and heat units (UC, °C) were calculated. The snap bean "Hav-14" showed no differences in phenology, caused by biofertilizer and fertilizer. Maximum and minimum temperature (24 and 10 °C) and precipitation (273 mm), showed a slight variation during the crop growth which probably caused the cultivar to show similar phenology. The biofertilizer + 200 kg N ha⁻¹ treatment produced the highest yield, number of beans and percentage of protein (2131 g m⁻², 486 snap beans m² and 22 %) whit the low values (983 g m⁻², 278 snap beans m² and 20.5 %, respectively) were observed with the control (treatment without fertilizer). A similar trend was observed with total biomass production, the highest values (649 g m⁻²) were observed with biofertilizer + 200 kg N ha⁻¹ and the lowest (150 g m⁻²) with the control,

without fertilizer. However, the highest HI (46 %) was observed with the treatment with biofertilizer + 100 kg N.

key words: *Glomus intraradices*, *Phaseolus vulgaris* L., *Rhizobium etli*.

INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es una hortaliza de importancia mundial ya que se cultiva en países como: China, India, Indonesia, Turquía, Italia, Tailandia, Egipto, España, Estados Unidos, Canadá y México (Adsule *et al.*, 2004). En México la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental de la vaina de este cultivo se ven limitados por la fertilidad del suelo donde se siembra, por lo que surge la necesidad de implementar algunas prácticas agronómicas como la aplicación de fertilizante y biofertilizante para incrementar la producción de biomasa, el rendimiento y calidad nutrimental en la vaina. Antecedentes al respecto mencionan que un bajo contenido de nitrógeno (N) en el suelo (45 kg ha^{-1}), afecta la velocidad de crecimiento y ocasiona clorosis en hojas de frijol (Singh *et al.*, 2003). Por otra parte, Phillips *et al.* (2002) encontraron que con la aplicación de $67 \text{ kg de N ha}^{-1}$, se obtiene el mayor rendimiento de ejote fresco (6.3 t ha^{-1}); mientras que el testigo (sin aplicación de N) sólo presenta 3.8 t ha^{-1} . Castellanos *et al.* (1998) encontraron que con $80 \text{ kg de nitrógeno ha}^{-1}$, aumentó la biomasa total del frijol en 630 kg ha^{-1} y con $4 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en la paja. Pick y Mac Donald (1984) evaluaron el contenido de N en vaina de frijol ejotero a 0, 40, 80 y 120 kg N ha^{-1} y observaron que el mayor contenido de N (19.5 g m^{-2}) se encontró con $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y el más bajo (15.7 g m^{-2}) correspondió al testigo (sin aplicación). Estos antecedentes muestran que el frijol responde positivamente a la fertilización con N y dicha respuesta estará en función de la disponibilidad del N del suelo. Además, se debe tomar en cuenta que el N es un fertilizante con alta solubilidad y movilidad en el suelo (Pichardo *et al.*, 2007), ya que de la cantidad aplicada, el 50 % es aprovechada por el cultivo y el resto se pierde por lixiviación, o se vierte a la atmósfera en forma de óxidos de nitrógeno (Grageda *et al.*, 2003). Para reducir esta pérdida, una alternativa sería buscar dosis de fertilizante, que combinadas con biofertilizantes como *Rhizobium etli* complementen el requerimiento de N del frijol ejotero. Estudios realizados por Tirado *et al.*

(1990) en soya indican que la aplicación de N estimula el crecimiento de la parte vegetativa, mientras que la fijación de nitrógeno atmosférico incrementa el crecimiento de la raíz, por lo que al combinarse éstos, puede lograrse en consecuencia mayor incremento en el rendimiento y en la calidad nutrimental del ejote. Singer *et al.* (2000) encontraron que con la aplicación de *Rhizobium* + 90 kg de N, el frijol ejotero presenta mayor altura de planta, número de hojas, número de ramas, peso fresco y peso seco de la biomasa. Daba y Haile (2000) observaron que con la combinación de *Rhizobium* + 23 kg de N, el rendimiento de grano del frijol aumentó en 3 t ha⁻¹. Irizar *et al.* (2003) observaron que el frijol “Flor de mayo”, con aplicación de *Rhizobium etli* + *Glomus intraradices*, presentó el rendimiento en grano más alto (830 kg ha⁻¹) y el más bajo (650 kg ha⁻¹) fue con el testigo. Además, Grageda *et al.* (2003) encontraron en frijol para grano que la mayor fijación de N ocurrió al inicio del desarrollo reproductivo (70 a 77 días después de la siembra). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de N y biofertilizante (*Rhizobium etli* y *Glomus intraradices*) sobre la fenología, la producción de biomasa, su distribución en los órganos de la planta, el rendimiento y la calidad nutrimental del frijol ejotero “Hav-14”.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en San Pablo Ixayoc (19° 33' N, 98° 47' O, a 2600 m de altitud), con clima C (W0) (w), templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.7 °C y 609 mm de precipitación (García, 2005), en un suelo franco arcillo-arenoso, pH 6.3, N total 0.04 %, fósforo 10.8 mg kg⁻¹, potasio 0.26 cmol kg⁻¹ y 0.6 % de materia orgánica. Los tratamientos consistieron en aplicar: 1) 0, 100 y 200 kg ha⁻¹ de N mineral usando como fuente urea, con y sin biofertilizante (mezcla de *Rhizobium etli* con *Glomus intraradices*), lo que generó varias combinaciones de tratamientos. La aplicación de N se realizó en dos ocasiones, la primera al momento de la siembra (50 %) y la segunda (50 %) en la primera escarda. La inoculación con biofertilizante se realizó de la siguiente manera: se mezclaron 2 kg de semilla con adherente (0.013 kg de carboximetilcelulosa disuelto en 0.150 L de agua) y se dejó reposar por dos horas, posteriormente se aplicaron 0.038 kg de Rhizo Fer (*Rhizobium etli*, 500 millones g⁻¹) y 0.100 kg de Micorriza Fer (*Glomus intraradices*, 3000 esporas kg⁻¹), se dejó reposar por 12 horas a la sombra y finalmente se sembró. El cultivar utilizado fue “Hav-14” de hábito de crecimiento indeterminado, la siembra se realizó el 26 de mayo de 2009, a una densidad de 6.25 plantas m⁻², bajo un diseño experimental de bloques al azar. Dentro de los parámetros ambientales se registró la precipitación (mm) y las temperaturas máxima y mínima (°C), promedio semanal durante el ciclo del cultivo. Se calcularon las unidades calor (UC, °C) acumuladas (Snyder, 1985) y la evapotranspiración del cultivo (ETc, mm) (Doorenbos y Pruitt, 1986). Además, se registró la fenología: etapas vegetativas (V-1 = Emergencia, V-2 = Primer par de hojas primarias, V-3 = Primer par de hojas trifolioladas y V-4 = Tercer par de hojas trifolioladas) y etapas reproductivas (R-5 = Prefloración, R-6 = Floración y F-7 = Formación de vainas) siguiendo los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993); se realizaron 10 cortes de ejote con intervalos de tres días, bajo el criterio de una longitud de vaina mayor a 10 cm,

registrándose el peso fresco (g m^{-2}), número y longitud de los ejotes (cm). La acumulación de biomasa (g m^{-2}) y su distribución en hoja, tallo y vaina se realizó a través de un muestreo destructivo a los 90 días después de siembra (DDS), tomando tres plantas en cada unidad experimental (diferentes a las utilizadas para determinar el rendimiento en vaina fresca). La calidad nutrimental del ejote se determinó mediante un análisis químico proximal, el porcentaje de calcio y fósforo se determinó siguiendo la metodología en Sosa (1979) y el porcentaje de humedad de las muestras se determinó colocando a los ejotes en una estufa de aire forzado (Modelo 28, THELCO) a 55 °C, hasta obtener un peso constante. Además, se calculó el índice de cosecha (IC, %) que es la acumulación de materia seca en el órgano de interés agronómico respecto a la total (Escalante y Kohashi, 1993). A las variables en estudio se les realizó un análisis de varianza y a los tratamientos con diferencias significativas se les aplicó una prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05), con el paquete estadístico SAS para computadora personal (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de la fenología con la temperatura y la precipitación

En la figura 1, se puede observar que la fenología del frijol ejotero “Hav-14” fue similar entre tratamientos. Tendencias similares fueron reportadas por Castellanos *et al.* (1998) en frijol para grano, con una duración del ciclo del cultivo de 107 días, distribuidos de la siguiente manera: de siembra a emergencia ocho días; de emergencia a tercera hoja trifoliolada (V1 a V4) 36 días; de prefloración a formación de vaina (R5 a R7) 41 días y del primero al décimo corte 30 días. Por otra parte, las temperaturas máxima y mínima, mostraron una ligera variación durante el crecimiento del cultivo lo que probablemente fue causa, entre otras, de una ocurrencia similar en las etapas fenológicas, como también reportó Salinas *et al.* (2008) para el frijol “Hav-14”.

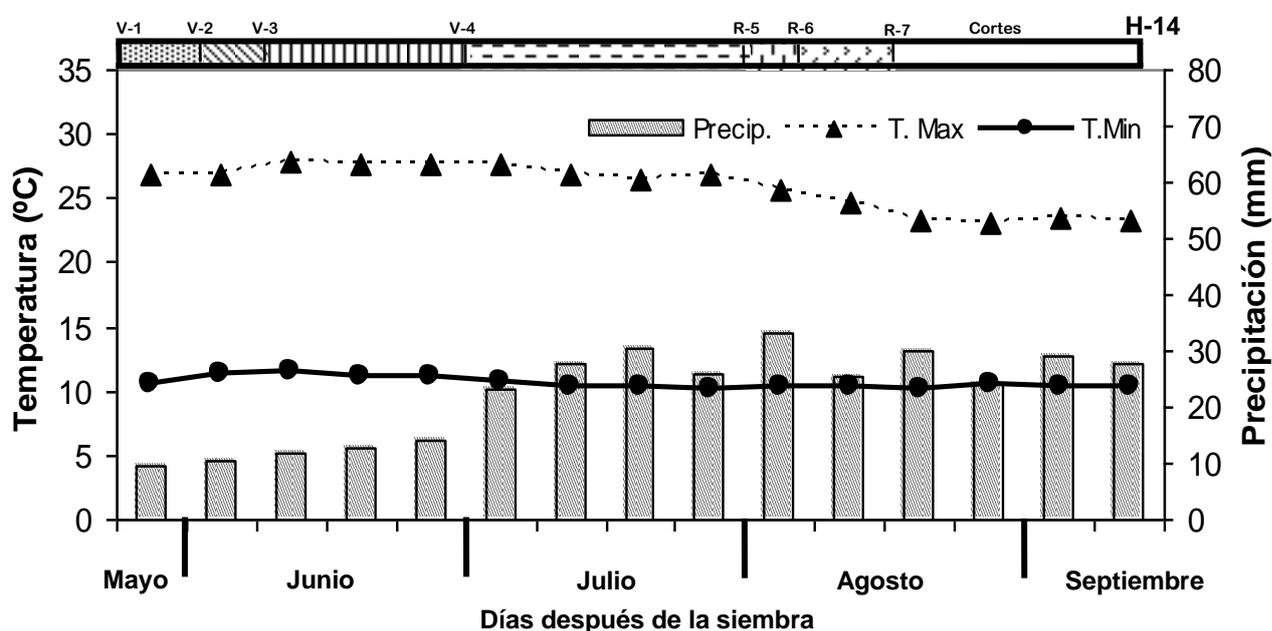


Figura 1. Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar “Hav-14”, media semanal de las temperaturas máxima y mínima y suma semanal de la precipitación. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.

Etapas fenológicas del frijol ejotero: V-1 = Emergencia; V-2 = Hojas primarias; V-3 = Primera hoja trifoliolada; V-4 = Tercera hoja trifoliolada; R-5 = Prefloración; R-6 = Floración; R-7 = Formación de vainas.

Rendimiento, número y longitud del ejote

En el cuadro 1, se observa que la aplicación de biofertilizante incrementó el rendimiento y número de ejotes en 20 y 8.5 %, respectivamente comparado con el testigo. Tendencias similares se observaron con la aplicación de N, ya que los valores más altos (1876 g m⁻² y 467 ejotes m⁻²) se obtuvieron con 200 kg ha⁻¹, seguido de 100 kg de N (1603 g m⁻² y 387 ejotes m⁻²) y los más bajos (1026 g m⁻² y 299 ejotes m⁻²) con 0 kg de N. La longitud del ejote no presentó diferencias por efecto del N, y en promedio fue de 10.5 cm. Por otra parte, las unidades calor acumuladas (758 °C), la precipitación (273 mm) y la evapotranspiración del cultivo (161 mm) fueron similares entre tratamientos debido a que la duración del ciclo de cultivo de “Hav-14” no mostró diferencias por efecto del fertilizante.

Cuadro 1. Rendimiento del frijol ejotero (kg m⁻²), número de ejotes por m² y longitud del ejote (cm) e índices ambientales en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.

Tratamiento	Rendimiento (g m ⁻²)	Número de Ejotes m ⁻²	Longitud del ejote (cm)	Unidades Calor (°C)	Precipitación (mm)	ETc (mm)
Con biofertilizante	1668 a	401 a	10.6 a	758	273	161
Sin “ ”	1336 b	367 b	10.5 b	“ ”	“ ”	“ ”
0 kg ha ⁻¹	1026 c	299 c	10.4 a	“ ”	“ ”	“ ”
Nitrógeno 100 “ ”	1603 b	387 b	10.5 a	“ ”	“ ”	“ ”
200 “ ”	1876 a	467 a	10.6 a	“ ”	“ ”	“ ”
Promedio general	1502	384	10.5	“ ”	“ ”	“ ”
Prob Biofertilizante	** (10.3)	** (3.69)	** (0.11)	DSA	DSA	DSA
F Fertilizante	** (12.6)	** (5.49)	Ns (0.17)	DSA	DSA	DSA

Letras distintas en la misma columna indica diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Ns = No significativo; ETc = Evapotranspiración; Entre paréntesis = Diferencia mínima significativa.

La aplicación de biofertilizante + nitrógeno aumentó el rendimiento de ejote, siendo la combinación biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹ la que presentó el rendimiento más alto (2131 g m⁻²), seguido de los tratamientos biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹ (1416 g m⁻²), 200 kg de N ha⁻¹ (1621 g m⁻²), 100 kg de N ha⁻¹ (1402 g m⁻²) y los valores más bajos

correspondieron a los tratamientos biofertilizante + sin N (1069 g m^{-2}) y sin biofertilizante y sin N (983 g m^{-2}). Tendencias similares con relación al incremento en el rendimiento de ejote por efecto de la combinación de biofertilizante + fertilizante fueron observadas por Singer *et al.* (2000) y Asmaa *et al.* (2010). Lo que indica que la aplicación de biofertilizante más dosis altas de nitrógeno (100 y $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$), producen sinergismo que ayuda a incrementar el rendimiento de ejote, probablemente porque la aplicación de biofertilizante estimula el crecimiento radical y la aplicación de fertilizante mineral favorece el crecimiento de la parte aérea, con lo cual se favorece la absorción de agua y nutrientes y se incrementa la elaboración de fotosintatos que posteriormente serán translocados al órgano de interés agronómico (ejote), por lo tanto si falta o se reduce alguna fuente de nitrógeno, el rendimiento y número de ejotes disminuye considerablemente.

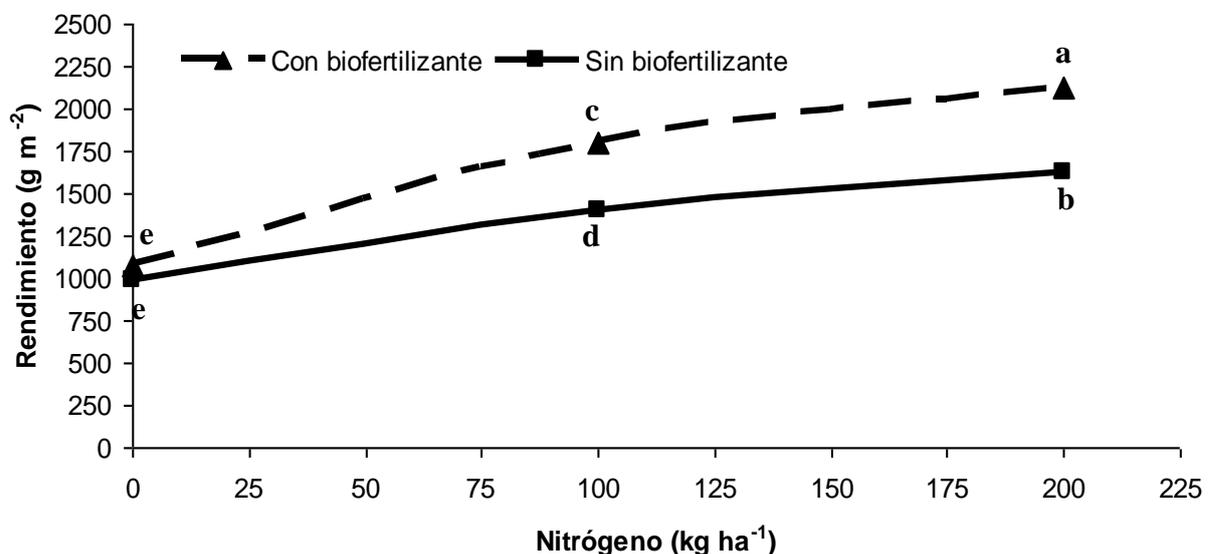


Figura 2. Rendimiento de ejote (g m^{-2}) en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.

Letras distintas dentro de la figura indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

El número de vainas presentó tendencias similares a las observadas con el rendimiento, obteniendo los valores más altos con la combinación biofertilizante + $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (486 ejotes m^{-2}) y los más bajos con el tratamiento sin biofertilizante + sin N (278 ejotes m^{-2}).

Estos resultados coinciden con los encontrados por Singer *et al.* (2000) y Bildirici y Yilmaz (2005) quienes encontraron el mayor número de vainas (36 y 21 planta⁻¹) con la aplicación de biofertilizante + N y los valores más bajos (20 y 15 vainas planta⁻¹) con el testigo (sin fertilizantes, figura 3).

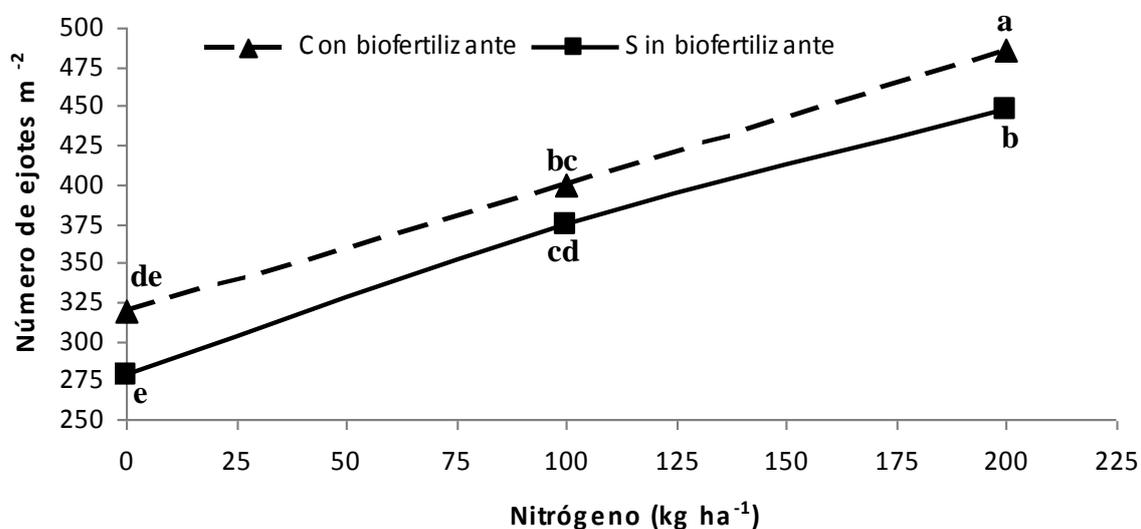


Figura 3. Número de ejotes m⁻² en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.

Letras distintas dentro de la figura indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Producción de biomasa

En el cuadro 2, se puede observar que la aplicación de biofertilizante aumentó en 32 % la producción de biomasa total, que fue producto de una mayor acumulación de materia seca en tallo, hoja y vaina, en relación al testigo. En promedio, la distribución de la materia seca fue mayor en la vaina (136 g m⁻²), seguido de la hoja (115 g m⁻²) y del tallo (85 g m⁻²). Estos resultados se relacionan con los encontrados por Tirado *et al.* (1990), Tancogne *et al.* (1991) y Castro y Laguna (1992) quienes mencionan que el N fijado (ureidos) por los nódulos de las raíces es usado preferentemente para la formación y crecimiento de vainas y granos del frijol, lo que explica este comportamiento. Con la aplicación de N se observaron

cambios significativos entre las dosis evaluadas. Así, con 200 kg de N ha⁻¹ se encontró la biomasa más alta (534 g m⁻²) y la más baja (179 g m⁻²) con el testigo. Tendencias similares reportaron Gutiérrez *et al.* (2004) para el cultivar “Flor de Durazno”. Por otra parte, la biomasa máxima con fertilizante (534 g m⁻²), superó a la que se le aplicó biofertilizante (403 g m⁻²), debido probablemente a que la aplicación de biofertilizante requiere de alto gasto de energía (16 moles de ATP) para fijar un mol de nitrógeno (Olalde *et al.*, 1994 y Urzúa, 2005) y la aplicación de fertilizante no realiza tal gasto, por lo que en este último, la mayor parte de la energía producida es utilizada para la producción de biomasa.

Cuadro 2. Producción de biomasa (g m⁻²), su distribución e Índice de cosecha (IC) del frijol ejotero “Hav-14” en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.

Tratamiento	Peso seco de hoja (g m ⁻²)	Peso seco de tallo (g m ⁻²)	Peso seco de vaina (g m ⁻²)	Biomasa total (g m ⁻²)	Índice de cosecha (%)
Con biofertilizante	131 a	101 a	171 a	403 a	42
Sin “ ”	99 b	69 b	101 b	269 b	38
0 kg ha ⁻¹	77 c	37 c	65 c	179 c	36
Fertilizante 100 “ ”	104 b	69 b	122 b	295 b	41
200 “ ”	165 a	149 a	220 a	534 a	41
Promedio general	115	85	136	336	39
Prob F Biofert.	** (1.12)	** (1.96)	** (1.67)	** (8.23)	DSA
“ ” Fertilizante	** (2.94)	** (1.57)	** (2.48)	** (12.24)	DSA

Letras distintas en la misma columna indica diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). NS = No significativo; DSA = Datos sin analizar; Entre paréntesis = La diferencia mínima significativa.

Interacción del biofertilizante + N sobre la producción de biomasa

La figura 4 muestra que la mayor producción de biomasa total (649 g m⁻²) se logró con la combinación de biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹, seguido del tratamiento sin biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹ (420 g m⁻²), con biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹ (351 g m⁻²), sin biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹ (240 g m⁻²), con biofertilizante y sin N (203 g m⁻²) y la más baja (150 g m⁻²) con el testigo (figura, 5). Por otra parte, se observó que los

tratamientos que fueron inoculados con biofertilizante incrementaron en 24 % la materia seca en la en hoja, 32 % en tallo y 40 % vaina en comparación con los que únicamente fueron fertilizados con urea. Los resultados encontrados sugieren que la inoculación con *Glomus intraradices* aumentó la superficie de absorción radical, lo que originó mayor absorción de N e incrementó la producción de biomasa (Escalante *et al.*, 1998).

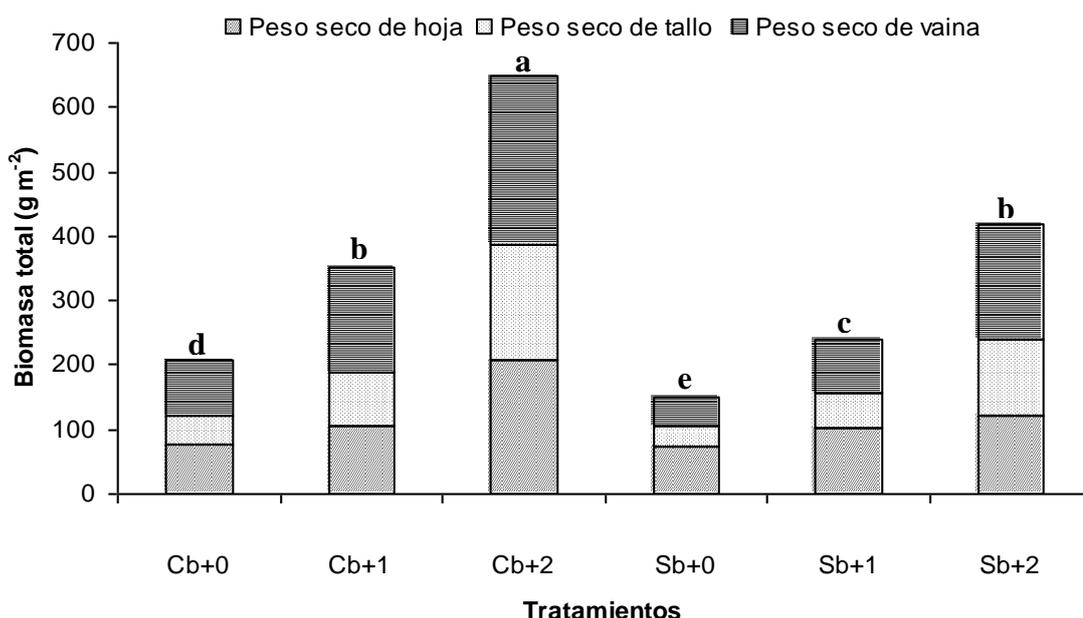


Figura 4. Producción de biomasa (g m^{-2}) en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.

Letras distintas dentro de la figura indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Cb+0 = Con biofertilizante y sin N; Cb+1 = Con biofertilizante + 100 kg de N ha^{-1} ; Cb+2 = Con biofertilizante + 200 kg de N ha^{-1} ; Sb+0 = Sin biofertilizante y sin N; Sb+1 = Sin biofertilizante + 100 kg de N ha^{-1} ; Sb+2 = Sin biofertilizante + 200 kg de N ha^{-1} .

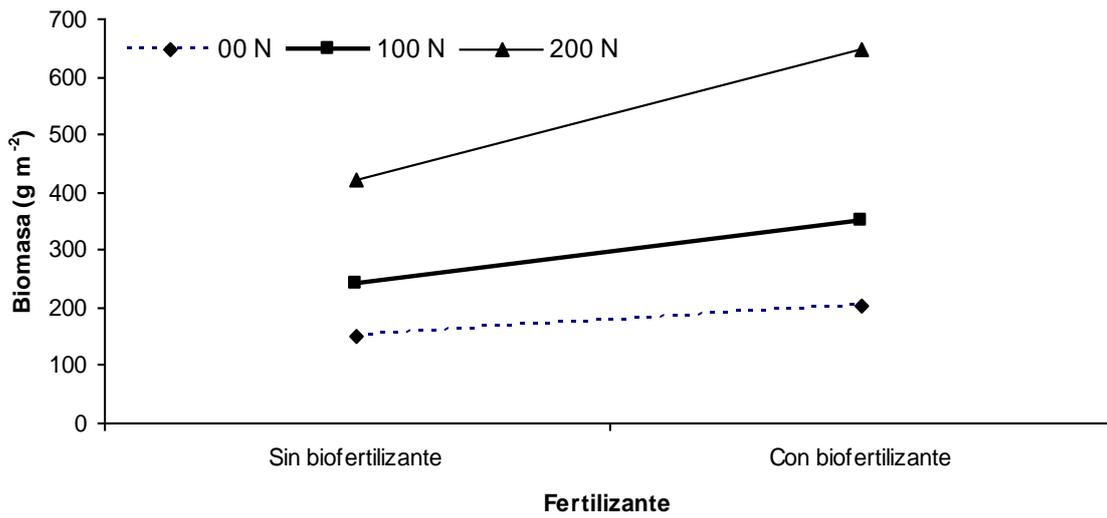


Figura 5. Producción de biomasa del frijol ejotero en función de la interacción genotipo * ambiente.

Índice de cosecha (IC)

El IC, presentó diferencias significativas entre tratamientos ya que el más alto (46 %) se logró con biofertilizante + 100 kg de N y el más bajo (29 %) con el testigo (sin biofertilizante y sin N, figura 6). Tomando en cuenta esto, puede decirse que la aplicación de N incrementa la producción de materia seca total, sin embargo, no incrementa el índice de cosecha (órgano de interés agronómico), por lo que el agricultor de bajos recursos podría utilizar únicamente biofertilizante para reducir los costos de producción en frijol ejotero sin que el índice de cosecha se vea afectado por el efecto del nitrógeno.

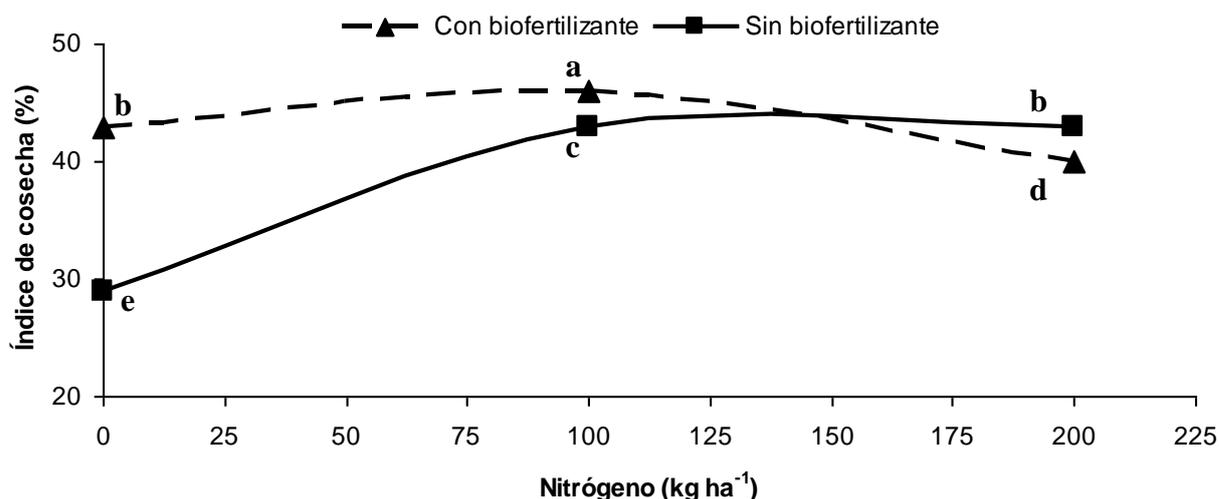


Figura 6. Índice de cosecha (IC) del frijol ejotero “Hav-14” en función de la combinación de biofertilizante y N. Clima templado (San Pablo Ixayoc) Méx. Verano 2009.

Letras distintas dentro de la figura indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Calidad nutrimental del frijol ejotero

En el cuadro 3 se observa que el análisis de varianza mostró cambios significativos por efecto del biofertilizante, nitrógeno y la interacción biofertilizante*nitrógeno. Con la aplicación de biofertilizante, aumentó el contenido de calcio (16.1 %), fósforo (0.53 %), FDN (22.2 %), hemicelulosa (6.7 %), proteína (21.6 %), y extracto etéreo (1.8 %), en comparación con el testigo, donde sólo se encontró el contenido más alto de carbohidratos solubles (43.4 %). La mayor calidad nutrimental encontrada en el tratamiento con biofertilizante puede relacionarse en parte con la fijación de nitrógeno (*Rhizobium etli*) y con el crecimiento del sistema radical (*Glomus intraradices*), lo que posiblemente ocasionó el incremento en la absorción y transporte de nutrientes hacia el ejote, además, de que Urzúa (2005) y Castro y Laguna (1992) mencionan que la mayor la fijación de nitrógeno, coincide con las etapas de floración y formación de vaina del frijol (R5 y R6), lo que

probablemente originó el incremento de N en vaina. Además, la reducción en contenido de carbohidratos solubles se relacionó posiblemente con un alto gasto de energía (ATP) para la fijación de N. Por otra parte, con la aplicación de 200 kg de N ha⁻¹ se obtuvo el más alto contenido de minerales (7.2 %), fósforo (0.53 %), proteína (21.8 %) y extracto etéreo (1.8 %) y el más bajo correspondió el testigo (6.9 %, 0.50 %, 20.7 % y 1.7 %, respectivamente). Resultados similares con relación al contenido de proteína fueron reportados por El-Tohamy *et al.* (2009) quienes al evaluar aplicaciones de 60, 120, 180, 240 y 300 kg de N ha⁻¹ en frijol ejotero, encontraron el contenido más alto de proteína (19 %) con 300 kg de N ha⁻¹ y el más bajo (13.5 %) con 60 kg de N ha⁻¹. Con la aplicación de biofertilizante y nitrógeno se incrementó el contenido de los nutrimentos evaluados. Con 200 kg de N ha⁻¹ el frijol presentó el contenido más alto de minerales (7.4 %), fósforo (0.54 %) y extracto etéreo (1.9 %) y en el testigo los más bajos (6.6 %, 0.47 %, 1.7 %, respectivamente). Sin embargo, el porcentaje de proteína más alto (22 %) se encontró con el tratamiento de biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹, seguido de con biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹ (21.9 %), sin biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹ (21.5 %), sin biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹ (21.1 %), con biofertilizante (21.1 %) y el más bajo (20.5 %) con el testigo. Tendencias similares con relación a la calidad nutrimental por efecto de la combinación de fertilizantes fue encontrada por Asmaa *et al.* (2010) quienes evaluaron biofertilizante más tres dosis de N (200, 240 y 280 kg de N ha⁻¹) y encontraron que con la combinación de biofertilizante (2 kg ha⁻¹) + 280 kg de N ha⁻¹ presentó el contenido más alto en proteína (20.1 %), fósforo (0.38 %) y carbohidratos (45 %) y los valores más bajos (16.8 %, 0.27 % y 40.3 %, respectivamente) con la combinación sin biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹. Lo que indica que la acumulación de proteína en ejote se incrementa con la combinación de biofertilizantes + N y a medida en que se reducen éstos, el contenido de proteína en vaina disminuye.

Cuadro 3. Análisis químico del cultivar “Hav-14” en función de la fertilización. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2009.

Tratamiento	Nutrimentos										
	Minerales	Calcio	Fósforo	CS	FDA	Lignina	FDN	Hemicel	Proteína	EE	
Con Bio (Cb)	7.1 a	16.1 a	0.53 a	40.9 b	22.2 a	0.6 b	28.8 a	6.7 a	21.6 a	1.8 a	
Sin Bio (Sb)	7.0 a	13.3 b	0.50 b	43.4 a	22.1 a	2.1 a	26.5 b	4.4 b	21.0 b	1.7 b	
Nitrógeno 00	6.9 b	14.5 b	0.50 b	42.5 a	21.9 a	2.8 a	28.1 a	6.1 a	20.7 b	1.7 b	
“ ” 100	6.9 b	16.5 a	0.51 b	41.2 a	21.9 a	0.6 b	28.7 a	6.7 a	21.5 a	1.8 a	
“ ” 200	7.2 a	13.1 c	0.53 a	42.8 a	22.4 a	0.6 b	26.2 b	3.7 b	21.8 a	1.8 a	
Com Cb*00	7.2 b	15.3 b	0.54 ab	39.7 d	21.9 a	0.7 b	30.4 a	8.5 a	21.1 cd	1.7 cd	
“ ” Cb*100	6.8 d	18.1 a	0.51 c	40.4 cd	22.4 a	0.6 b	29.4 ab	7.0 ab	21.9 ab	1.8 bc	
“ ” Cb*200	7.0 c	14.8 c	0.55 a	42.7 b	22.2 a	0.6 b	26.7 cd	4.5 bcd	22.0 a	1.6 d	
Com Sb*00	6.6 e	13.7 d	0.47 d	45.4 a	22.0 a	4.9 a	25.8 d	3.8 cd	20.5 d	1.7 cd	
“ ” Sb*100	7.0 c	14.9 c	0.52 c	42.0 b	21.5 a	0.6 b	28.0 bc	6.4 abc	21.1 bcd	1.9 ab	
“ ” Sb*200	7.4 a	11.4 e	0.53 bc	42.9 b	22.7 a	0.6 b	25.7 d	3.0 d	21.5 abc	1.9 a	
Prom. gral	7.03	14.7	0.51	42.1	22.1	1.4	27.7	5.6	21.3	1.8	
Prob	Bio	NS(0.89)	** (0.14)	NS(0.09)	** (1.34)	NS(0.91)	** (0.10)	** (1.13)	** (1.78)	** (0.46)	** (0.06)
F	N	** (0.08)	** (0.18)	** (0.01)	** (1.64)	NS(1.11)	** (0.13)	** (1.39)	** (2.19)	** (0.57)	** (0.07)
	Bio*N	** (0.11)	** (0.29)	** (0.01)	** (2.12)	NS(1.57)	** (0.17)	** (1.77)	** (2.91)	** (0.77)	** (0.10)

Letras distintas en la misma columna indica diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). NS = No significativo; Bio = Biofertilizante; Com = Combinación; N = Nitrógeno; gral = General; CS = Carbohidratos solubles; FDA = Fibra detergente ácido; FDN = Fibra detergente neutro; Hemicel = Hemicelulosa; EE = Extracto etéreo; Entre paréntesis = La diferencia mínima significativa.

La aplicación de biofertilizante y fertilizante en frijol ejotero “Hav-14” no produjo cambios en la duración de su fenología (107 días), lo que originó igual acumulación de unidades calor (758 °C), precipitación (273 mm) y ETC (161 mm). Sin embargo, en la acumulación de materia seca total, rendimiento y número de ejotes sí se observaron diferencias entre tratamientos, ya que los valores más altos (649 g m⁻², 2131 g m⁻² y 486 ejotes m⁻², respectivamente) se encontraron con biofertilizante + 200 kg N ha⁻¹ y los más bajos (150 g m⁻², 983 g m⁻² y 278 ejotes m⁻²) en el testigo. El porcentaje de materia seca acumulada en el órgano de interés agronómico (índice de cosecha, IC) también presentó diferencias, ya que el IC más alto (46 %) se encontró en el tratamiento biofertilizante + 100 kg N ha⁻¹ y el más bajo (29 %) con el testigo. Por otra parte, el contenido nutrimental del ejote también presentó cambios por efecto de los tratamientos, encontrando el porcentaje más alto de proteína (22 %), FDN (30 %), hemicelulosa (8.5 %) y calcio (18 %) con la combinación de biofertilizante + N y los más bajos (21.5 %, 26 %, 3 % y 11 %, respectivamente) con la aplicación de N. Esto indica que la aplicación combinada de biofertilizante con dosis de N, promueven el crecimiento radical y la formación de clorofila en hoja, originando con ello mayor producción de fotosintatos que incrementaran la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad nutrimental del ejote.

CONCLUSIONES

La fenología, el rendimiento, la producción de biomasa y la calidad nutrimental del frijol ejotero están en función del biofertilizante y de la dosis de N aplicada. El rendimiento, la producción de biomasa y el porcentaje de proteína más altos se obtienen con la combinación de biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹ y los más bajos con el testigo (sin biofertilizante y sin nitrógeno). El índice de cosecha más alto se obtiene con la combinación de biofertilizante + 100 kg de N ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Adsule R N, S S Deshpande, S K Sathe (2004)** Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia, S.A. D. F., México. 739 p.
- Asmaa R, M Mahmoud, M M El-Desuki, M M Abdel (2010)** Response of snap bean plants to bio-fertilizer and nitrogen level application. *International Journal of Academic Research*. 2(3): 179-183.
- Bildirici N, N Yilmaz (2005)** The effect of different nitrogen and phosphorus doses and bacteria inoculation (*Rhizobium phaseoli*) on the yield and yield components of field bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy*. 4 (3): 207-215.
- Castellanos J Z, J J Peña, V Badillo, S A Aguilar, G J Acosta, G A J Rodríguez (1998)** Características agronómicas del frijol asociadas a la capacidad de fijación de N₂ en el centro de México. *Terra*. 16(4): 351-357.
- Castro L, O Laguna (1992)** Determinación de la concentración de ureidos en tres leguminosas fijadoras de nitrógeno: soya, frijol y maní. *Agronomía Costarricense*. 16(2): 187-193.
- Daba S, M Haile (2000)** Effects of rhizobial inoculant and nitrogen fertilizer on yield and nodulation of common bean. *Journal of Plant Nutrition*. 23(5): 581-591.
- Doorenbos J, W O Pruitt (1986)** Las necesidades del agua para los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24. 194 p.
- El-Thohamy W A, A A Ghoname, G S Riad, U S D Abou (2009)** The influence of slow release fertilizer on bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) grow in sandy soils. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 3(2): 966-969.
- Escalante E J A, J S Kohashi (1993)** El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. México. 84 p.
- Escalante E J A, M T Rodríguez, A De Haro, C E Fereres (1998)** Acquisition,

partitioning and remobilization of nitrogen and their relationship to seed yield in mediterranean sunflower. *Helia*. 21(29): 81-84.

García E L (2005) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. D.F, México. 217 p.

Grageda C O A, A Vermoesen, O V Cleemput, C J J Peña (2000) Efecto del tipo de suelo, humedad y fuente de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. *Terra*. 18(1): 1-9.

Grageda C O A, N J A Vera, J Z Castellanos, C J J Peña (2002) Comparación de métodos para estimar la fijación de N₂ en frijol en condiciones de campo. *Terra*. 21: 65-71.

Gutiérrez R M, Escalante, G M T Rodríguez, M P Reynolds (2004) Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicación de nitrógeno. *Terra*. 22(4): 409-416.

Irizar G M B, V P Vargas, G D Garza, C C Tut, M I Rojas, C A Trujillo, S R García, M D Aguirre G J C Martínez, M S Alvarado, C O Grageda, G J Valero, M J F Aguirre (2003) Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*. 29(2): 213-225.

Olalde P V, H J Frías, G L I Aguilera, B M J Albarado (1994) Efecto de la endomicorriza vesículo-arbuscular en la fijación biológica de nitrógeno en frijol aplicando diferentes niveles de fósforo. *Terra*. 12(3): 323-328.

Phillips S B, G L Mullins, S J Donohue (2002) Changes in snap bean yield, nutrient composition, and soil chemical characteristic when using broiler litter as fertilizer source. *Journal of Plant Nutrition*. 25(8): 1607-1620.

Pick N H, G E Mac Donald (1984) Snap bean plant responses to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*. 76: 247-253.

- Pichardo R J C, E J A Escalante, G M T Rodríguez, G P Sánchez (2007)** Aplicación dividida y eficiencia agronómica de nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. *TERRA Latinoamericana*. 25(2): 145-154.
- SAS, Statistical Analysis System Institute (2002)** SAS Proceeding Guide, Versión 9.0. SAS Institute.Cary, NC. USA.
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(3): 235-241.
- Singer S M, A H Ali, M M El-Desuki (2000)** Synergistic effect of bio-and chemical fertilizers to improve quality and yield of snap bean grown in sandy soil. *Acta Horticulturae*. 19(2): 213-220.
- Singh S P, H Terán, C G Muñoz, J M Osorio, J C Takegami, M D T Thung (2003)** Low soil fertility tolerance in landraces and improved common bean genotypes. *Crop Science*. 43: 110-119.
- Snyder R L (1985)** Hand calculating degree days. *Agriculture Forest Meteorology*. 35: 353-358.
- SOSA E (1979)** Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Tancogne M, A Bouniols, S U Wallace, R Blanchet (1991)** Effect of nitrogen fertilization on yield component distribution and assimilate translocation of determinate and indeterminate soybean lines. *Journal of Plant Nutrition*. 14(9): 963-973.
- Tirado T J L, G Conejo, G G Alcántar (1990)** Efecto del nitrógeno mineral y el déficit hídrico sobre las dos vías de asimilación del nitrógeno en plantas de soya. *Terra*. 8(2): 182-191.

Urzúa H (2005) Beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en Chile. Ciencia e Investigación Agraria. 32(2): 133-150.

CONCLUSIONES GENERALES

La fenología, producción de biomasa, rendimiento y calidad nutrimental del frijol ejotero están en función del cultivar y del ambiente.

En clima semiárido y templado, los cultivares de frijol ejotero de hábito de crecimiento indeterminado presentaron la más alta producción de materia seca, rendimiento y calidad nutrimental y éstos se relacionaron con una alta acumulación de las unidades calor, la precipitación y la evapotranspiración durante el ciclo de cultivo.

En clima templado la mayor ganancia económica estimada se obtiene con el cultivar “Hav-14” de hábito de crecimiento determinado y la menor con “Strike” de hábito determinado.

Bajo condiciones de clima templado, la aplicación combinada de biofertilizante más nitrógeno no afecta la fenología del frijol “Hav-14”, sin embargo, con la combinación de biofertilizante + 200 kg de N ha⁻¹, se observa el más alto rendimiento y el contenido de proteína en el frijol ejotero “Hav-14”.