



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL EN SIEMBRA ASOCIADA Y PRÁCTICAS DE MANEJO

RAFAEL DELGADO MARTÍNEZ

T E S I S

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

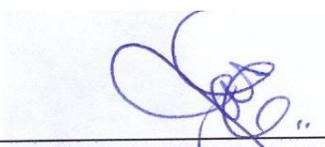
La presente tesis titulada "**Crecimiento y rendimiento del frijol en siembra asociada y prácticas de manejo**", realizada por el alumno **Rafael Delgado Martínez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

BOTÁNICA

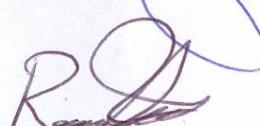
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



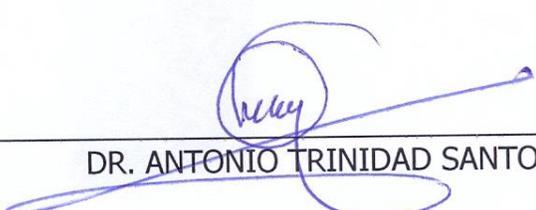
DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

ASESOR



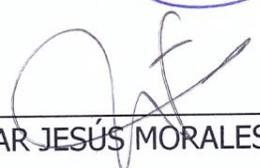
DR. RAMÓN DÍAZ RUIZ

ASESOR



DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR



DR. EDGAR JESÚS MORALES ROSALES

ASESOR



DR. ELISEO SOSA MONTES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2013

DEDICATORIA

A Dios por alimentar con su espíritu mi alma.

A mi madre María Guadalupe Martínez Almanza, por inculcarme el amor a Dios y por brindarme todo su amor y su enseñanza, gracias mamá, Te amo.

A mi padre Néstor Gabriel Delgado Rojas que me ha enseñado a luchar en la adversidad.

A ti Alejandra Aleman Delgado, por regalarme los momentos más maravillosos de mi vida, Te amo chinita hermosa.

Con todo mi amor y cariño a ti hermoso terruño que Dios me ha permitido tenerte entre mis brazos, Te amo hija, Bárbara Delgado Aleman.

A mis hermanos Miriam, Néstor Gabriel, Paola y Lupita, por su invaluable apoyo, cariño y confianza hacia mi persona, los quiero mucho.

A mis sobrinos Néstor, José Alfonso (negrito), Joshua (yoyo), Selene, Emilio (grillito), Santiago, Sofía Paola (luchita), Giovanni (Bob esponja), Camila Valentina, José Miguel (hombre araña), Pablito (arenero), Adán, por regalarme su sonrisa y brindarme su alegría.

A la familia Delgado Aleman, Don Esteban, Doña Elizabeth, Esteban y José Armando, por brindarme su confianza, cariño y apoyo en todo momento, gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo para la realización de mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, especialmente al programa de Botánica por brindarme la oportunidad de formarme académicamente.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada por su valioso e incondicional apoyo, enseñanza y buen consejo, por su tiempo en la revisión de la tesis y por su confianza para concluir esta etapa en mi vida.

Al Dr. Ramón Díaz Ruíz por su gran disposición e interés para la realización de la tesis.

Al Dr. Edgar Jesús Morales Rosales por su valiosa y constante enseñanza, asesoría y amistad.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos por su aprecio y colaboración durante mi formación.

Al Dr. Eliseo Sosa Montes por sus sugerencias que siempre me ha brindado.

Al Dr. Juan Contreras Ramos, por sus valiosas observaciones.

Un agradecimiento especial a la M. en C. María Teresa Rodríguez González, por su amistad, consejo y apoyo, muchas gracias maestra.

A todos mis amigos que tuve la oportunidad de conocer durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados, Juan Carlos, Maribel, Yasmani, Cid, Toño, Jonathan, Mario, Néstor, Adelaido, Juan, Selene. A quienes agradezco su amistad y apoyo brindado.

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL EN SIEMBRA ASOCIADA Y PRÁCTICAS DE MANEJO

Rafael Delgado Martínez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2013

El objetivo de estudio fue determinar si la siembra asociada de frijol, así como las prácticas de manejo limita el crecimiento y rendimiento de frijol. El experimento fue conducido en Montecillo, México, bajo condiciones de temporal, durante los ciclos primavera verano del 2010 y 2011. Se evaluó el rendimiento de ejote y rendimiento de grano (RG) y componentes de frijol, así como rendimiento de grano (RG) y sus componentes en maíz, así mismo se anotaron los días a ocurrencia de las etapas fenológicas del frijol y maíz. Por otra parte, se registraron los índices ambientales y se estimó la eficiencia en el uso del agua radiación y uso de la tierra en ambas especies. Los resultados indican que los días a ocurrencia a las etapas fenológicas en frijol y maíz, fue similar entre tratamientos. La biomasa e índice de cosecha, así como el rendimiento de grano y componentes en frijol y maíz mostraron cambios significativos por efecto del año, defoliación e interacción año*defoliación. En frijol el RG más alto se observó en 2010 el cual superó en 36% a 2011. En ambos años con la defoliación del estrato superior (DES) se logró el RG más alto y los más bajos correspondieron al tratamiento sin defoliación (SD). En maíz, el RG en el 2010 fue superior en 37% al de 2011. Los tratamientos defoliación total de láminas (DTP) y DES, provocaron un abatimiento del RG del 15%. No obstante la mayor ganancia económica de la asociación maíz-frijol, se logró con la defoliación del estrato superior del maíz. El mayor rendimiento y número de ejotes se logró con dos plantas de FE por mata y 150 kg·ha⁻¹ de N. Independientemente de los tratamientos, en el cuarto y quinto corte se encontró el mayor rendimiento. La mayor eficiencia en el uso del agua y mayor ingreso neto se logró con densidades de dos plantas de frijol por mata y niveles altos de nitrógeno.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., fenología, biomasa.

GROWTH AND BEAN YIELD IN INTERCROPPING AND MANAGEMENT PRACTICES

**Rafael Delgado Martínez, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2013**

The aim of study was to determine if bean intercropping and management practices limit the growth and yield of beans. The experiment was conducted in Montecillo, Mexico, under rainfed conditions during the spring-summer cycle of 2010 and 2011. We evaluated the performance of bean and grain yield (GY) and bean components and grain yield (GY) and its components in maize, also the days were recorded occurrence of the phenological stages of beans and corn. Moreover, environmental indexes were recorded and estimated the efficiency of radiation water and land use in both species. The results showed that the days to occurrence of phenological stages in beans and corn, was similar between treatments. Biomass and harvest index, and grain yield and components in beans and corn show significant changes as a result of the year, defoliation and interaction year * defoliation. On beans GY rate was obtained in 2010 which exceeded 36 % in 2011. In both years the top tier defoliation (DES) was achieved RG highest and lowest defoliation corresponded to treatment without (SD). In corn, the RG in 2010 was higher by 37 % than in 2011. Total defoliation treatments sheets (DTP) and DES, RG caused a decreasing of 15%. However most economic gain maize-bean association, was achieved with the overstory defoliation of maize. The highest yield and number of beans was achieved with two plants per one of maize FE and 150 kg • ha⁻¹ of N. Regardless of treatments, in the fourth and fifth court found the highest performance. The greater efficiency in water use and increased net income was achieved with densities two bean plants per one of maize and high nitrogen levels.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., phenology, biomass.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN GENERAL	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	xiv
CAPÍTULO I. DEFOLIACIÓN EN MAÍZ Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL-MAÍZ EN ASOCIACIÓN	1
I. RESUMEN	1
II. ABSTRACT	3
III. INTRODUCCIÓN	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	7
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
5.1 Fenología y elementos del clima.....	10
5.2 Biomasa e Índice de cosecha en frijol.....	13
5.3 Rendimiento de grano (RG) y sus componentes en frijol.....	15
5.4 Relaciones entre el rendimiento de frijol y sus componentes	17
5.5 Biomasa e Índice de cosecha en maíz	18
5.6 Rendimiento de maíz y sus componentes	20
5.7 Producción y rentabilidad del agrosistema asociado frijol-maíz.....	22
VI. CONCLUSIONES	25
VII. LITERATURA CITADA	26

**CAPÍTULO II. PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DEL FRIJOL EJOTERO EN
ESPALDERA VIVA CON NITRÓGENO Y CAMBIOS EN DENSIDAD 32**

I. RESUMEN	32
II. ABSTRACT	34
III. INTRODUCCIÓN	35
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1 Fenología del cultivo de FE.....	39
5.2 Elementos del Clima	39
5.3 Unidades Calor y Evapotranspiración.....	40
5.4 Rendimiento y número de ejotes	41
5.5 Eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del N.....	42
5.6 Análisis económico	44
VI. CONCLUSIONES	47
VII. LITERATURA CITADA.....	48

**CAPÍTULO III. RENDIMIENTO, EFICIENCIA DEL AGUA Y NITRÓGENO DEL
FRIJOL-MAÍZ ASOCIADOS CON DIFERENTES DENSIDADES Y NITRÓGENO .. 51**

I. RESUMEN	51
II. ABSTRACT	52
III. INTRODUCCIÓN	53
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
5.1 Fenología de la asociación frijol-maíz.....	60
5.2 Elementos del clima.....	60
5.3 Unidades calor y evapotranspiración de frijol-maíz asociado	61
5.4 Biomasa, Rendimiento e Índice de cosecha	63
5.5 Eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del N.....	65
5.6 Uso equivalente de la tierra	65

5.7 Índice de competencia	66
VI. CONCLUSIONES	68
VII. LITERATURA CITADA.....	69
CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO EN SIEMBRA ASOCIADA CON MAÍZ	72
I. RESUMEN	72
II. ABSTRACT	73
II. INTRODUCCIÓN	74
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	76
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
5.1 Dinámica de acumulación de materia seca e índice de área foliar	78
5.2 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y tasa de asimilación neta (TAN) ...	79
5.3 Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes.....	81
VI. CONCLUSIONES	82
VII. LITERATURA CITADA.....	83
CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I

	Página
Cuadro 1. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con maíz.....	16
Cuadro 2. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año y defoliación en siembra asociada con maíz.....	16
Cuadro 3. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con maíz.....	17
Cuadro 4. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con frijol.....	20
Cuadro 5. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año y defoliación en siembra asociada con frijol.....	21
Cuadro 6. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con frijol.....	22

Cuadro 7. Análisis económico y tasa de retorno, del agrosistema asociado frijol-maíz en función del año y defoliación. Montecillo, México. Verano 2010-2011.....	24
Cuadro 8. Análisis económico y tasa de retorno marginal, del agrosistema asociado frijol-maíz en función de la interacción año x defoliación. Montecillo, México. Verano 2010-2011.....	24

CAPÍTULO II

	Página
Cuadro 1. Análisis de varianza del número de ejotes, rendimiento de ejote y eficiencia en el uso del agua. Montecillo, México. Verano, 2010...	43
Cuadro 2. Rendimiento de ejote, eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.....	43
Cuadro 3. Rendimiento de ejote, eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica en función de la interacción densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.....	44
Cuadro 4. Análisis de varianza del rendimiento de ejote (RE), ingreso total (IT), ingreso neto (IN) y tasa de retorno (TR) en función de la densidad de población (D), fertilización nitrogenada (N) e interacción (D*N). Montecillo, México. Verano, 2010.....	45
Cuadro 5. Análisis económico en la producción de frijol ejotero en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.....	45

Cuadro 6. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con frijol.....	46
---	----

CAPÍTULO II

	Página
Cuadro 1. Análisis de varianza de la biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en maíz y frijol. Montecillo, México. Verano, 2010.....	63
Cuadro 2. Biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica (EA) en maíz y frijol, en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.....	64
Cuadro 3. Biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica (EA) en maíz y frijol, en función de la interacción entre densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

	Página
Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, VE: Emergencia frijol, R6: Floración frijol, R9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, VE: Emergencia maíz, R1: Floración maíz, R6: Madurez fisiológica maíz. 2010....	11
Figura 2. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, VE: Emergencia frijol, R6: Floración frijol, R9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, VE: Emergencia maíz, R1: Floración maíz, R6: Madurez fisiológica maíz. 2011....	13
Figura 3. Relación entre el rendimiento, número de granos m ⁻² y número de vainas m ⁻² en frijol. Montecillo, México. Verano, 2010 (a, b, c) y 2011 (d, e, f)	14

CAPÍTULO II

	Página
Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra, E: Emergencia, R6: Floración, C1-C7 cortes de ejote. Montecillo, México. Verano, 2010.....	40

Figura 2.	Unidades calor y evapotranspiración acumulada en frijol ejotero con espaldera de maíz. S: Siembra, E: Emergencia, R6: Floración, C1-C7 cortes de ejote. Montecillo, México. Verano, 2010	41
Figura 3.	Dinámica de producción de FE en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010	42

CAPÍTULO III

	Página	
Figura 1.	Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, V-1: Emergencia frijol, R-6: Floración frijol, R-9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, V-E: Emergencia maíz, R-1: Floración maíz, R-6: Madurez fisiológica maíz. 2010...	61
Figura 2.	Unidades calor y evapotranspiración acumulada para maíz y frijol (UCM, UCF, ETcM y ETcF, respectivamente) en el agrosistema asociado. S: Siembra frijol, VE: Emergencia frijol, R6: Floración frijol, R9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, VE: Emergencia maíz, R1: Floración maíz, R6: Madurez fisiológica maíz. 2010	62
Figura 3.	Uso equivalente de la tierra (UET) del agrosistema asociado maíz y frijol en función de la densidad de población y niveles de nitrógeno. Montecillo, México. Verano 2010	66

Figura 4.	Índice de competencia de maíz y frijol en un agrosistema asociado en función de la densidad de población y niveles de nitrógeno. Montecillo, México. Verano 2010	67
------------------	--	----

CAPÍTULO IV

	Página	
Figura 1.	Dinámica de acumulación de la materia seca en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010	78
Figura 2.	Índice de área foliar en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010	79
Figura 3.	Tasa de asimilación neta en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010	80
Figura 4.	Tasa de crecimiento del cultivo del frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010	80

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cultivos asociados han contribuido a la producción mundial de alimentos y se estima que es del orden del 15 al 20% y en algunos países constituyen la principal manera de cultivar (FAO, 2012). En México, este sistema de producción se ha practicado desde tiempos precolombinos, y en la actualidad se continua manejando por las ventajas que tiene sobre el monocultivo; destacando un mejor aprovechamiento de los recursos (agua, radiación y nutrimentos), y la producción de altos rendimientos por unidad de superficie. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se ha destacado por ser parte importante de este agrosistema, que tiene profundas raíces milenarias, y actualmente es de primordial importancia económica, cultural y social en México. Por lo que, representa para la economía campesina una fuente importante de ocupación e ingreso, así como una garantía de seguridad alimentaria, vía autoconsumo; mientras que en la dieta representa, la principal fuente de proteínas para la población en general. Sin embargo, la investigación que se ha realizado se ha encaminado a estudiar y analizar el frijol desde el punto de vista de la fisiología del cultivo y sistema de producción, orientado a su monocultivo. Son relativamente pocos los trabajos sobre asociación, de ahí la importancia de generar información sobre este cultivo en asociación, estudiar el comportamiento del rendimiento de grano y ejote del frijol en asociación, bajo diferentes practicas de manejo. La información derivada de esta investigación se presenta en cuatro capítulos. En el capítulo I se estudió el efecto de la defoliación del maíz sobre el rendimiento de grano del frijol. En el capítulo II se presenta el efecto de la densidad de población y nitrógeno sobre el rendimiento de

frijol ejotero en espaldera viva de maíz. En el capítulo III se presenta el efecto de la densidad de población del frijol y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano, índice de cosecha, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica y uso equivalente de la tierra en frijol y maíz asociado. Y en el capítulo IV se describe el patrón y velocidad de crecimiento, producción de biomasa, índice de cosecha y rendimiento de ejote en el agrosistema maíz-frijol.

CAPÍTULO I. DEFOLIACIÓN EN MAÍZ Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRIJOL-MAÍZ EN ASOCIACIÓN

I. RESUMEN

El frijol y maíz representan parte de la dieta básica de la población en México. La principal forma de siembra de estas especies es en monocultivo por lo que el rendimiento está determinado por el genotipo y el ambiente. Sin embargo, la siembra asociada de estos cultivos puede incrementar la producción por unidad de área, y en consecuencia una mayor rentabilidad. No obstante, el efecto de competencia interespecifica donde el frijol es más afectado y que se asume al sombreado del maíz sobre el frijol ha sido poco atendido. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la defoliación del maíz sobre la biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y componentes del frijol y maíz en asociación. El experimento fue conducido en Montecillo, México, durante los ciclos primavera verano del 2010 y 2011, con diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Los días a ocurrencia a las etapas fenológicas en frijol y maíz, fue similar entre tratamientos. La BT e IC así como el RG y componentes en frijol y maíz mostraron cambios significativos por efecto del año, defoliación e interacción año*defoliación. En frijol el RG más alto se observó en 2010 el cual superó en 36% a 2011. En ambos años con la defoliación del estrato superior (DES) se logró el RG más alto y los más bajos correspondieron al tratamiento sin defoliación (SD). En maíz, el RG en el 2010 fue superior en 37% al de 2011. Los tratamientos defoliación total de láminas (DTP) y DES, provocaron un abatimiento del RG del 15%. No

obstante la mayor ganancia económica de la asociación maíz-frijol, se logró con la defoliación del estrato superior del maíz.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., fenología, biomasa.

DEFOLIATION IN MAIZE AND ITS EFFECT ON BEAN-CORN YIELD IN ASSOCIATION

II. ABSTRACT

The beans and corn represent part of the basic diet of the population in Mexico. The main way is planting these species in monoculture so that performance is determined by the genotype and the environment. However, the associated sowing of these crops can increase production per unit area and therefore greater profitability. However, the effect of interspecific competition where the bean is concerned which is assumed to shading of corn over beans has received little attention. The aim of the study was to determine the effect of defoliation of corn on the total biomass (BT), harvest index (CI), yield (RG) and components of beans and maize in association. The experiment was conducted in Montecillo, Mexico, during the spring-summer cycle of 2010 and 2011, with experimental design of randomized complete block with four replications. The days of occurrence of phenological stages in beans and corn, was similar between treatments. The BT and IC and the RG and components in beans and corn show significant changes as a result of the year, defoliation and interaction year * defoliation. On beans RG rate was obtained in 2010 which exceeded 36% in 2011. In both years with the defoliation of the upper stratum (DES) was achieved RG highest and lowest corresponded to treatment without defoliation (SD). In corn, the RG in 2010 was higher by 37% than in 2011. Defoliation of overall leaves (DTP) and DES treatments, led to an abatement of 15% RG. However most

economic gain maize-bean association, was achieved with the defoliation upper stratum of maize.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., phenology, biomass.

III. INTRODUCCIÓN

En México, la práctica de sembrar simultáneamente dos o más cultivos en la misma área de terreno y época, se realiza desde la época prehispánica. Cultivos como frijol y maíz coexisten principalmente bajo este agrosistema de asociación aunque en menor escala y principalmente por agricultores con menos de dos hectáreas. A diferencia de los monocultivos, este agrosistema ofrece mayores ventajas económicas, sociales y ambientales (Ogindo y Walker, 2005; Beddington, 2011). En sistemas asociados, se hace un mejor uso del suelo, agua, luz y nutrimentos, tanto en tiempo como en espacio (Francis, 1986; Willey, 1990). Sin embargo, cuando se siembra bajo este arreglo existe una reducción en el rendimiento de una o ambas especies, debido a la competencia interespecifica. El frijol es el más afectado bajo este esquema con una reducción de 25% a 50% en relación al monocultivo (Francis, 1989). Por otra parte, Morales *et al.* (2006); Díaz *et al.* (2010) reportan que el rendimiento del frijol se redujo 48% y 68%, respectivamente cuando se asoció con girasol. Se asume que bajo condiciones no limitantes de agua y nutrimentos, la reducción en el rendimiento del frijol se debe al sombreado ocasionado por el maíz, que puede limitar una mayor expresión en el número de granos y consecuentemente en el rendimiento (Escalante *et al.*, 1980; Fageria *et al.*, 2010). Las investigaciones sobre este tema requieren mayor atención. Así, los objetivos del presente estudio fueron determinar y cuantificar en la asociación maíz-frijol: a) si el sombreado del maíz limita la expresión de los componentes y en consecuencia el rendimiento del frijol; b) el estrato del dosel del maíz que más afecta los componentes del

rendimiento del frijol; c) el efecto de la defoliación sobre los componentes del rendimiento del maíz; d) la producción del agrosistema maíz-frijol y su rentabilidad.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, México ubicado a 19° 28' 4" N; 98° 53' 42" O, y 2250 m de altitud, bajo condiciones de lluvia estacional, durante los años 2010 y 2011. El clima de la región, es el menos seco de los áridos con lluvias de junio a septiembre, temperatura media anual mayor a 18 °C y menor a 27 °C, período libre de heladas promedio de 170 días (BS1, García, 2005). El suelo es de textura arcillo-limosa, medianamente alcalino (pH de 7.8), conductividad eléctrica de 1.7 dSm⁻¹ (sin problemas de salinidad). Respecto a las propiedades químicas, el contenido de materia orgánica es alto de 3.4%, nitrógeno total de 0.158 % (alto). La siembra se realizó el 25 y 17 de mayo de 2010 y 2011 respectivamente. En ambos años, se usó frijol de grano color negro, cv. Hav-14, con potencial ejotero de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), y maíz azul var. San Miguelito de la raza Chalqueño, colocándose dos semillas de frijol y una de maíz por golpe, con un arreglo topológico (0.25 x 0.25 x 0.80 m) dando como resultado una densidad de población de 5 plantas m⁻². La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5m de longitud con orientación este a oeste, los dos surcos centrales se utilizaron como parcela útil. Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹ (urea, 46 % N), 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato de calcio triple, 46% P) y 100 kg ha⁻¹ K₂O (sulfato de potasio, 60 % K), aplicando la mitad de N y todo el P y K al momento de la siembra, el resto del N a los 35 días después de la siembra (dds). Se aplicó un riego de inicio, para evitar que el cultivo entrara en estrés hídrico, durante las primeras etapas de crecimiento del

cultivo. El manejo de arvenses fue de manera manual. En cada año de estudio, los tratamientos se realizaron en la fase de prefloración en maíz y consistió, en la defoliación del 30% del total de hojas (90.5 dm^{-2} aproximadamente) a partir de la base del tallo en los tres estratos: a) inferior (DEI); b) medio (DEM); c) superior (DES); d) defoliación total de láminas (DTP) y e) un testigo sin defoliación (SD). El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial y se evaluó bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \beta_k + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} , es la variable respuesta del i-ésimo nivel A (estrato de defoliación), en el i-ésimo nivel B (año de estudio) en el j-ésimo bloque.

μ , es la media general verdadera.

A_i , es el efecto del i-ésimo estrato de defoliación.

B_j , es el efecto del j-ésimo año de estudio.

β_k , es el efecto del k-ésimo bloque o repetición.

$(AB)_{ij}$, es el efecto de la interacción del i-ésimo estrato de defoliación, en la j-ésimo año de estudio.

ϵ_{ijk} , es el error experimental del i-ésimo estrato de defoliación, en el j-ésimo año de estudio en el k-ésimo bloque o repetición.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$) promedio decenal, precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev, mm)

total decenal, los cuales se obtuvieron de la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. A demás se cuantificaron los días a ocurrencia de las fases fenológicas como: emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) para frijol, se tomaron de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993), mientras que para maíz, los días a: emergencia (E), floración (R1) y madurez fisiológica (R6) según en Hanway (1963). A la cosecha en frijol se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), y sus componentes como: número de vainas m⁻² (NV); número de granos por vaina (GV); peso de 100 granos (PCG); número de granos m⁻² (NG), biomasa (MS total; g m⁻², BT); índice de cosecha (IC) con la relación $IC = RG/BT$. En maíz se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²); número de hileras (NH); número de granos por hilera (NGH); longitud de mazorca (LM); diámetro de mazorca (DM); peso de 100 granos (PCG); número de granos m⁻² (NG); biomasa (MS total; g m⁻², BT), índice de cosecha (IC) con la relación $IC = RG/BT$. Se realizó un análisis económico del agrosistema frijol-maíz, utilizando la relación: $IN = Y \cdot Py - (\sum X_i P_i + CF)$, donde: IN=ingreso neto, Y=rendimiento de grano (kg ha⁻¹), Py = precio por kilogramo, $\sum X_i P_i$ = suma de costo variable, CF=costo fijo (Volke, 1982). La tasa de retorno, se calculó mediante la siguiente ecuación IN/CT , donde: IN = ingreso neto y CT= costo total. A los datos de las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza combinando años x defoliación mediante el programa SAS 9.3 (2011) y la prueba de comparación de medias de tratamientos Tukey $\alpha = 0.05$, así como un análisis de regresión entre el RG y sus componentes.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fenología y elementos del clima

En las Figuras 1 (2010) y 2 (2011), se presenta los días a ocurrencia de las fases fenológicas, durante el desarrollo del experimento, el promedio decenal de temperatura máxima, mínima y total decenal de la precipitación, y evaporación.

2010

Tanto en maíz como en frijol los días a ocurrencia de las fases fenológicas fue similar entre tratamientos. En frijol la emergencia (VE) fue a los 9 días después de la siembra (dds), la R6 a los 65 dds y la R9 a los 125 dds, tiempo similar al reportado en frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol sin defoliación por Salinas *et al.* (2008); Díaz *et al.* (2010), para la región de Texcoco, México. En maíz, la emergencia fue a los 10 dds, la R1 a los 68 dds y la R6 a los 145 dds. En la Figura 1, se observó que durante la etapa vegetativa (EVG) y reproductiva (ER) del cultivo, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 34 °C y 5 °C y de 27 °C y 8 °C, respectivamente. La T_{máx} fue superior a la óptima para frijol que se reporta de 25°C a 27 °C (Masaya y White, 1991; Tadashi *et al.*, 2003), lo que pudo limitar una mayor expresión del crecimiento y por lo tanto el rendimiento de grano. En maíz, la T_{máx} más alta (35°C) se observó durante las primeras etapas de crecimiento. En este sentido, Tollenar *et al.* (1979); Ritchie y NeSmith (1991), mencionan que la temperatura alta favorece un mayor tamaño del dosel vegetal. Así mismo, la PP estacional fue de 462 mm, de la cual el 35 % ocurrió en la EVG y el 65 % en la ER, por lo que debido al prolongado período de altas temperaturas (35°C), la escasa PP

(170 mm) durante las primeras etapas de crecimiento y la elevada tasa de evaporación (mayor 50 mm), durante este periodo generó un elevado déficit hídrico durante la EVG (Figura 1), que se asume limitó el tamaño del dosel en los cultivos que conforman el agrosistema asociado.

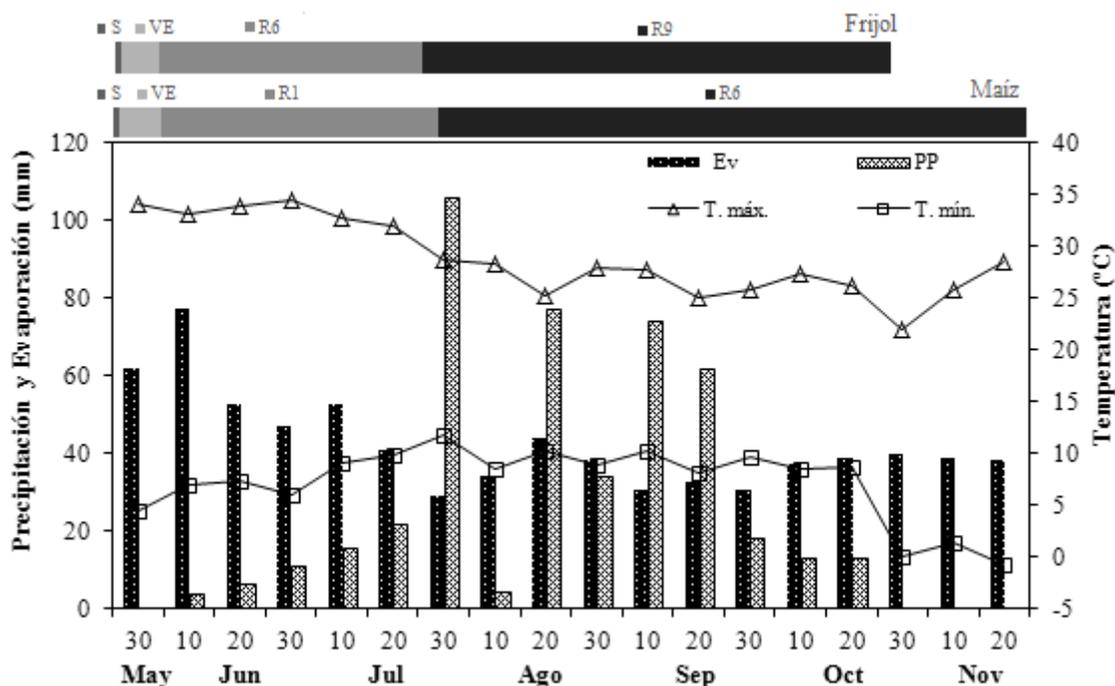


Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, VE: Emergencia frijol, R6: Floración frijol, R9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, VE: Emergencia maíz, R1: Floración maíz, R6: Madurez fisiológica maíz. 2010.

2011

Como en 2010, los días a ocurrencia a las fases fenológicas de las especies en cuestión, fue similar entre tratamientos. Así la emergencia se presentó a los 8 y 10 dds, la R6 y R1 a los 60 y 65 dds y la R9 y R6 a los 120 y 140 dds para frijol y maíz respectivamente. Herrera *et al.* (2001) reportaron que la fenología no fue modificada por la siembra simultánea de frijol de guía y maíz. El rango decenal de la T_{máx} durante el ciclo del cultivo fue entre 25°C y 35 °C y el de la T_{mín} entre -3°C y 10°C. La PP estacional fue de 463 mm, (25 % durante la EVG y el 75 % durante la ER). La mayor Ev (83 mm) ocurrió durante la EVG, la cual disminuyó conforme avanzaba el ciclo del cultivo. Sin embargo, durante mayor parte de la ER la Ev fue superior a la PP, lo que indica que el agrosistema estuvo sometido a un déficit hídrico severo, debido a la falta de agua durante esta etapa que pudo limitar el llenado de grano, y en consecuencia limitar el rendimiento de ambas especies asociadas, por otra parte, las altas temperaturas por lo general afectan negativamente la sincronía entre polen y estigma, viabilidad del polen, desarrollo del tubo polínico y en consecuencia la fecundación, por lo que, también es un factor que pudo limitar el rendimiento. (Tollenar *et al.*, 1979; Wallace, 1980). Por su parte, Bowes *et al.* (1972) reportaron que los cambios en temperatura y precipitación tienen mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta. Sani *et al.* (2011) mencionan que para maíz asociado con sorgo, se obtuvo una mayor eficiencia en el uso del agua que los monocultivos.

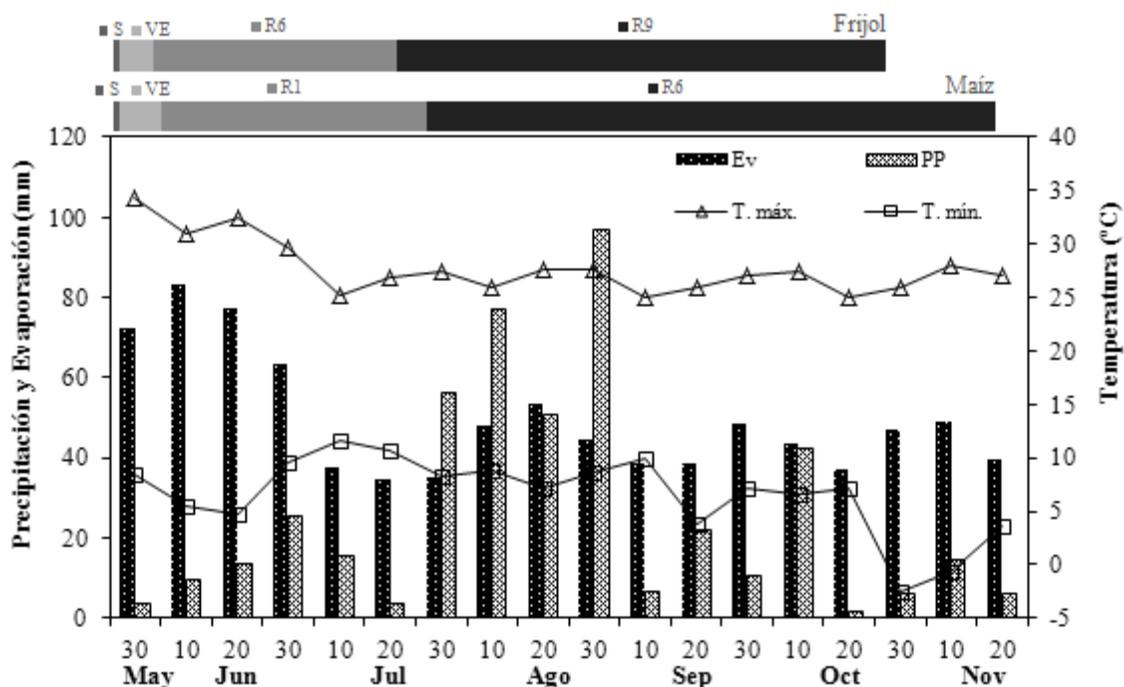


Figura 2. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, VE: Emergencia frijol, R6: Floración frijol, R9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, VE: Emergencia maíz, R1: Floración maíz, R6: Madurez fisiológica maíz. 2011.

5.2 Biomasa e Índice de cosecha en frijol

El análisis combinado de los años mostró con detalle el comportamiento del cultivo ante los tratamientos. La BT e IC mostraron cambios significativos por efecto del año, defoliación e interacción año*defoliación (Cuadro 1). La BT para el 2010 fue de 441 g m⁻² y de 368 g m⁻² en 2011(Cuadro 2). Una de las causas de dicho cambio, fue la variabilidad en la distribución de la PP (Escalante *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2010) ya que en 2010 la PP fue más alta en la EVG, lo que pudo generar un mayor tamaño del dosel, es decir una maquinaria fotosintética de mayor magnitud y en consecuencia una BT mayor que en 2011. En cuanto a la defoliación, la BT más alta (530 g m⁻²) se

encontró en el tratamiento DES (Cuadro 2), lo que ocasionó que las hojas del frijol recibieran mayor radiación solar, y en consecuencia la actividad fotosintética y la acumulación de BT fuera más alta (Monteith y Unsworth, 1990; Tsubo y Walker, 2004). La BT más baja (256 g m^{-2}) se encontró con DTP, probablemente debido a un efecto de fotoinhibición sobre el frijol, por un exceso de radiación incidente sobre el dosel, que posiblemente limitó la fotosíntesis y una mayor translocación de asimilados hacia el grano (Bielenberg *et al.*, 2003; Pastenes *et al.*, 2004). Respecto a la interacción A*D, con la combinación 2010*DES se logró la mayor BT (527 g m^{-2}); seguido de los tratamientos 2010*SD, 2011*DES y 2011*SD con 18% y 13% respectivamente inferior al más alto (Cuadro 3). Los valores más bajos correspondieron a los tratamientos DTP en ambos años. Cabe señalar que en cada año la mayor BT se obtuvo con el tratamiento DES. Al respecto, Tsubo y Walker (2004) también encontraron cambios en la BT en el maíz-frijol asociado con y sin sombreado y diferentes orientaciones de hilera. El IC más alto (42%) correspondió a 2010 en relación a 2011 (37%). Dicha respuesta puede estar relacionada con la PP más baja en la ER de 2011 que afectó la acumulación y distribución de fotosintatos hacia el grano. Muñoz *et al.* (2007) trabajando con genotipos de frijol reportan cambios en el IC debido a variaciones en la PP y cantidad de agua de riego de un año a otro. En relación a la defoliación, el IC fue más alto en DTP y DEM (45 y 44% respectivamente), y más bajo con SD y DEI (35 y 33%, respectivamente). Esto indica que el sombreado generado por el dosel del maíz al frijol particularmente del estrato medio, limitó la distribución de MS hacia el grano. Respecto a la interacción, el IC más alto correspondió a los tratamientos 2010*DES y 2010*DEM. El IC más bajo se

mostró en ambos años con el tratamiento SD (Cuadro 3). Esto indica que el sombreado ocasionado por el estrato foliar medio y superior del maíz, limita la distribución de materia seca hacia el grano del frijol.

5.3 Rendimiento de grano (RG) y sus componentes en frijol

El rendimiento en grano (RG) y sus componentes, excepto el GV, presentaron diferencias significativas por efecto de año, defoliación y la interacción año*defoliación (Cuadro 1). En relación al factor año, el RG más alto se observó en 2010 el cual superó 36% al de 2011 (Cuadro 2). Dichas diferencias pueden relacionarse con una menor PP durante la ER en 2011 (Figuras 1 y 2). Respecto a la defoliación, con la DES se logró el RG más alto (219 g m^{-2}) y fue superior 35 % al SD (testigo) (162 g m^{-2}), con un mayor NV (242 m^{-2}), NG (1681 m^{-2}) y PCG (34.3 g). El GV fue el componente que no mostró cambios significativos por efecto de tratamientos (Cuadro 2). El GV ha sido uno de los componentes del RG más estable, ante la variación en los elementos del clima (Tanaka y Fujita, 1979; Escalante, 1995). El RG más bajo se encontró en el tratamiento DTP. Esta respuesta sugiere que el sombreado del estrato superior del maíz hacia el frijol durante la ER limita el llenado del grano y en consecuencia el RG. De acuerdo con Gardiner y Craker (1981) estos resultados indican que una mayor radiación interceptada por el dosel del frijol, se traduce en una mayor acumulación de MS y RG. En cuanto a la interacción año*defoliación (Cuadro 3) el RG más alto se logró con la combinación 2010*DES (269 g m^{-2}), seguido de 2011*DES y 2011*DEM. Asimismo, el RG más bajo se encontró con DTP, 36 % menos, que el testigo sin defoliación (Cuadro 3).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con maíz.

	BT	IC	NV	GV	PCG	NG	RG
AÑO (A)	**	**	**	ns	**	**	**
DEFO (D)	**	**	**	**	**	**	**
A*D	**	**	**	ns	**	**	**
CV %	5.7	10.9	14.0	15.5	4.7	17.6	9.3

ns; *, **: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. CV: coeficiente de variación. BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; NV: Número de vainas; NG: Número de granos por vaina; PCG: Peso de 100 granos; NG: Número de granos m^{-2} ; RG: Rendimiento de grano.

Cuadro 2. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año y defoliación en siembra asociada con maíz.

	BT	IC	NV	GV	PCG	NG	RG
	g m^{-2}	%	m^{-2}		g	m^{-2}	g m^{-2}
2010	441a	42a	159b	6a	32.3b	1068b	184a
2011	368b	37b	184a	6a	34.4a	1208a	135b
DEI	455b	33c	179b	6b	33.4a	1084b	151c
DEM	328c	44a	153b	7a	34.2a	1074b	148c
DES	530a	41b	242a	7a	34.3a	1681a	219a
DTP	256d	45a	126c	6b	34.8a	743c	115d
SD	457b	35c	159b	7a	33.7a	1109b	162b

^aValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$). BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; NV: Número de vainas; NG: Número de granos por vaina; PCG: Peso de 100 granos; NG: Número de granos m^{-2} ; RG: Rendimiento de grano.

Cuadro 3. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con maíz.

AÑO	DEFO	BT g m ⁻²	IC %	NV m ⁻²	GV	PCG g	NG m ⁻²	RG g m ⁻²
2010	DEI	429b	32c	128c	6a	33.2c	769d	138c
	DEM	382c	52a	177b	7a	32.8c	1240b	200b
	DES	527a	51a	244a	7a	35.1b	1705a	269a
	DTP	283d	44b	109d	6a	30.8d	654e	127c
	SD	488b	37c	139c	7a	29.8d	975c	185b
2011	DEI	412b	23d	158b	6a	32.0c	909c	97d
	DEM	373c	43b	229a	7a	35.0b	1399b	164c
	DES	433b	43b	241a	7a	33.6c	1657a	189b
	DTP	259d	39c	122c	6a	37.5a	833c	103d
	SD	426b	32c	179b	7a	33.9c	1243b	140c

zValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$). BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; NV: Número de vainas; NG: Número de granos por vaina; PCG: Peso de 100 granos; NG: Número de granos m⁻²; RG: Rendimiento de grano.

5.4 Relaciones entre el rendimiento de frijol y sus componentes

En la Figura 3, se muestra que la relación entre el RG y sus componentes, para 2010 y 2011, fue lineal ($RG = 18.20 + 1.03NV$; $RG = 27.91 + 0.58 NV$, Figura 3b y 3e, respectivamente) y se observa que el NV m⁻² fue el componente que mejor explicó el aumento en el RG m⁻² ($R^2 = 0.94^{**}$, Figura 3b y $R^2 = 0.82^{**}$, Figura 3e), seguido del NG m⁻² ($R^2 = 0.86^{**}$, $R^2 = 0.78^{**}$, Figura 3a y 3d, respectivamente). Así mismo, el NG y el NV también presentaron una relación lineal ($NG = 182.1 + 7.84NV$, $R^2 = 0.87^{**}$, Figura 3c y $NG = 65.58 + 6.21NV$, $R^2 = 0.80^{**}$ Figura 3f), por lo que los cambios en el NG m⁻² se determinaron, en principio, por los cambios en el NV m⁻².

Estos resultados sugieren que para lograr un alto RG del frijol se requiere incrementar el número de vainas y granos.

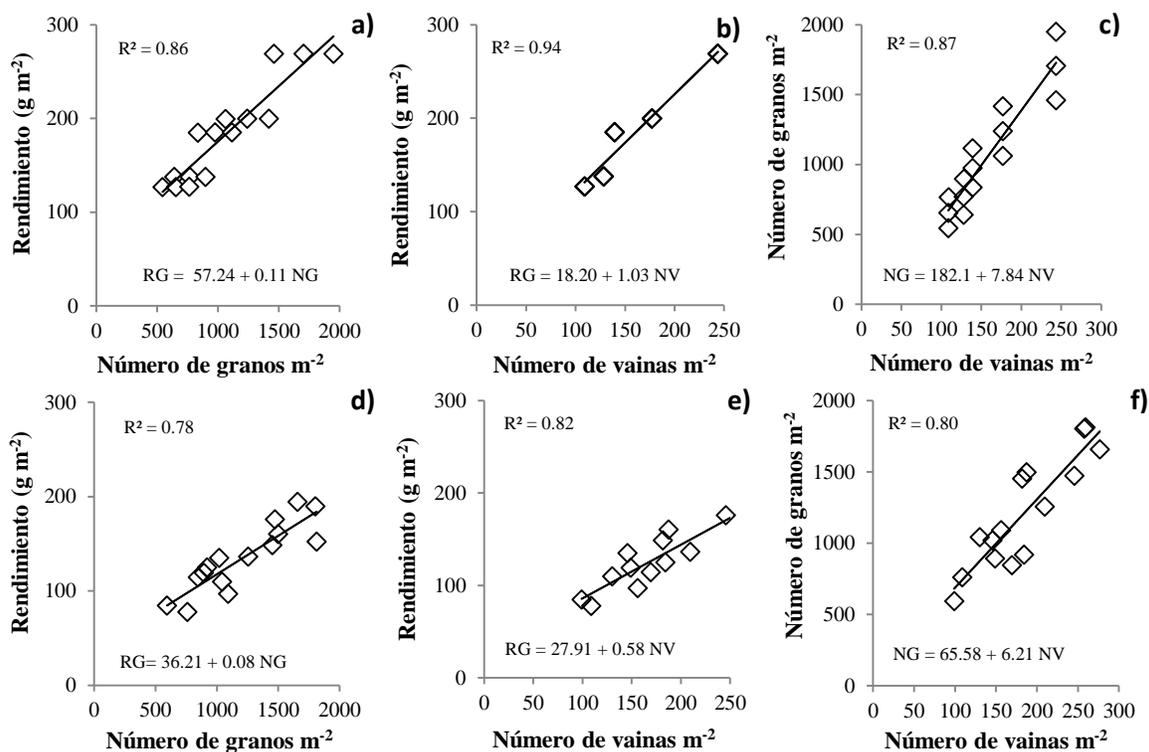


Figura 3. Relación entre el rendimiento, número de granos m⁻² y número de vainas m⁻² en frijol. Montecillo, México. Verano, 2010 (a, b, c) y 2011 (d, e, f).

5.5 Biomasa e Índice de cosecha en maíz

La BT e IC mostraron cambios significativos entre años, defoliación e interacción año*defoliación (Cuadro 4). La BT de 2010 fue superior en 45 % a la de 2011, debido a que los elementos del clima fueron más favorables para el crecimiento del cultivo, particularmente la PP durante la ER (Figura 1). Dichas respuesta también fue observada por Cirilo y Andrade (1996). La eliminación de hojas en maíz ocasionó reducciones en su BT. Así, dicha reducción con el tratamiento DES fue de 11%, con

DEI de 13%; y con DEM de 28% (Cuadro 5), lo que puede deberse en parte a la reducción de MS por el estrato foliar eliminado y a la reducción de la actividad fotosintética de la planta, en este caso al mayor porcentaje de laminas foliares eliminadas. La defoliación total (DTP) redujo en 48% la producción de BT en relación a SD (Cuadro 5). Pendleton y Hammond (1969); Rajcan *et al.* (1999) en estudios sobre defoliación de maíz, indican que el potencial fotosintético de las hojas del tercio superior es mayor que el del tercio medio e inferior. En relación, a la interacción A*D, el tratamiento SD en ambos años presentó la mayor BT, seguido de DEI y el valor más bajo correspondió a SD en ambos años (Cuadro 6). En relación al IC, el maíz de 2011 presentó un IC más alto (35%) en relación a 2010 (29%), debido a que la mayor disponibilidad de agua producto de una PP más alta durante la ER (Figura 2), influyó para una mayor distribución de MS hacia el grano. Respecto a la defoliación, el tratamiento DEM fue el que presentó el IC más alto (40%), seguido del DEI, DTP y los más bajos correspondieron a SD y DES con 27 y 28%, respectivamente. Dicha respuesta, se puede deber a que la BT fue más baja en los tratamientos donde se eliminó las hojas, puesto que el peso de la materia seca de estas no se incorporó al final y en consecuencia los IC fueron más altos. Respecto a la interacción el IC más alto se encontró con la combinación 2011*DEM, seguido de 2011*DEI y 2010*DTP, los IC más bajos correspondieron a 2011*DES y 2010*DES con 28% y 27%, respectivamente (Cuadro 6).

5.6 Rendimiento de maíz y sus componentes

El RG, NG, LM, DM y NGH mostraron cambios significativos por efecto de año, defoliación y la interacción A*D. (Cuadro 4). El PCG presentó diferencias significativas solamente por defoliación. En contraste, el NH no mostró cambios significativos por efecto de tratamiento (Cuadro 5). Respecto al factor año, debido a la mayor disponibilidad de agua durante el periodo de llenado de grano del maíz (Figura, 1), el RG de 2010 fue superior en 37% a 2011. En relación, a la defoliación, la eliminación total de las hojas (DTP) y particularmente las de arriba de la mazorca (DES) provocaron un abatimiento en el NG, NGH, DM, LM y en el RG del maíz. Dicha reducción puede deberse a que las hojas arriba de la mazorca son las que más contribuyen al llenado del grano y las del estrato inferior particularmente con la redistribución de fotosintatos hacia el grano. (Pommel *et al.*, 2006; Chauhan y Halima, 2003). El NH no fue afectado por los tratamientos, lo que indica que es un componente de mayor estabilidad, ante cambios ambientales y poda foliar (Subedi y Ma, 2005a; Subedi y Ma, 2005b).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con frijol.

	BT	IC	LM	DM	NH	NGH	PCG	NG	RG
Año (A)	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**
TRAT (T)	**	**	**	**	ns	**	**	**	**
A*T	**	**	**	**	*	**	ns	**	**
CV %	12.2	5.6	4.2	4.9	8.5	16.5	9.6	18.4	16.5

ns; *, **: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. CV: coeficiente de variación. BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: Número de hileras; NGH: Número de granos por hilera; PCG: Peso de cien granos; NG: Número de granos m^{-2} ; RG: Rendimiento de grano.

Cuadro 5. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año y defoliación en siembra asociada con frijol.

	BT	IC	LM	DM	NH	NGH	PCG	NG	RG
	g m ⁻²	%	cm	cm			g	m ⁻²	g m ⁻²
2010	2578a	29b	15.2a	4.7a	14a	32a	31.6a	2430a	768a
2011	1415b	35a	12.1b	4.1b	14a	24b	31.3a	1546b	484b
DEI	2187b	32b	14.3a	4.4a	14a	28a	32.4a	2027b	657a
DEM	1794c	40a	14.1a	4.5a	13a	30a	30.0b	2280a	684a
DES	2216b	28c	13.8a	4.5a	13a	29a	32.6a	1730c	564b
DTP	1285d	35b	12.0b	4.2b	13a	25b	28.6c	1975b	565b
SD	2502a	27c	14.0a	4.7a	14a	31a	33.6a	1964b	660a

^zValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$).
 BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: Número de hileras; NGH: Número de granos por hilera; PCG: Peso de cien granos; NG: Número de granos m⁻²; RG: Rendimiento de grano.

Cuadro 6. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con frijol.

AÑO	TRAT	BT g m ⁻²	IC %	LM cm	DM cm	NH	NGH	PCG g	NG m ⁻²	RG g m ⁻²
2010	DEI	2968a	25d	15.1a	4.6a	14a	31a	32.4a	2370a	768a
	DEM	2368b	34c	15.9a	4.7a	13b	34a	30.0b	2710a	813a
	DES	2843a	28d	15.2a	4.7a	14a	33a	32.6a	2156b	703a
	DTP	1589c	37b	15.3a	4.8a	14a	29b	29.2b	2544a	743a
	SD	3121a	23d	14.7b	4.8a	14a	34a	33.6a	2413a	811a
	DEI	1407c	39b	13.6b	4.4b	14a	25b	32.4a	1685b	546b
2011	DEM	1219d	45a	12.4b	4.4b	13b	25b	30.0b	1850b	555b
	DES	1589c	27d	12.5b	4.4b	13b	24b	32.6a	1300c	424b
	DTP	980d	32c	8.8c	3.6c	13b	18c	28.0b	1135c	318c
	SD	1882b	31c	13.5b	4.6b	14a	27b	33.6a	1714b	576b

²Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$). BT: Biomasa total; IC: Índice de cosecha; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: Número de hileras; NGH: Número de granos por hilera; PCG: Peso de cien granos; NG: Número de granos m⁻²; RG: Rendimiento de grano.

5.7 Producción y rentabilidad del agrosistema asociado frijol-maíz

El análisis económico para los diferentes tratamientos muestra que la tasa de retorno (TR) fue un indicador de la factibilidad económica para este agrosistema, dicha ganancia fue mayor en el año 2010 que en el 2011 (Cuadro 7), por lo que la fluctuación de precios que se presentó en estos años, respecto a los costos de producción y precio de venta de grano para ambas especies fue factor determinante en dicha variación (SIAP, 2010; SIAP, 2011), además de los altos rendimientos en el primer año. Santalla *et al.* (2001); Khan *et al.* (2008); indican que la TR es el criterio más importante para que los agricultores definan el éxito de un agrosistema. Para la

interacción A*D, la mayor ganancia económica se obtuvo con 2010*DES y 2010*SD, y la más baja fue en 2011 con los tratamientos DTP y DEI, respectivamente (Cuadro 8). Esto debido al mayor rendimiento que se obtuvo con dichos tratamientos en el primer año, además de los costos de manejo del cultivo y el precio del grano al momento de venta. Cabe señalar que la venta de rastrojo de maíz aumentó la ganancia económica, y puede ser una ventaja más de este agrosistema.

En general las diferencias en la BT, IC, el RG y sus componentes entre años de estudio, se relacionan con la variabilidad en los elementos del clima, particularmente con la distribución de la precipitación. En cuanto al efecto de la defoliación, eliminar las hojas del estrato superior en maíz ocasiona incrementos en la BT, IC, RG y componentes del frijol. Sin embargo, estos ocasionan reducciones en la BT y RG del maíz. No obstante, en ambos años con dicho tratamiento se logró la mayor ganancia económica del agrosistema maíz-frijol junto con el tratamiento sin defoliación. Cabe señalar que si el interés principal es el cultivo del frijol se recomendaría la defoliación del maíz.

Cuadro 7. Análisis económico y tasa de retorno, del agrosistema asociado frijol-maíz en función del año y defoliación. Montecillo, México. Verano 2010-2011.

	RGF	RGM	RM	CF	CV	CT	IT	IN	TR
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	\$	\$	\$	\$	\$	
2010	1,840	7,680	25,780	9,450.00	3,600.00	13,050.00	52,310.00	39,260.00	3,0
2011	1,350	4,840	14,150	9,450.00	3,600.00	13,050.00	35,560.00	22,510.00	1,7
DEI	1,510	6,570	21,870	9,450.00	3,600.00	13,050.00	44,240.00	31,190.00	2,4
DEM	1,480	6,840	17,940	9,450.00	3,600.00	13,050.00	44,990.00	31,940.00	2,4
DES	2,190	5,640	22,160	9,450.00	3,600.00	13,050.00	48,000.00	34,950.00	2,7
DTP	1,150	5,650	12,850	9,450.00	3,600.00	13,050.00	36,600.00	23,550.00	1,8
SD	1,620	6,600	25,020	9,450.00	2,700.00	12,150.00	45,570.00	33,420.00	2,8

RGF: Rendimiento de grano frijol; RGM: Rendimiento de grano maíz; RM: Rastrojo maíz; CF: Costo fijo; CV: Costo variable; CT: Costo total; IT: Ingreso total; IN: Ingreso neto; TR: Tasa de retorno.

Cuadro 8. Análisis económico y tasa de retorno marginal, del agrosistema asociado frijol-maíz en función de la interacción año x defoliación. Montecillo, México. Verano 2010-2011.

AÑO	DEF	RGF	RGM	RM	CF	CV	CT	IT	IN	TR
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	\$	\$	\$	\$	\$	
2010	DEI	1,380	7,680	29,680	9,450.00	3,600.00	13,050.00	47,250.00	34,200.00	2,6
	DEM	2,000	8,130	23,680	9,450.00	3,600.00	13,050.00	55,870.00	42,820.00	3,3
	DES	2,690	7,030	28,430	9,450.00	3,600.00	13,050.00	59,060.00	46,010.00	3,5
	DTP	1,270	7,430	15,890	9,450.00	3,600.00	13,050.00	45,040.00	31,990.00	2,5
	SD	1,850	8,110	31,210	9,450.00	2,700.00	12,150.00	54,140.00	41,990.00	3,5
2011	DEI	970	5,460	14,070	9,450.00	3,600.00	13,050.00	33,860.00	20,810.00	1,6
	DEM	1,640	5,550	12,190	9,450.00	3,600.00	13,050.00	41,590.00	28,540.00	2,2
	DES	1,890	4,240	15,890	9,450.00	3,600.00	13,050.00	39,100.00	26,050.00	2,0
	DTP	1,030	3,180	9,800	9,450.00	3,600.00	13,050.00	25,400.00	12,350.00	0,9
	SD	1,400	5,760	18,820	9,450.00	2,700.00	12,150.00	39,790.00	27,640.00	2,3

DEF: Defoliación; RGF: Rendimiento de grano frijol; RGM: Rendimiento de grano maíz; RM: Rastrojo maíz; CF: Costo fijo; CV: Costo variable; CT: Costo total; IT: Ingreso total; IN: Ingreso neto; TR: Tasa de retorno.

VI. CONCLUSIONES

En la asociación maíz-frijol la defoliación del maíz en prefloración afecta los componentes del rendimiento, rendimiento de grano, biomasa e índice de cosecha del frijol. El estrato superior del dosel del maíz es el que limita en mayor grado el número de vainas, número de granos y en consecuencia el rendimiento y la producción de biomasa del frijol. En maíz la reducción de la fuente de fotosintatos ocasiona una disminución en el número de granos y en el rendimiento en grano. En general, la mayor ganancia económica del agrosistema se logra al defoliar el estrato superior en el maíz.

VII. LITERATURA CITADA

- Beddington, J. 2011. Achieving food security in the face of climate change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.
- Bielenberg, D. G.; Miller, J. D.; Berg, V. S. 2003. Paraheliotropism in two *Phaseolus* species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange. *Environmental and Experimental Botany* 49: 95-105.
- Bowes, G. W.; Ogren, L.; and Hageman, R. H. 1972. Light saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop Science* 12:77-79.
- Chauhan, S. S. and Halima, H. 2003. Effect of rate of maize leaf defoliation at various growth stages on grain, stover yield components of maize and undersown forage production. *Indian Journal Agricultural Research* 37:136-139.
- Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science* 36:325-331.
- Díaz, L. E.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. T. y Gaytán, A. A. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16:215-221.
- Escalante, E. J. A.; Kohashi, S. J.; Gómez, R. O. B. 1980. Efecto del sombreado artificial en tres épocas a partir de la floración sobre el rendimiento en

- semillas y sus componentes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 42:5-16.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.
- Escalante, E. J. A. .S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 1:28-32
- Escalante, E. J. A.; Escalante, L. E.; Rodríguez, G. M. T. 2001. Producción de frijol en dos épocas de siembra: Su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. *Terra* 19:309-315.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Moreira, A. and Portes, T. A. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 33:2167-2181.
- Francis, C. A. 1986. Multiple cropping systems. Mac Millan, New York. 383 p.
- Francis, C. A. 1989. Biological efficiencies in multiple-cropping systems. *Advantages Agronomy*. 42 p.
- Khan, Z. R.; Midega, C. A.O.; Njuguna, E. M.; Amudavi, D. M.; Wanyama, J. M.; Pickett J. A. 2008. Economic performance of the “push–pull” technology for stemborer and Striga control in smallholder farming systems in western Kenya. *Crop Protection* 27: 1084–1097.
- García, E. L. 2005. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4a ed. UNAM. D.F. México. 217 p.

- Gardiner, T. R., and Craker, L. E. 1981. Bean growth and light interception in a bean-maize intercrop. *Field Crop Research* 43:13–320.
- Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 55:487-492.
- Herrera, C. B. E.; Delgado, A. A.; Díaz, R. R. 2001. Asociación maíz-frijol de guía bajo temporal en Cuauhtinchán, Puebla, México. *Agricultura Técnica en México* 27:153-161.
- Liu, Y.; Wang, E. L.; Yang, X. G. and Wang, J. 2010. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biol.* 16: 2287–2299.
- Masaya, P., and White, J. W. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: Schoonhoven A. V., and O. Voysest (eds). *Common Beans: Research for Crop Improvement*. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp: 445–500.
- Monteith, J. L., and Unsworth, M. 1990: *Principles of Environmental Physics*, 2nd edn. Edward Arnold, London.
- Morales, R. E.; Escalante, E. J. A.; Tijerina, L.; Volke, V. H. y Sosa, E. 2006. Biomasa, Rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra* 24: 55-64.
- Muñoz, P. C.; Allen, R. G.; Westermann, D. T.; Wright, J. L.; Singh, S. P. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Euphytica* 155:393-402.

- Ogindo, H. O. and Walker, S. 2005. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rained maize-bean intercrop and component cropping in semi-arid region in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 30:799-808.
- Pastenes, C.; Porter, V.; Baginsky, C.; Horton, P.; González, J. 2004. Paraheliotropism can protect water-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants against photoinhibition. *Journal of Plant Physiology* 161: 1315-1323.
- Pendleton, J. W.; and Hammond, J. J. 1969. Relative photosynthetic potential for grain yield of various leaf canopy levels of corn. *Agronomy Journal* 61:911-913.
- Pommel, B.; Gallais, A.; Coque, M.; Quillere, I.; Hirel, B.; Prioul, J.L.; Andrieu, B., Floriot, M. 2006. Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *European Journal Agronomy* 24: 203–211.
- Rajcan, I.; Dwyer, L. M. and Tollenaar, M. 1999. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. *Field Crops Research* 63:13-17.
- Ritchie, J. T. and NeSmith, D. S. 1991. Temperature and crop development. p. 5–29. In J. Hanks and J. T. Ritchie (ed.) *Modeling plant and soil systems*. Agron. Monogr. 31. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Salinas, R. N.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T.; Sosa, M. E. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:235-241.

- Sani, B. M.; Danmowa, N. M.; Sani, Y. A. and Jaliya, M. M. 2011. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science* 19: 253-259.
- Santalla, M.; Rodiño, A. P.; Casquero, P. A.; de Ron, A. M. 2001. Interactions of bush bean intercropped with field and sweet maize. *European Journal of Agronomy* 15:185-196
- SAS Institute Inc. 2011. SAS® 9.3 Guide to Software Updates. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero. Versión digital. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011. Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero. Versión digital. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Subedi, K. D.; Ma B. L. 2005a. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. *Crop Science* 45: 2246–2257.
- Subedi, K. D.; Ma B. L. 2005b. Nitrogen uptake and partitioning in stay green and leafy maize hybrids. *Crop Science* 45:740-747.
- Tadashi, T.; Yoshinobu, K.; Hiroyuki, T.; Katsumi, S.; Yoshinobu, E. 2003. Water Status of Flower Buds and Leaves as Affected by High Temperature in

- Heat-Tolerant and Heat-Sensitive Cultivars of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Production Science* 6:24-27.
- Tanaka, A. and Fujita K. 1979. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. *Journal of the Faculty Agriculture Hokkaido University* 59:145-238.
- Tollenar, M.; Daynard, T. B. and Hunter, R. B. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19:363-366.
- Tsubo, M. and Walker, S. 2004. Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under Well-Watered Conditions. *Journal Agronomy & Crop Science* 190:168-176.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.
- Wallace, D. H. 1980. Adaptation of *Phaseolus* to different environments. In: R.J. Summerfield & A.H. Bunting (Eds.). *Advances in Legume Science*. Royal Botanic Garden, England. pp: 349–357.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management*. 17:215-231.

CAPÍTULO II. PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DEL FRIJOL EJOTERO EN ESPALDERA VIVA CON NITRÓGENO Y CAMBIOS EN DENSIDAD

I. RESUMEN

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es importante para la alimentación humana por su alto contenido de proteína, fibra, calcio y vitamina A. Los cultivares de guía requieren de un soporte para su crecimiento, lo cual eleva el costo de producción. El uso de espaldera viva ayudaría a reducir dicho costo. Para incrementar el rendimiento de este agrosistema, se requiere conocer el manejo más apropiado en cuanto a la fertilización y densidad de población. Así, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la densidad de población y nitrógeno sobre el rendimiento FE en espaldera viva de maíz. La siembra se realizó en Montecillo, Estado de México, bajo régimen de lluvia. Se usó como espaldera maíz criollo azul, para FE, el cultivar “Hav-14” de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV). Los tratamientos fueron: a) densidad de una, dos y tres plantas de frijol (4, 8 y 12 pl m⁻², respectivamente) por una de maíz; y b) 0, 75 y 150 kg·ha⁻¹ de N, que generaron nueve combinaciones de tratamientos. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La fenología del FE, fue similar entre tratamientos. El mayor rendimiento y número de ejotes se logró con dos plantas de FE por mata y 150 kg·ha⁻¹ de N. Independientemente de los tratamientos, en el cuarto y quinto corte se encontró el mayor rendimiento. La mayor eficiencia en el uso del agua y mayor ingreso neto se

logró con densidades de dos plantas de frijol por mata y niveles altos de nitrógeno.

Dichos resultados se logran con 950 °C d y 190 mm de ETc.

Palabras clave: Eficiencia agronómica, nitrógeno, evapotranspiración, fenología

PRODUCTION AND PROFITABILITY OF SNAP BEANS IN LIVING TRELLISES WITH NITROGEN AND CHANGES IN DENSITY

II. ABSTRACT

The snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) is important for human consumption due to its high content of protein, fiber, calcium and vitamin A. Some cultivars require supporting their growth, which raises the production cost. The use of trellis live helps reduce this cost. To increase the yield of this agrosistema, knowledge of the management appropriate in terms of fertilization and density. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of population density on yield and nitrogen FE corn living trellis. Sowing was done in Montecillo, State of Mexico, on rain regime. Trellis was used as blue landraces to FE, the cultivar "Hav-14" indeterminate climbing growth habit (Type IV). The treatments were: a) density of one, two and three bean plants (4, 8 and 12 pl m⁻², respectively) for a corn and b) 0, 75 and 150 kg • ha⁻¹ of N, generating nine combinations of treatments. The experimental design was randomized complete block with split plot arrangement and four replications. FE phenology was similar between treatments. The highest yield and number of beans was achieved with two plants per hill FE and 150 kg • ha⁻¹ of N. Regardless of treatments, in the fourth and fifth court found the highest performance. The greater efficiency in water use and increased net income was achieved with densities two bean plants per one of corn and high nitrogen levels.

Key words: agricultural efficiency, nitrogen, evapotranspiration, phenology.

III. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se ha cultivado principalmente para consumirse como grano seco, no así como ejote, el cuál presenta alta calidad nutritiva, 28% de proteína, 22% de fibra detergente acida y 1.8 % de calcio (base seca), vitaminas principalmente del complejo B (Salinas *et al.*, 2008) y medicinal, pues estudios clínicos demuestran que su consumo ayuda a reducir el riesgo de cáncer de colon, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Bennink, 2005). Datos del SIAP (2010), indican que el consumo per cápita de frijol ejotero en México se ha incrementado en los últimos años de 0.9 a 1.1 kg. Sin embargo, para atender la demanda de frijol ejotero (FE) es necesario aumentar la producción y mejorar su calidad nutricional. A través, de la selección de cultivares apropiados, que se adapten a diversos ambientes y condiciones de manejo.

Por otra parte, la siembra de FE, se ha realizado en unicultivo para los de hábito determinado (tipo I y II) y los de hábito indeterminado (tipo III y IV), que requieren un soporte para su crecimiento, se han sembrado en espaldera convencional o asociado con otra especie (Díaz *et al.*, 2010; Delgado *et al.*, 2011). El manejo de dicho agrosistema debe adecuarse para esta región, para que el FE exprese su máxima producción y calidad. Las espalderas del frijol de crecimiento indeterminado trepador comúnmente son estructuras de madera, metálicas o de concreto, así como malla de plástico (Salinas *et al.*, 2008) que incrementan el costo de producción. Para reducir dicho costo, se ha utilizado como espaldera viva al maíz, girasol y algunos frutales.

Puesto que el rendimiento y la eficiencia en el uso de los insumos agrícolas de un cultivo dependen del genotipo, condiciones agroclimáticas y las prácticas de manejo del cultivo (Cui *et al.*, 2010); y dentro de éstas, la fertilización nitrogenada y la densidad de población se consideran como unas de las de mayor importancia, para incrementar el rendimiento del FE (Peixoto *et al.*, 2001). Peck y MacDonald (1983) al evaluar en campo dosis de nitrógeno en frijol ejotero, reportaron incrementos en el rendimiento de ejote cuando se suministró una mayor cantidad de N.

Por otra parte, Tolera *et al.* (2005) indican que a mayor densidad de población de frijol asociado con maíz se hace un mejor aprovechamiento de los recursos agrícolas y en consecuencia se obtiene un mayor rendimiento de grano. Por lo que el suministro de nitrógeno y el aumento de la densidad de plantas incrementarían el rendimiento de FE. Los objetivos del estudio fueron: a) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y la densidad de población sobre el rendimiento, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica y rentabilidad del frijol ejotero en espaldera viva de maíz y b) determinar la cantidad de calor y evapotranspiración acumulada durante el ciclo del frijol ejotero.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La siembra de FE cultivar Hav-14 de hábito indeterminado trepador (Tipo IV) se realizó el 17 de mayo 2010, en espaldera viva de maíz azul cv. San Miguelito de la raza Chalqueño, la distancia entre matas fue de 0.30 m y 0.80 m entre hileras, durante la época de lluvias estacionales en Montecillo, México. El clima es el menos seco de los áridos con lluvias en verano (BS1, García, 2004), una temperatura media anual de 14.6 °C y una precipitación anual de 558 mm. El suelo es de textura arcillo-limosa, medianamente alcalina (pH de 7.8), la conductividad eléctrica de 1.7 dSm⁻¹ (sin problemas de salinidad). Respecto a las propiedades químicas, el contenido de materia orgánica es alto de 3.4%, y el nitrógeno total de 0.158 % (alto).

Los tratamientos consistieron en la siembra a densidad de, una, dos y tres plantas de frijol (4, 8 y 12 pl m⁻², D1, D2, D3, respectivamente) por una de maíz con 0, 75 y 150 kg·ha⁻¹ de N (N0, N75 y N150, respectivamente). Esto generó nueve combinaciones de tratamientos. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se registraron las etapas fenológicas, de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993).

De la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, se recopilaron datos sobre temperatura máxima (T_{máx}, °C) y mínima (T_{mín}, °C), precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev, mm).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) ($mm \cdot d^{-1}$) se calculó mediante la ecuación $ET_c = E_v \cdot K_e \cdot K_c$, donde: E_v = evaporación del tanque tipo A; K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y K_c = coeficiente del cultivo (0.65 para frijol). Así mismo, se calculó las unidades calor (UC) ($^{\circ}C \cdot d^{-1}$), mediante el método residual, $UC = \sum [((T_{máx} + T_{mín})/2) - T_b]$; donde: T_b = temperatura base ($10^{\circ}C$ para frijol, Escalante *et al.*, 2001).

Se evaluó el rendimiento de ejote en fresco (RE , $g \cdot m^{-2}$) y número de ejotes de longitud mayor a 10 cm (NE , m^{-2}), por corte, realizados a intervalos de 3 d y el RE y NE total. La eficiencia en el uso del agua (EUA , $g \cdot m^{-2} \cdot mm^{-1}$) se calculó con la relación: $EUA = RE/ET_c$ (Escalante, 1995).

La eficiencia agronómica del N, considerada como el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado, se calculó con la siguiente relación: $EA = (REF - RET)/F$ Donde: REF = rendimiento de ejote del cultivo fertilizado; RET = rendimiento de ejote del testigo y F = cantidad del fertilizante aplicado (Escalante y Rodríguez, 1994).

Se realizó un análisis económico al RE , utilizando la relación: $IN = Y \cdot P_y - (\sum X_i P_i + CF)$, donde: IN = ingreso neto, $Y = RE \cdot kg \cdot ha^{-1}$, P_y = precio por kg, $\sum X_i P_i$ = suma de costo variable, CF = costo fijo. A las variables evaluadas se les aplicó un análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fenología del cultivo de FE

La ocurrencia de las etapas fenológicas en el FE fue similar entre tratamientos. Así, la emergencia (E) fue a los 9 días después de la siembra (dds), la floración (R6) a los 65 dds e inicio de formación de vaina a partir de los 72 dds y hasta los 95 dds fecha del último corte. La ocurrencia de las fases fenológicas fue similar a la reportada para la misma región, por Díaz *et al.* (2010) y Salinas *et al.* (2008), con frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol.

5.2 Elementos del Clima

Durante el ciclo del cultivo la $T_{\text{máx}}$ osciló entre 25 y 34 °C, ésta última fue más frecuente en la etapa vegetativa y la $T_{\text{mín}}$ fluctuó entre 5 y 11 °C durante todo el ciclo. El total de PP durante el ciclo del cultivo fue de 355 mm, de la cual 45 % (169 mm) ocurrió durante la etapa vegetativa y el 55% (186 mm) durante la etapa reproductiva. En contraste, la E_v , más alta ocurrió durante la etapa vegetativa (valores superiores a los 80 mm), y la más baja durante la etapa reproductiva (30 mm), esto indica que el período de mayor déficit hídrico se presentó durante la etapa vegetativa debido a la temperatura más alta y escasa precipitación (Figura 1). Cabe señalar que un déficit hídrico se observó durante la primera decena de agosto, durante la etapa de R6 y formación de vaina, que probablemente pudo afectar el NE y en consecuencia el RE.

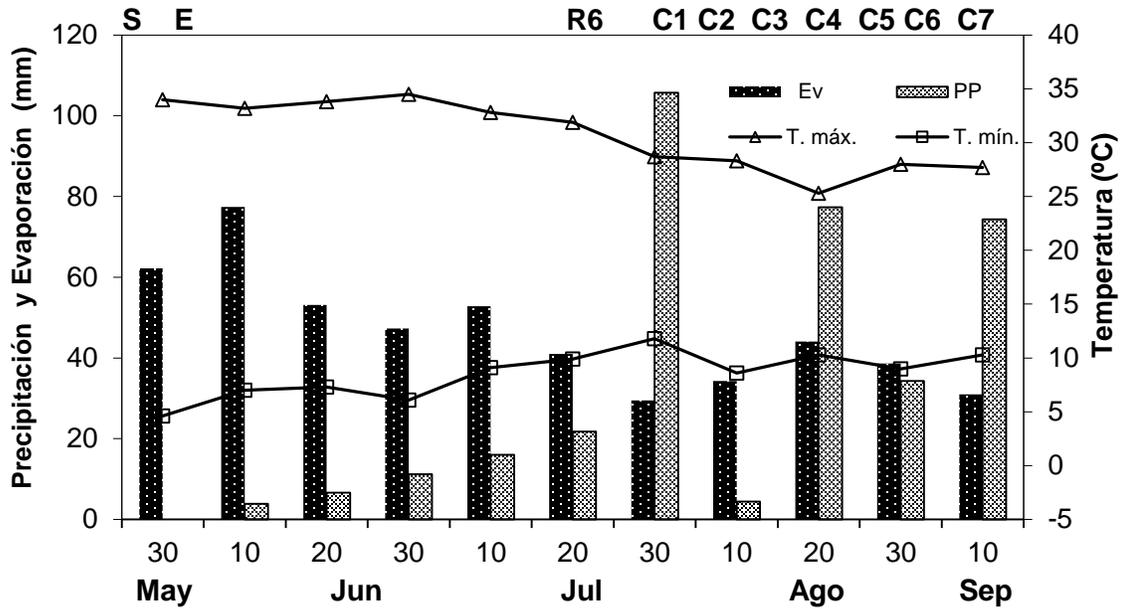


Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra, E: Emergencia, R6: Floración, C1-C7 cortes de ejote. Montecillo, México. Verano, 2010.

5.3 Unidades Calor y Evapotranspiración

Las UC acumuladas de siembra (S) a último corte fueron de 950 °C d, distribuidos en 110 °C d S a E, 675 °C d E a inicio de R6 y 164 °C d de inicio de R6 a formación de vaina del último corte. Valores cercanos a los reportados en este trabajo fueron encontrados en *Phaseolus vulgaris* L. cv. Cleo por Ferreira *et al.* (2006) al evaluar la calidad de vaina para la industria. La ETc de la S a la E fue de 21 mm, de E a R6 110 mm y de R6 a formación de vaina del último corte 59 mm. La ETc total fue de 190 mm. En la Figura 2, se observa que la acumulación de UC y ETc durante el ciclo del FE, se ajustó a una ecuación lineal con cambios en 26.6 °C y 17.2 mm por día desde la S a formación de vaina del último corte, respectivamente.

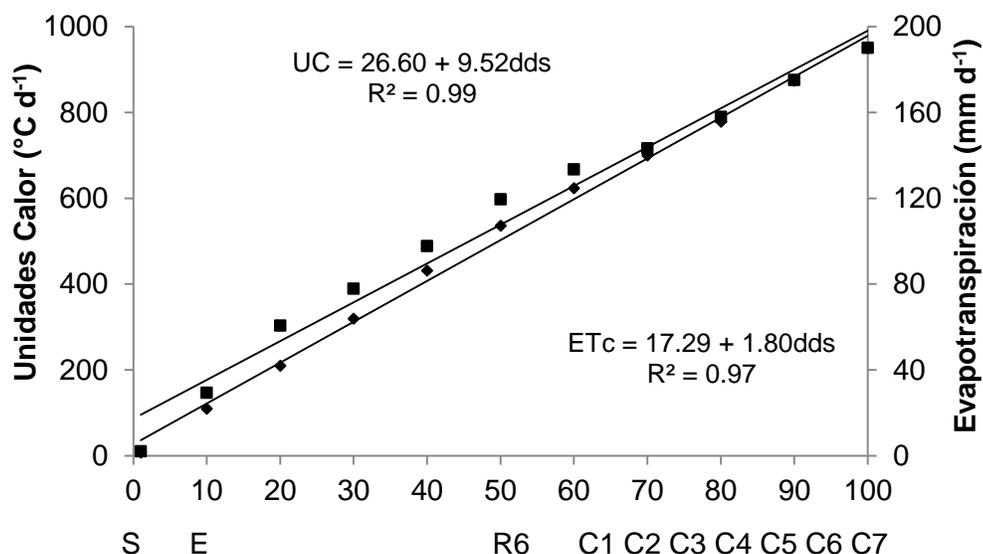


Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en frijol ejotero con espaldera de maíz. S: Siembra, E: Emergencia, R6: Floración, C1-C7 cortes de ejote. Montecillo, México. Verano, 2010.

5.4 Rendimiento y número de ejotes

Se realizaron siete cortes, con una frecuencia de tres a cuatro días. La dinámica de cortes muestra que durante el cuarto y quinto corte se obtiene el mayor NE y en consecuencia el mayor RE por corte (Figura 3), lo que coincide con mayor disponibilidad de agua durante este periodo (tercera decena de agosto) (Figura 1). Por otra parte, el análisis de varianza mostró diferencias significativas para el RE y NE (Cuadro 1), para nitrógeno (N), densidad de plantas (D), y la interacción N*D. Con D2 el NE y el RE superaron en 72 %, respectivamente a D1. Con 150 kg·ha⁻¹ de N, se logró el mayor NE y RE y superó al testigo en 44 % para ambas variables (Cuadro 2). Así mismo, con la interacción de N75D2 y N150D2 se logró el NE y RE más alto, consecuencia de un mayor número de plantas y una mejor distribución de plantas de FE por m⁻² y N aplicado (Cuadro 3). Esto concuerda con lo reportado por Fageria y Santos (2008) quienes mencionan que el aumento en nitrógeno

incrementa el número de vainas por planta. Así mismo, Escalante y Kohashi (1993) y Escalante *et al.* (2006) indican que bajo condiciones de lluvia estacional con densidad de población alta y una apropiada fertilización nitrogenada que es necesaria para cubrir las necesidades de una densidad de población más alta, se logra un mayor rendimiento.

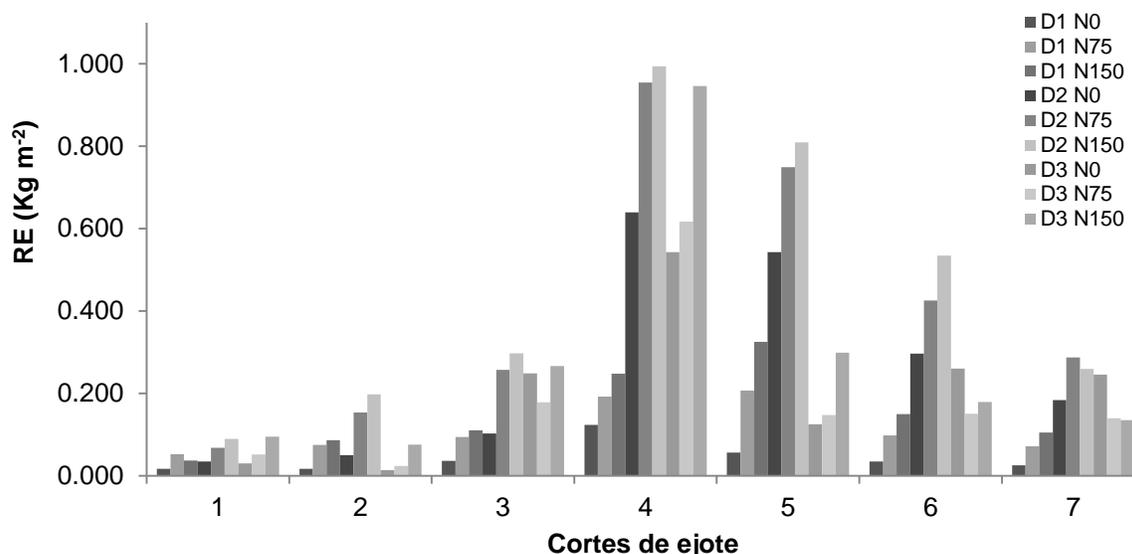


Figura 3. Dinámica de producción de FE en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

5.5 Eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del N

La mayor eficiencia en el uso del agua se logró con D2 en relación a D1, respecto al N la EUA más alta se encontró con N150 que superó en 44 % a N0 (Cuadro 2). En ambos casos la mayor eficiencia puede deberse a una amplia cobertura del suelo por el cultivo, generado por el aumento en el número de plantas e incremento de N. La interacción que presentó el EUA más alta fue D2N150 (Cuadro 3). Dicho comportamiento pudo deberse entre otras cosas, a una mayor cobertura del suelo (Escalante *et al.*, 2001), y en consecuencia un mejor aprovechamiento y eficiencia en

el uso del agua. Por otra parte, la eficiencia agronómica del N más alta fue con D2 y 75 kg·ha⁻¹ de N, con lo que se ratifica a lo reportado por Escalante y Rodríguez (1994) quien menciona que mediante la combinación de una densidad alta y con aplicación de N, se logra una mayor eficiencia en el uso de dicho nutrimento.

Cuadro 1. Análisis de varianza del número de ejotes, rendimiento de ejote y eficiencia en el uso del agua. Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamiento	NE (m ⁻²)	RE (g m ⁻²)	EUA (g m ⁻² mm ⁻¹)	EAN (g g ⁻¹ N)
(D)	***	***	***	---
(N)	***	***	***	---
(D*N)	**	**	**	---
CV (%)	10.95	17.04	20.32	---

** , *** Significancia a P<0.05 y 0.001, respectivamente. D = densidad de población; N = Fertilización nitrogenada; D*N = Interacción densidad * nitrógeno. NE = Número de ejotes; RE = Rendimiento de ejote; EUA = Eficiencia en el uso del agua.

Cuadro 2. Rendimiento de ejote, eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamientos	NE (m ⁻²)	RE (g m ⁻²)	EUA (g m ⁻² mm ⁻¹)	EAN (g g ⁻¹ N)
D1	186 c	0 719 c	2.5c	56.9
D2	668 a	2 640 a	9.1a	113.7
D3	450 b	1 588 b	5.5b	33.9
N0	314 c	1 154 c	4.0c	---
N75	421 b	1 715 b	5.7b	74.8
N150	571 a	2 078 a	7.2a	61.4

¹Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). NE = Número de ejotes; RE = Rendimiento de ejote; EUA = Eficiencia en el uso del agua; EAN = Eficiencia agronómica del nitrógeno.

Cuadro 3. Rendimiento de ejote, eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica en función de la interacción densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamientos	NE (m ⁻²)	RE (g m ⁻²)	EUA (g m ⁻² mm ⁻¹)	EAN (g g ⁻¹ N)
D1 N0	88 h1	308 h	1.1h	---
D1 N75	179 g	788 g	2.7g	64.0
D1 N150	292 f	1 061 f	3.7f	50.2
D2 N0	469 d	1 848 d	6.4c	---
D2 N75	684 b	2 893 b	10b	139.3
D2 N150	852 a	3 181 a	11a	88.8
D3 N0	384 e	1 307 e	4.5e	---
D3 N75	398 e	1 465 e	5.1d	21.0
D3 N150	568 c	1 994 c	6.9c	45.8

¹Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). NE = Número de ejotes; RE = Rendimiento de ejote; EUA = Eficiencia en el uso del agua; EAN = Eficiencia agronómica del nitrógeno.

5.6 Análisis económico

De acuerdo al análisis económico con capital ilimitado (sin restricciones de capital por parte del agricultor) los tratamientos con mayor ingreso neto (IN) fueron D2 N150 y D2 N75 (Cuadro 6) con \$ 143 248 y \$ 130 350 respectivamente. El IN más bajo se obtuvo con D1N0. Con base a la tasa de retorno (TR), la mayor ganancia se obtiene con D2N150. En este sentido, Yilmaz *et al.* (2007), al estudiar las ventajas de asociar maíz-frijol bajo diferentes densidades de población, indican que se obtuvo el mayor IN y TR, cuando se sembraron altas densidades de población. Por lo que, dichos resultados concuerdan con los presentados en este estudio. Es por ello que se indica que para elevar la rentabilidad del agrosistema FE-Maíz se requiere el uso de poblaciones altas y aplicación de N.

Cuadro 4. Análisis de varianza del rendimiento de ejote (RE), ingreso total (IT), ingreso neto (IN) y tasa de retorno (TR) en función de la densidad de población (D), fertilización nitrogenada (N) e interacción (D*N). Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamiento	CF	CV	CT	RE	IT	IN	TR
D	---	---	---	**	**	**	**
N	---	---	---	**	**	**	**
D*N	---	---	---	**	**	**	**
CV (%)	---	---	---	15.23	17.45	23.14	12.62

Significancia a $P < 0.05$ y 0.01 , respectivamente. CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 5. Análisis económico en la producción de frijol ejotero en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamiento	CF	CV	CT	RE	IT	IN	TR
	\$			kg ha ⁻¹	\$		
D1	7 000	3 757	10 757	7 189c ¹	35 943c	25 186c	2,2c
D2	7 000	7 317	14 317	26 405a	132 025a	117 708a	8,1a
D3	7 000	10 307	17 307	15 887b	79 435b	62 128b	3,6b
N0	7 000	5 660	12 660	11 542c	57 710c	45 050c	3,3c
N75	7 000	7 127	14 127	17 154b	85 772b	71 645b	5,0b
N150	7 000	8 594	15 594	20 784a	103 922a	88 328a	5,6a

¹Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Costo fijo (CF) = incluye manejo del cultivo, manejo de plagas y enfermedades, manejo de maleza mano de obra, transporte, cosecha. Costo variable (CV) = precio y cantidad de semilla y fertilizante. Costo total (CT) = Costo fijo + Costo variable. Ingreso total (IT) = rendimiento por el precio de kilo de ejote (\$5.00). Ingreso neto (IN) = ingreso total – costo total. Tasa de retorno (TR) = ingreso neto entre costo total.

Cuadro 6. Análisis económico en la producción de frijol ejotero en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

Tratamiento	CF	CV	CT	RE	IT	IN	TR
	\$			kg ha ⁻¹	\$		
D1 N0	7 000	2 290	9 290	3 079i	15 393i	6 103i	0,7f
D1 N75	7 000	3 757	10 757	7 881h	39 406h	28 649h	2,7e
D1 N150	7 000	5 224	12 224	10 606g	53 030g	40 806g	3,3d
D2 N0	7 000	5 850	12 850	18 476d	92 378d	79 528d	6,2b
D2 N75	7 000	7 317	14 317	28 933b	144 667b	130 350b	9,1a
D2 N150	7 000	8 784	15 784	31 806a	159 032a	143 248a	9,1a
D3 N0	7 000	8 840	15 840	13 072e	65 359f	49 519f	3,1d
D3 N75	7 000	10 307	17 307	14 649e	73 243e	55 936e	3,2d
D3 N150	7 000	11 774	18 774	19 941c	99 705c	80 931c	4,3c

¹Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). Costo fijo (CF) = incluye manejo del cultivo, manejo de plagas y enfermedades, manejo de maleza mano de obra, transporte, cosecha. Costo variable (CV) = precio y cantidad de semilla y fertilizante. Costo total (CT) = Costo fijo + Costo variable. Ingreso total (IT) = rendimiento por el precio de kilo de ejote (\$5.00). Ingreso neto (IN) = ingreso total – costo total. Tasa de retorno (TR) = ingreso neto entre costo total.

VI. CONCLUSIONES

La fenología del frijol ejotero no presentó diferencias respecto a los tratamientos evaluados. El mayor rendimiento de ejote se presentó con la densidad de población de dos plantas y nivel 75 kg-ha⁻¹ de N. Existió una relación positiva entre el rendimiento de ejote y la mayor eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del nitrógeno. El rendimiento de ejote se relacionó con la acumulación de unidades calor, la evapotranspiración y la radiación fotosintéticamente activa.

VII. LITERATURA CITADA

- Cui-Zen, L.; F.S. Zhang; X.P. Chen; Z.X. Dou; J.L. Li. 2010. In-season nitrogen management strategy for winter wheat: maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. *Field Crops Research* 116:140-146.
- Bennink, M. 2005. Eat beans for good health. *Annual Report of Bean Improvement Cooperative* 48:1-5.
- Delgado M., R.; Escalante E., J.A.S.; Rodríguez G., M.T. y Morales R., E.J. 2011. Rendimiento y uso equivalente de la tierra en el agrosistema compuesto girasol-frijol. p. 119-128. In: R. Díaz Ruiz; J.F. Álvarez Gaxiola; A. Huerta de la Peña (eds.). *Desarrollo de la agricultura sostenible: Alternativas Tecnológicas y Enfoques Sociales*. Colegio de Postgraduados. Puebla, México.
- Díaz L., E.; J.A.S. Escalante E.; M.T. Rodríguez G.; A. Gaytán. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16:215-221.
- Escalante E., J.A.S. y Kohashi S., J. 1993. El rendimiento y crecimiento de frijol. *Manual para la toma de datos*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pichardo, R. J. C.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M.; Sánchez, G. P. 2007. Eficiencia agronómica del nitrógeno, en el uso del agua y de la radiación en

- el rendimiento del haba (*Vicia faba* L.) con aplicación dividida de nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25(2): 145–154.
- Escalante-Estrada, J.A.S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 1:28-32.
- Escalante-E, J.A.S.; L.E. Escalante-E.; M.T. Rodríguez-G. 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.; M.T. Rodríguez-G.; L.E. Escalante-E. 2006. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Yield in relation to growth habit, plant density and nitrogen fertilization. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 253-254.
- Fageria, N.K. y A.B. Santos. 2008. Yield Physiology of Dry Bean. *Journal of Plant Nutrition* 31: (6)983-1004.
- Ferreira, M.E.; A. De Varennes; C.J. and M.I. Viera. 2006 Predicting pod quality of Green beans for processing. *Science Horticulture* 109:207-211.
- García, A. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Peck, N.H. y G.E. MacDonald. 1983. Snap bean responses to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 76:247-253.
- Peixoto N., E. Morales A., J Monteiro D. 2001. Selection of climbing snap bean lines for the state of Goias. *Horticultura. Brasileira* 19:85-88.
- Salinas-Ramírez, N.; J.A.S Escalante-E.; M.T. Rodríguez-G. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3):235-241.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Versión digital.
Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Tolera, A.; T. Tannand, y L.M Pant. 2005. Grain yield and LER of maize-climbing bean intercropping as affected by inorganic, organic fertilizers and population density in western Oromiya, Ethiopia. *Asian Journal of Plant Sciences* 4(5):458-465.

Yilmaz, S.; A. Mehmet; E. Mustafa. 2007. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in east mediterranean region. *Turkey Journal Agricultural Forest* 32:11-119.

CAPÍTULO III. RENDIMIENTO, EFICIENCIA DEL AGUA Y NITRÓGENO DEL FRIJOL-MAÍZ ASOCIADOS CON DIFERENTES DENSIDADES Y NITRÓGENO

I. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la densidad de población (D) de frijol y la fertilización nitrogenada (FN) sobre, el rendimiento de grano, índice de cosecha, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica y uso equivalente de la tierra en frijol-maíz asociado. El estudio se llevó a cabo, en Montecillo, Estado de México, bajo condiciones de lluvia estacional. La siembra se estableció el 25 de mayo con tratamientos de: a) una, dos y tres plantas de frijol (4, 8 y 12 pl m⁻², respectivamente) por una de maíz; y b) 0, 75 y 150 kg de N ha⁻¹, que generaron nueve combinaciones de tratamientos. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. El índice de cosecha promedio en maíz para los diferentes tratamientos fue de 26 % y en frijol 33 %. El máximo rendimiento de grano se obtuvo con 75 y 150 kg de N ha⁻¹ para frijol y maíz respectivamente. En relación a la D en frijol el rendimiento fue mayor con dos plantas (8 pl m⁻²) 582 g m⁻² para maíz y 286 g m⁻² para frijol. Asimismo, la eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica fue mayor con densidad de dos plantas y 75 kg de N ha⁻¹ para ambas especies. El uso equivalente de la tierra fue más alto con 75 y 150 kg de N ha⁻¹ y tres plantas por mata de maíz.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., índice de cosecha.

YIELD, EFFICIENCY OF WATER AND NITROGEN OF CORN - BEAN ASSOCIATED WITH DIFFERENT DENSITIES AND NITROGEN

II. ABSTRACT

The aim of this investigation was to determine the effect of population density (D) of beans and nitrogen fertilization (FN) on the grain yield, harvest index, efficiency in water use, agronomic efficiency and equivalent use of land associated bean - corn. The study was carried in Montecillo, State of Mexico, under conditions of seasonal rainfall. The planting was established on May 25 treatments: a) one, two and three bean plants (4, 8 and 12 pl m⁻², respectively) for a corn and b) 0 , 75 and 150 kg N ha⁻¹, which generated nine treatment combinations. The experimental design was randomized complete block with split plot arrangement and four replications. The average harvest index for different treatments corn was 26 % and 33% bean. The maximum grain yield was obtained with 75 and 150 kg N ha⁻¹ for beans and maize respectively. In relation a D to the yield of beans was higher with two plants (8 pl m⁻²) 582 g m⁻² for corn and 286 g m⁻² for beans. Also, the efficient use of water and agronomic efficiency was higher with two plants and density 75 kg ha⁻¹ for both species. The equivalent of the land use was highest with 75 and 150 kg N ha⁻¹ and three plants per one of corn.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., harvest index.

III. INTRODUCCIÓN

En México, los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) son la principal fuente de consumo de carbohidratos, proteínas y fibra per cápita (Ganellin, 2005; Salinas *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2008). Además, de que ayudan a reducir el riesgo de generar algunas enfermedades de tipo cardiovasculares y gastrointestinales (Hangen y Bennink, 2002), por lo que ambos componentes, forman parte de la dieta básica diaria, de muchas regiones rurales. La producción tanto de frijol y maíz en México es principalmente de temporal y depende de la cantidad y distribución de la lluvia. Por lo que, los cultivos asociados continúan siendo una buena opción en la actualidad, debido a la mayor productividad que se le ha atribuido sobre los unicultivos, a través de un mejor uso de los recursos agrícolas (agua, radiación y nutrimentos) (Willey, 1990). La práctica de asociar cultivos es atendida por agricultores de pequeñas extensiones, a través de la mano de obra familiar, con el objeto de obtener variedad de productos agrícolas y poder diversificar su dieta, obtener mayor estabilidad en la producción y hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles en tiempo y espacio. Así mismo, se logra mayor uso del terreno, existe menos riesgo de pérdida por cualquier factor de estrés físico o enfermedades de una de las especies, provee estabilidad en la producción y mejor distribución del trabajo durante el ciclo del cultivo (Francis, 1981; Mutsaers *et al.*, 1993). De igual forma, la producción de cultivos depende del genotipo utilizado y de las prácticas de manejo, dentro de éstas se considera a la D y FN como unas de mayor importancia (Escalante, 1995). Altas D permiten una mayor cobertura del suelo y por

consiguiente una mayor eficiencia en la captura de radiación solar y utilización de agua y el N es mejor aprovechado. Por lo que, la diversidad biológica del policultivo milpero a diferencia de los monocultivos, ha desarrollado sistemas de seguridad, a prueba de la variabilidad pluvial y mercantil, que han sido muy probablemente, la clave de su vigorosa persistencia. El cultivo, durante su ciclo está sujeto a cambios en radiación solar, temperatura y demanda evaporativa del aire medida a través de la evapotranspiración del cultivo (ETc), que influyen sobre el crecimiento y rendimiento del mismo (Escalante *et al.*, 2001). En cuanto a la temperatura, para relacionar este factor con la producción agrícola, por lo general se hace uso de la integral térmica conocida como grados días de desarrollo o unidades calor (Snyder, 1985).

Por otra parte, la interpretación de la respuesta a la competencia y eficiencia entre especies en cultivos asociados depende de las técnicas de medición. Para demostrar que los policultivos producen mayor rendimiento por unidad de área, que las especies en unicultivo, se han realizado métodos, en los que se utilizan los componentes del rendimiento de ambas especies para evaluar la eficiencia de la asociación, de igual manera aquellos en los cuales se compara el rendimiento absoluto del monocultivo con la asociación y en los que se calcula un valor de rendimiento relativo (Francis, 1986; Delgado *et al.* 2011). Según Hiebsch y McCollum (1987), al utilizar componentes del rendimiento o rendimiento absoluto, se asume que es posible comparar directamente el rendimiento de una especie con otra, sin embargo, dos especies no solo difieren en la magnitud de su rendimiento sino también en la forma de comercialización de su producto final. Los principales

métodos que utilizan este concepto son los llamados índices de eficiencia (uso equivalente de la tierra, UET) y los índices de competencia ICS (Francis, 1978; Ofori y Stern, 1987; Escalante y Rodríguez, 2008).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la densidad de población del frijol y la fertilización nitrogenada sobre, el rendimiento de grano, índice de cosecha, eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica y uso equivalente de la tierra en frijol y maíz asociado.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La siembra se realizó el 17 de mayo 2010, se usó el cv. de frijol Hav-14, de grano color negro, hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), y maíz azul cv. San Miguelito de la raza Chalqueño, durante la época de lluvias estacionales en Montecillo, México. El clima es el menos seco de los áridos con lluvias en verano, una temperatura media anual de 14.6 °C y una precipitación anual de 558 mm (BS1, García, 2004). El suelo es de textura arcillo-limosa, medianamente alcalina (pH de 7.8), la conductividad eléctrica de 1.7 dSm⁻¹ (sin problemas de salinidad). Respecto a las propiedades químicas, el contenido de materia orgánica es alto de 3.4%, y el nitrógeno total de 0.158 % (alto).

Los tratamientos consistieron en la siembra a una, dos y tres plantas de frijol (4, 8 y 12 pl m⁻², D1, D2, D3, respectivamente) por una de maíz con 0, 75 y 150 kg de N ha⁻¹ de N (N0, N75, N150, respectivamente). Esto generó nueve combinaciones de tratamientos. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se registraron las etapas fenológicas, para frijol de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993) y para maíz de acuerdo en Hanway (1963). De la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, se recopilaron datos sobre temperatura máxima (T_{máx}, °C) y mínima (T_{mín}, °C), precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev, mm). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) (mm d⁻¹) se calculó para ambas especies, mediante la ecuación:

$$ET_c = E_v * K_e * K_c$$

Donde:

E_v = evaporación del tanque tipo A;

K_e = coeficiente para el evaporímetro (0.6); y

K_c = coeficiente del cultivo (0.65 para frijol y 0.80 para maíz).

Así mismo, se calculó las unidades calor (UC, °C d⁻¹), mediante el método residual de Snyder (1985):

$$UC = \sum [((T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2) - T_b];$$

Donde:

$T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima diaria

$T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima diaria

T_b = temperatura base (10 °C para frijol y 7.5 °C para maíz, Escalante *et al.*, 2001).

A la cosecha, para ambas especies se evaluó la biomasa total (BT, g m⁻²), rendimiento de grano (10% de humedad; RG, g m⁻²), e índice de cosecha (IC) el cual se calculó con la siguiente ecuación: IC = Rendimiento de grano/ rendimiento biológico. La eficiencia en el uso del agua (EUA) (g m⁻² mm⁻¹) se calculó con la relación: EUA = RG/ET_c (Escalante, 1995).

La eficiencia agronómica del N, considerada como el incremento en el rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado, se calculó con la siguiente relación:

$$EA = (RGF - RGT)/F$$

Donde:

RGF = rendimiento de grano del cultivo fertilizado;

RGT = rendimiento de grano del testigo y

F = cantidad del fertilizante aplicado (Escalante y Rodríguez, 1994).

De igual forma se calculó el uso equivalente de la tierra (UET) de acuerdo a Francis *et al.* (1982) mediante la ecuación:

$$UET = RMC/RMU + RFC/RFU$$

Donde:

RMC = rendimiento de grano de maíz en sistema asociado.

RMU = rendimiento de grano de maíz en unicultivo.

RFC = rendimiento de frijol en sistema asociado.

RFU=rendimiento de frijol en unicultivo.

Valores de UET >1 indica que la producción del agrosistema compuesto o policultivo supera al unicultivo, y que es factible su aplicación para posteriores siembras; UET=1 indica que la producción del agrosistema compuesto es similar al unicultivo y que puede aplicarse cualquiera de ellos. Sin embargo, la ventaja del policultivo es la diversidad de productos agrícolas; UET < 1 indica que la producción del unicultivo supera a la del policultivo.

Además para cada especie se calculó el Índice de competencia (ICS) de acuerdo al planteamiento propuesto por Escalante y Rodríguez (2008).

$$ICS = SC/SU$$

Donde:

ICS= efecto de competencia

SU= rendimiento de la especie en unicultivo

SC= rendimiento de la especie en competencia

Si el valor de ICS es <1, =1 ó, >1, indica el efecto de competencia, siendo más drástica si se aproxima más a cero; =1 la competencia no afecta el rendimiento; >1 indica que es una especie que el cultivo acompañante es sinérgico para un uso de insumos más eficiente. A las variables respuesta se les practicó un análisis de varianza, y aquellas con significancias estadística, una prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fenología de la asociación frijol-maíz

Tanto en maíz como en frijol los días a ocurrencia de las etapas fenológicas fue similar entre tratamientos. En frijol, la emergencia (V-1) fue a los 9 días después de la siembra (dds), coincidiendo con un elevado déficit hídrico, debido a la escasa precipitación y la elevada tasa de Ev durante la mayor parte de la EVG, el inicio de la floración (R-6) fue a los 68 dds y la madurez fisiológica (R-9) a los 134 dds, la ocurrencia de las fases fenológicas fue similar a la reportada para la misma región por Díaz *et al.* (2010) y Delgado *et al.* (2011), con frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol. Para maíz, la emergencia (V-E) fue a los 10 dds, la floración (R-1) a los 75 dds y la madurez fisiológica (R-6) a los 148 dds.

5.2 Elementos del clima

Se observa que durante la etapa vegetativa (EVG) y reproductiva (ER) del cultivo asociado, la T_{máx} y T_{mín} promedio fluctuó entre 34 °C y 5 °C y de 27 °C y 8 °C respectivamente (Figura 1). La precipitación PP fue de 462 mm, de la cual el 35 % ocurrió en la EVG y el 65 % en la ER. En contraste, la Ev, más alta ocurrió durante la EVG (valores superiores a los 80 mm), y la más baja durante la ER (30 mm), esto indica que el período de mayor déficit hídrico se presentó durante la EVG debido a la temperatura más alta y escasa precipitación (Figura, 1). Cabe señalar que un déficit hídrico se observó durante la primera decena de agosto, durante las etapas de floración de ambas especies con lo que probablemente pudo afectar el RG en una y otra respectivamente.

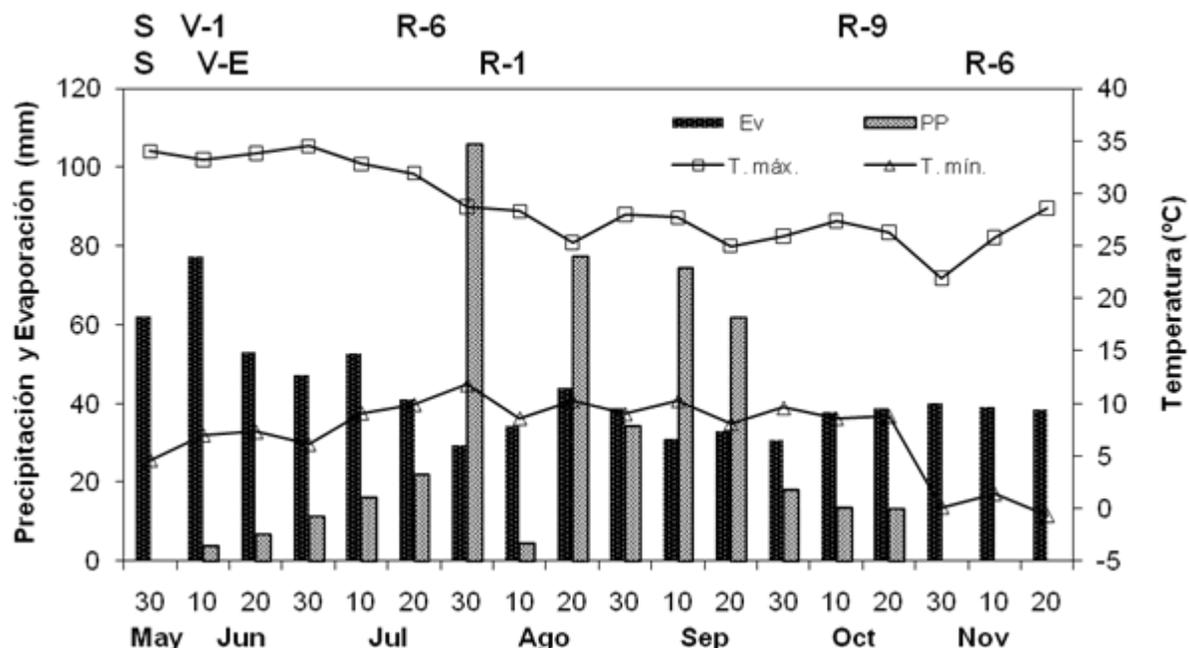


Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T.máx.), mínima (T.mín.) durante el desarrollo del experimento. S: Siembra frijol, V-1: Emergencia frijol, R-6: Floración frijol, R-9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, V-E: Emergencia maíz, R-1: Floración maíz, R-6: Madurez fisiológica maíz. 2010.

5.3 Unidades calor y evapotranspiración de frijol-maíz asociado

La acumulación de unidades calor (UC), así como la evapotranspiración acumulada (Etc) en función de los dds con relación a la fenología de las especies, se presenta en la Figura 2. El requerimiento térmico de frijol para V-1 fue de 110 UCF, 624 UCF para R-5 y 700 UCF para R-6, para llegar a madurez fisiológica (R-9) se necesitaron de 1243 UCF. Para maíz, en la V-E, R-1 y R-6, las UCM fueron de 138, 981 y 1705, respectivamente. La evapotranspiración del frijol (ETcF) en V-1 fue de 29 mm, debido a que en esta etapa el desarrollo del dosel vegetal es muy limitado, se estima que la mayor parte de la ETcF es evaporación directa del suelo, a inicio de R-5 la

ETcF fue de 133 mm y 157 mm en R-6, para R-9 fue de 242 mm. Para maíz, la ETcM en el periodo de V-E fue de 36 mm, a inicio de R-1 esta fue de 176 mm, y a R-6 la ETcM fue de 336 mm. La ETc acumulada por el agrosistema combinado durante todo el ciclo de cultivo fue de 241 mm. Por otra parte, se observa que la acumulación de UC y ETc durante el ciclo del cultivo, se ajustó a una ecuación lineal con cambios en 83 °C y 32 mm por día desde la S a R-9 para frijol y 52 °C y 24 mm para maíz, respectivamente.

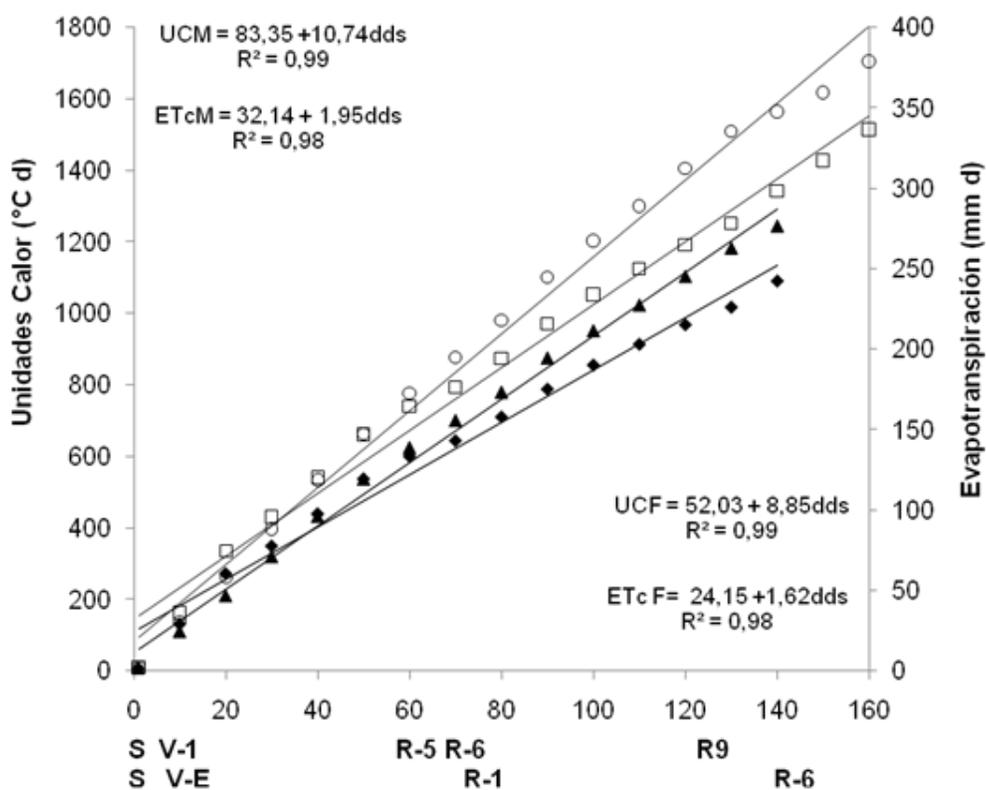


Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada para maíz y frijol (UCM, UCF, ETcM y ETcF, respectivamente) en el agrosistema asociado. S: Siembra frijol, V-E: Emergencia frijol, R-6: Floración frijol, R-9: Madurez fisiológica frijol, S: Siembra maíz, V-E: Emergencia maíz, R-1: Floración maíz, R-6: Madurez fisiológica maíz. 2010.

5.4 Biomasa, Rendimiento e Índice de cosecha

La BT, RG e IC del maíz y frijol presentó diferencias significativas por efecto del N, D e interacción N*D (Cuadro 1). Con D2 la BT y RG en maíz, superó a D1 en 15 % y 11 %, respectivamente. Con 75 y 150 kg de N ha⁻¹, se logró la mayor BT y RG de ambas especies y superó al testigo en 18 y 20 % para ambas variables, respectivamente (Cuadro 2). Así mismo, con la interacción de D2N75 y D2N150 se logró la BT y RG más altos en el agrosistema asociado, consecuencia de un mayor número de plantas y una mejor distribución de plantas de frijol por m⁻² y N aplicado (Cuadro 3). Respecto al mayor IC, este se encontró con D3, seguido de D1 y D2. Con N150 se logró el mayor IC. Así mismo, Escalante y Kohashi (1993) y Escalante *et al.* (2006) indican que bajo condiciones de lluvia estacional con D alta y una apropiada FN se logra un mayor rendimiento. Por otra parte, la interacción que menos expresó una respuesta favorable a la BT y RG en ambas especies, fue la densidad de 1 pl m⁻² de frijol y sin aplicación de N, reflejándose en un bajo IC.

Cuadro 1. Análisis de varianza de la biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en maíz y frijol. Montecillo, México. Verano, 2010.

	Maíz				Frijol			
	BT	RG	IC	EUA	BT	RG	IC	EUA
D	**	**	**	**	**	**	**	**
N	**	**	**	**	**	**	**	**
D*N	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	12.3	11.9	8.4	7.9	14.2	17.5	5.6	8.4

** , *** Significancia a P<0.05 y 0.01, respectivamente. C.V. = Coeficiente de variación. BT: Biomasa total; RG: Rendimiento de grano; IC: Índice de cosecha; EUA: Eficiencia en el uso del agua.

Cuadro 2. Biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica (EA) en maíz y frijol, en función de la densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

	Maíz					Frijol				
	BT	RG	IC	EUA	EA	BT	RG	IC	EUA	EA
	g m^{-2}	g m^{-2}	%	$(\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1})$	(g g^{-1})	g m^{-2}	g m^{-2}	%	$(\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1})$	(g g^{-1})
D1	1432b	523c	36b	1.51c	6	183c	54c	29c	0.22c	3.5
D2	1648a	582a	35c	1.68a	18	753a	286a	38a	1.18a	7.7
D3	1478b	545b	37a	1.57b	5	488b	181b	37b	0.75b	2.6
N0	1356b	484b	36b	1.39c		389c	135c	32c	0.56c	
N75	1601a	579a	36b	1.67b	13	432b	158b	35b	0.66b	3.1
N150	1602a	587a	37a	1.70a	7	603a	228a	36a	0.94a	6.1

¹Medias con letras similares dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$). BT: Biomasa total; RG: Rendimiento de grano; IC: Índice de cosecha; EUA: Eficiencia en el uso del agua; EA: Eficiencia agronómica.

Cuadro 3. Biomasa total (BT), rendimiento (RG), índice de cosecha (IC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica (EA) en maíz y frijol, en función de la interacción entre densidad de población y fertilización nitrogenada. Montecillo, México. Verano, 2010.

	Maíz					Frijol				
	BT	RG	IC	EUA	EA	BT	RG	IC	EUA	EA
	g m^{-2}	g m^{-2}	%	$(\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1})$	(g g^{-1})	g m^{-2}	g m^{-2}	%	$(\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1})$	(g g^{-1})
D1N0	1347d	476d	35c	1.37d		98f	25d	26d	0.10f	
D1N75	1419c	520c	37a	1.50c	5.8	156e	45d	29d	0.19f	2.6
D1N150	1531b	574b	37a	1.66b	6.5	297d	92d	31d	0.38e	4.5
D2N0	1326d	463d	35c	1.34d		624b	222b	36c	0.92c	
D2N75	1796a	639a	36b	1.85a	23.4	689b	260b	38b	1.07b	5.1
D2N150	1823a	644a	35c	1.86a	12	946a	378a	40a	1.56a	10.4
D3N0	1394d	514c	37a	1.46d		445c	159c	36c	0.66d	
D3N75	1587b	577b	36b	1.67b	8.4	452c	172c	38b	0.71d	1.7
D3N150	1453c	544b	37a	1.57c	2	567c	214b	38b	0.88c	3.6

¹Medias con letras similares dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$). BT: Biomasa total; RG: Rendimiento de grano; IC: Índice de cosecha; EUA: Eficiencia en el uso del agua; EA: Eficiencia agronómica.

5.5 Eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del N

La mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) se logró con D2 en relación a D1, en ambas especies. Respecto al N la EUA más alta en maíz y frijol se encontró con N150 que superó en 22 % y 40% a N0 respectivamente (Cuadro 2). La interacción que presentó la EUA más alta fue D2N150 en ambas especies (Cuadro 3). Dicho comportamiento podría deberse entre otras cosas, a una mayor cobertura del suelo generado por el aumento en la D y N (Escalante *et al.*, 2001), y en consecuencia un mejor aprovechamiento y eficiencia en el uso del agua. Por otra parte, la EAN fue afectada por la combinación de factores estudiados siendo más eficiente con D2 y 75 kg de N ha⁻¹, para maíz y D2N150 para frijol, y menos eficiente con D3N150 para maíz y D3N75 para frijol, con lo que se ratifica a lo reportado por Escalante y Rodríguez (1994) quienes mencionan que mediante la combinación de altas densidades y con aplicación de N, se logra una mayor eficiencia en el uso de dicho nutrimento.

5.6 Uso equivalente de la tierra

En relación al uso equivalente de la tierra (UET), la figura 3 muestra que la combinación D3N3 fue la que mayor EUT (1.68) presentó, e indica que la asociación produce 68% más que sus monocultivos, esto se debe principalmente a la combinación de una alta densidad y el suministro de N alto. La EUT mas baja, se presentó en la combinación D1N1, en donde no se logró superar a sus monocultivos. Oljaca *et al.* (2000) reportó valores de EUT (1.54) en el agrosistema asociado frijol-maíz, bajo condiciones de riego cercanos a los reportados en este trabajo.

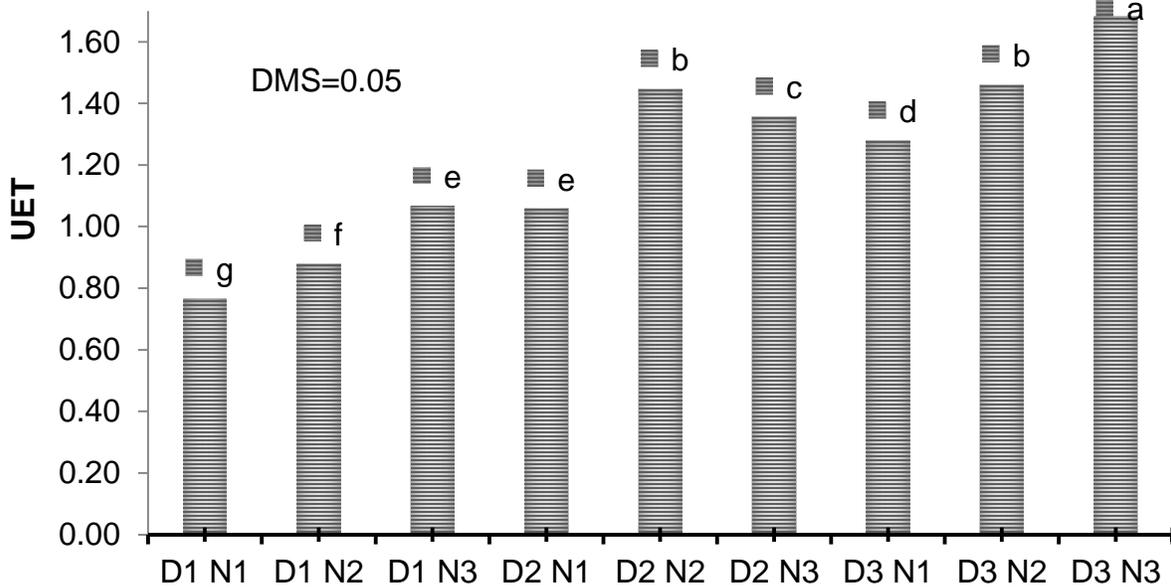


Figura 3. Uso equivalente de la tierra (UET) del agrosistema asociado maíz y frijol en función de la densidad de población y niveles de nitrógeno. Montecillo, México. Verano 2010.

5.7 Índice de competencia

La combinación de tratamientos en el agrosistema maíz-frijol influyó de manera diferente en el ICS para cada una de las especies. Con la combinación D2N3 se encontró un ICS de 1.02 y 1.21 para maíz y frijol respectivamente (Figura 4). Por otra parte, con D1N1 el ICS para frijol fue 0.08, lo que indica que el efecto de competencia fue mayor, a diferencia del maíz, que para la misma combinación de tratamientos el ICS fue de 0.76.

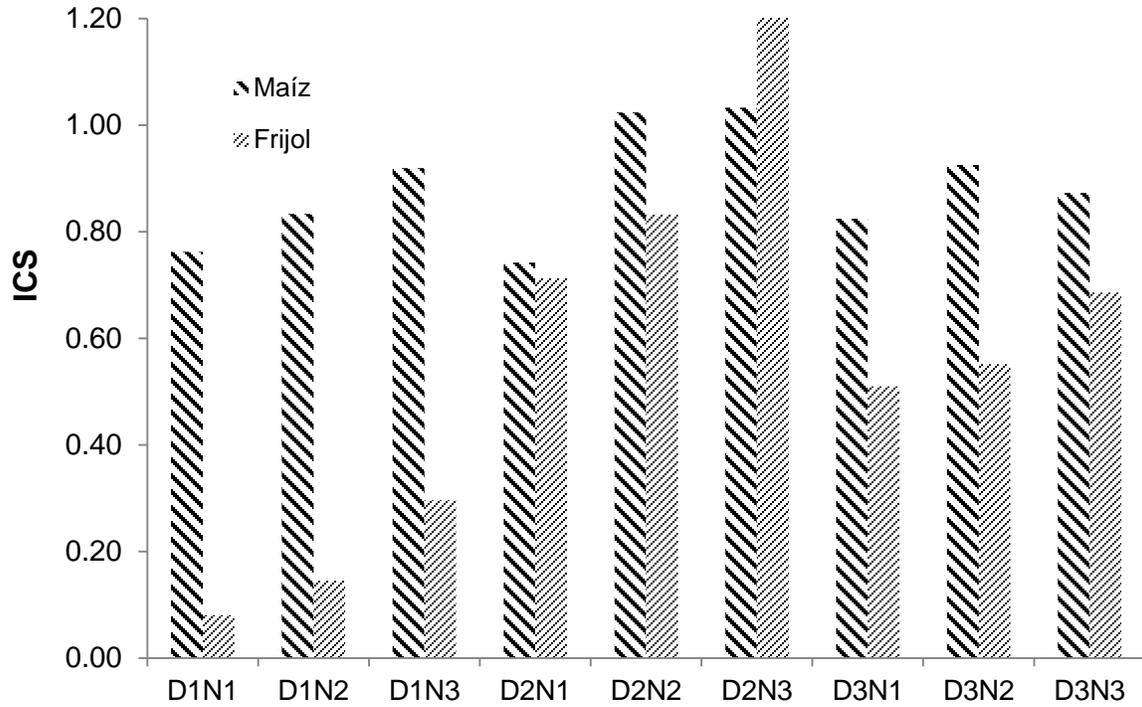


Figura 4. Índice de competencia de maíz y frijol en un agrosistema asociado en función de la densidad de población y niveles de nitrógeno. Montecillo, México. Verano 2010.

VI. CONCLUSIONES

La combinación que mejor expresa una respuesta en el incremento en el rendimiento para frijol fue tres plantas de frijol por planta de maíz con 75 y 150 kg N ha⁻¹. El rendimiento de maíz es afectado por los cambios en densidad de población de frijol y fertilización nitrogenada. La combinación que mejor expresó una alta eficiencia respecto al uso equivalente de la tierra fue la de tres plantas de frijol por planta de maíz y 150 kg N ha⁻¹.

VII. LITERATURA CITADA

- Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J.A.S.; Rodríguez González, M.T. y Morales Rosales, E.J. 2011. Rendimiento y uso equivalente de la tierra en el agrosistema compuesto girasol-frijol. p. 119-128. In: R. Díaz Ruiz; J.F. Álvarez Gaxiola; A. Huerta de la Peña (eds.). Desarrollo de la agricultura sostenible: Alternativas Tecnológicas y Enfoques Sociales. Colegio de Postgraduados. Puebla, México.
- Díaz-López, E.; J.A.S. Escalante-E.; M.T. Rodríguez-G.; A. Gaytán. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Revista Chapingo Serie horticultura 16:215-221.
- Escalante Estrada, J.A.S.; Kohashi Shibata, J. 1993. El rendimiento y crecimiento de frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante Estrada, J.A.S. y M.T. Rodríguez. 1994. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en girasol mediante el manejo del cultivo. p. 345-347. In: J. Pérez; R. Ferrera Cerratos (eds.). Agroecología y Desarrollo Sostenible. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante-Estrada, J.A.S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Agroproductividad 1:28-32.
- Escalante-Estrada, J.A.S.; L.E. Escalante-E.; M.T. Rodríguez-G. 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-Estrada J.A.; M.T. Rodríguez-González; L.E. Escalante-Estrada. 2006. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Yield in relation to growth habit, plant density and nitrogen fertilization. Ann. Rep. Bean. Improv. Coop. 253-254.
- Francis, C. A. 1978. Multiple cropping potentials of beans and maize. Hortscience 13 (1): 12-16.
- Francis, C. A. 1981. Development of plant genotypes for multiple cropping systems. In: Frey , K. (ed.).Plant Breeding II. The Iowa State University Press, Iowa, pp. 179-131.
- Francis, C. A., Prager, M. y Tejada, G. 1982. Effects of relative planting dates in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) intercropping patterns. Field Crops Research 5: 45-54.
- Francis, C. 1986. Biological efficiencies in multiple - cropping systems. Advances in Agronomy 42:1-42.
- Ganellin, C.R. (2005). Latin American plants as sources for nutraceuticals. IUPAC Subcommittee on Medicinal Chemistry and Drug Development. Division VII Chemistry and Human Health. England: CR.
- García, A. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Base de datos climatológicos 1921-1995. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Hangen, L., y Bennink, M.R. 2002. Consumption of black beans and navy reduced azoximethane induced colon cancer in rats. Nutrition and Cancer, 44: 60–65.

- Hanway J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 55:487-492.
- Hiebsch, C. y R. Mccollum. 1987. Area-X-time equivalency ratio: A method for evaluating the productivity of inter-crops. *Agronomy Journal* 79: 15-22.
- Mutsaers, H., Ezumah H. y D. Osiru. 1993. Cassava- based intercropping: a review. *Field Crops Research* 34:431-457.
- Oljaca, S., Cvetkovic, R., Kovacevic, D., Vasic G. and Momirovic, N. 2000. Effect of plant arrangement pattern and irrigation on efficiency of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping system. *The Journal of Agricultural Science* 135:261-270.
- Ofori, F. y W. Stern. 1987. Cereal - legume intercropping systems. *Advances in Agronomy* 41: 41-90.
- Salinas, M.Y., Soto, H.M., Martínez, B.F., González, H.V. y Ortega, P.R. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 22:161-174.
- Salinas, R. N., Escalante, E. J. A., Rodríguez, G. M. T., Sosa, M. E. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:235-241.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteor.* 35: 353-358.
- Willey, R. W. 1979. Intercropping. Its importance and research needs. I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts* 32: 1-10.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agriculture, Water Management* 17: 215-231.

CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO EN SIEMBRA ASOCIADA CON MAÍZ

I. RESUMEN

El conocimiento de la dinámica y tasa de acumulación de materia seca durante la fenología del agrosistema maíz-frijol, son una herramienta útil para identificar que especie en la asociación es la que presenta mayor eficiencia del dosel para producción y translocación de MS hacia el ejote (índice de cosecha). El objetivo de este estudio fue describir el patrón y velocidad de crecimiento, producción de biomasa, índice de cosecha y rendimiento de ejote en el agrosistema maíz-frijol. El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, bajo condiciones de lluvia estacional. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2010, se usó el cv. de frijol Hav-14, tipo IV y maíz azul cv. San Miguelito de la raza Chalqueño. Los tratamientos fueron: la defoliación por estratos de 40 cm en maíz, a partir de la base del tallo, del: a) estrato inferior (DEI); b) estrato medio (DEM); c) estrato superior (DES); d) defoliación total de láminas (DTP) y e) un testigo sin defoliación (SD). La dinámica de acumulación de materia seca del frijol siguió un patrón sigmoideo y para el índice de área foliar cuadrático. Se observan diferencias por tratamiento en el índice de área foliar, tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo y en consecuencia en la biomasa total. También índice de cosecha y rendimiento de ejote.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., biomasa, índice de cosecha

GROWTH AND PRODUCTION OF SNAP BEAN-MAIZE INTERCROPPING

II. ABSTRACT

The knowledge of the dynamics and rate of dry matter accumulation during the phenology of maize-snap bean intercropping, are a useful tool to identify which species in the association is the canopy is more efficient for the production and translocation of MS into the bean (harvest index). The aim of this study was to describe the model and growth rate, biomass production, harvest index and snap bean yield in maize-snap bean intercropping. The study was conducted in the experimental field of the Colegio de Postgraduados in Montecillo, Estado de México, under conditions of seasonal rainfall. The trial was established on May 25, 2010, we used the cv. Snap bean Hav-14, type IV and blue corn cv. San Miguelito, race Chalqueño. The treatments were: defoliation by stratum of 40 cm in corn, from the base of the stem, of: a) lower stratum (DEI), b) middle stratum (DEM), c) upper stratum (DES), d) total defoliation (DTP) and e) a control without defoliation (SD). The dynamics of dry matter accumulation of snap bean followed a sigmoid model and leaf area index squared. Treatment differences were observed in leaf area index, net assimilation rate and crop growth rate and consequently the total biomass. Also in the harvest index and snap bean yield.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., biomass, harvest index, yield.

II. INTRODUCCIÓN

La contribución de los cultivos asociados en la producción mundial de alimentos, se estima del orden del 25 al 30 % y, dentro de algunos países, constituyen la principal forma de subsistencia alimentaria. En México, la práctica de sembrar diferentes especies compartiendo el mismo terreno se realiza desde la época prehispánica y en la actualidad se emplea por las ventajas que tiene sobre el monocultivo, a través de un mayor rendimiento por superficie sembrada. La materia seca (MS) de un cultivo es producto de la radiación interceptada y ésta a su vez del tamaño del dosel vegetal evaluado mediante el área foliar y su actividad (tasa de asimilación neta, TAN, Escalante y Kohashi, 1993). La dinámica de la acumulación de MS describe el crecimiento de las plantas así como la tasa de acumulación en cada etapa fenológica. Dicho conocimiento es de importancia para dar al cultivo el manejo agronómico oportuno y lograr una máxima producción (Escalante *et al.*, 1999) puesto que los requerimientos para el crecimiento están en función de la etapa fenológica en que éste se encuentre. La dinámica de acumulación de MS durante el ciclo biológico de un cultivo puede ser descrita mediante modelos matemáticos (Thornley y Johnson, 2000). Escalante y Rodríguez (2011) indican que la magnitud del rendimiento, está determinada por efecto del medio sobre los componentes morfológicos y fisiológicos, por lo que, se asume que en la asociación maíz-frijol cuando el agua y los nutrientes no son limitantes, los cambios en dichos componentes se deben al sombreado del maíz, que tiene efecto sobre procesos fisiológicos como la velocidad de la fotosíntesis, respiración y transpiración y la

resultante de estos procesos, es la acumulación de MS por la planta, la cual depende del tamaño del dosel vegetal evaluado mediante el área foliar por unidad de superficie (IAF), la duración del área foliar y su actividad fotosintética (TAN). Asimismo, el índice de cosecha (IC) es una medida de la eficiencia de la distribución de materia seca hacia el ejote. Por otra parte, los índices de análisis de crecimiento son una herramienta útil para identificar que estrato foliar de la planta presenta mayor eficiencia para producción y translocación de MS hacia el ejote (IC). El objetivo de este estudio fue describir el patrón y velocidad de crecimiento, producción de biomasa, índice de cosecha y rendimiento de ejote en el agrosistema maíz-frijol.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Montecillo, Estado de México, bajo condiciones de lluvia estacional. En clima templado (BS1, García, 2004). La siembra se realizó el 25 de mayo de 2010. Se usó el cv. de frijol ejotero (FE) Hav-14, hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), y maíz azul cv. San Miguelito de la raza Chalqueño, colocándose dos semillas de FE y una de maíz por mata, el patrón de siembra fue de 25 x 80 cm, la densidad de población fue de 5 plantas m⁻². La unidad experimental fue de cuatro surcos de 5m de longitud con orientación este a oeste. Los tratamientos consistieron en realizar en la etapa fenológica de floración del maíz la defoliación a partir de la base del tallo, considerando tres estratos: a) estrato inferior (DEI); b) estrato medio (DEM); c) estrato superior (DES); d) defoliación total de láminas (DTP) y e) un testigo sin defoliación (SD). El diseño experimental fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo, se tomaron muestras de cuatro plantas de FE a los 15, 33, 73 y 105 días después de la siembra (dds) para evaluar la dinámica de MS y el área foliar (AF, medida con un integrador de área modelo Licor L1300, LI-COR Inc. Lincoln NE), el índice de área foliar (IAF) calculado con la ecuación $IAF = (\text{área foliar por planta (dm}^2) \cdot \text{número de plantas por m}^{-2}) / 100 \text{ dm}^2$ y biomasa total (suma de la materia seca del tallo, hoja y grano). La tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g m⁻² día⁻¹) mediante la ecuación $TCC = (MS_2 - MS_1) / (T_2 - T_1)$ y la tasa de asimilación neta (TAN, g m⁻² de AF día⁻¹) mediante la ecuación $TAN = \{ (MS_2 - MS_1) (\ln AF_2 - \ln AF_1) \} / \{ (AF_2 - AF_1) (T_2 - T_1) \}$; donde MS₂, MS₁, AF₂, AF₁, T₂ y T₁ son el peso de la materia seca, área foliar en los

tiempos 2 y 1 para diversos períodos de crecimiento (Escalante y Kohashi,1993). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza mediante SAS 9.3 (2009) y la comparación de medias de tratamientos Tukey $\alpha = 0.05$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Dinámica de acumulación de materia seca e índice de área foliar

La dinámica de crecimiento de MS en FE presentó un patrón exponencial que se ajustó a un modelo $Y = b e^{ax}$ donde Y es la biomasa estimada; b es el valor de intersección del eje, a es el valor de la pendiente, e es el exponente de la pendiente y x son los días después de la siembra (dds) (Figura 1). Al último corte de ejote, la biomasa presentó diferencias significativas entre tratamientos, la mayor acumulación de MS se presentó en el tratamiento DES (117 g pl) y la menor acumulación de MS de encontró con el tratamiento DTP (54 g pl). La tendencia del índice de área foliar (IAF) siguió un patrón de polinomio de segundo grado o cuadrático ($Y=a+bx+cx^2$). El IAF máximo se observó al último corte de ejote (105 dds), con un máximo de 2.6 en el tratamiento DES y de 0.7 en el tratamiento DTP (Figura 2).

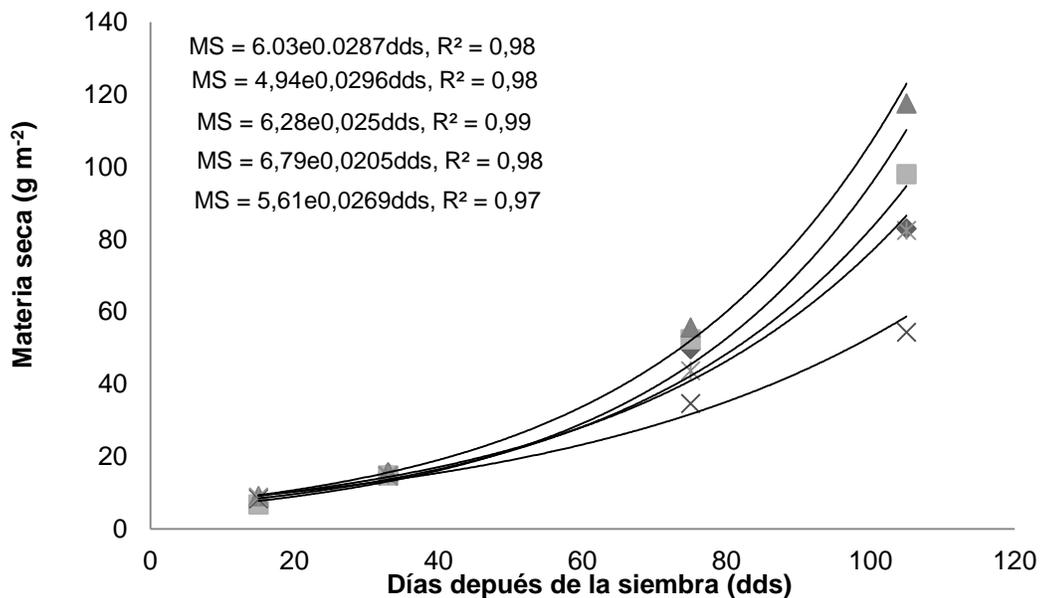


Figura 1. Dinámica de acumulación de la materia seca en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010.

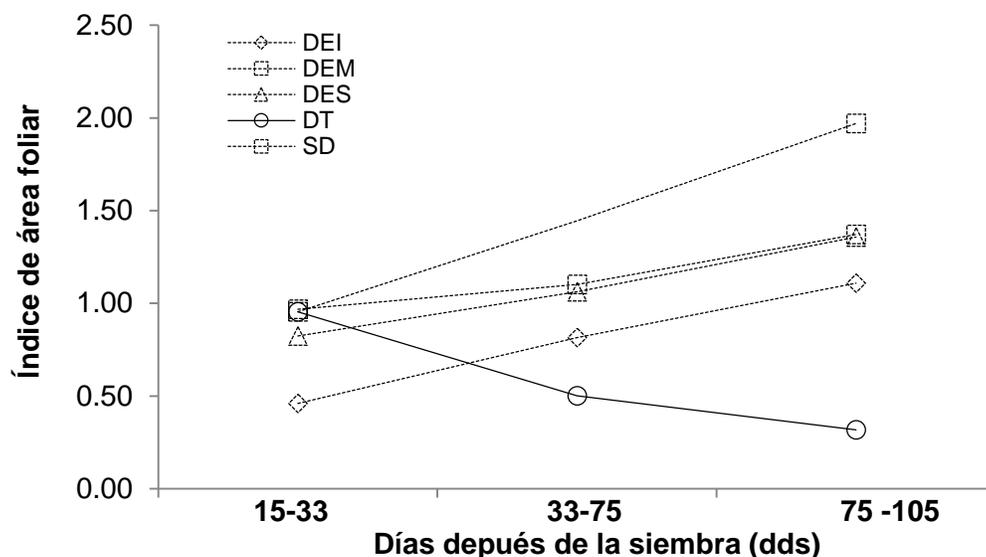


Figura 2. Índice de área foliar en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010.

5.2 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g pl día⁻¹) se incrementó conforme avanzó la estación de crecimiento hasta alcanzar el máximo a los 105 dds (período del último corte de ejote) con 1.97 g pl día⁻¹ en el tratamiento SD; y de 1.37 y 1.35 g pl día⁻¹ en DEM y DES, respectivamente (Figura 3). Por otra parte, el tratamiento que no siguió esta tendencia fue el DTP, el cual presentó una TCC decreciente que disminuyó hasta alcanzar su valor más bajo al periodo del último corte de ejote (0.31 g pl día⁻¹). La tasa de asimilación neta (TAN, g dm⁻² día⁻¹) como medida de la eficiencia fotosintética de la planta fue mayor durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo, para el tratamiento DEM el valor fue de 0.0023 g dm⁻² día⁻¹ y de 0.0022 g dm⁻² día⁻¹ para DEI (Figura 4). Posteriormente, debido en parte al efecto de sombreado provocado por el maíz hacia el FE, la TAN disminuyó hasta alcanzar el valor más bajo al último corte de ejote (105 dds).

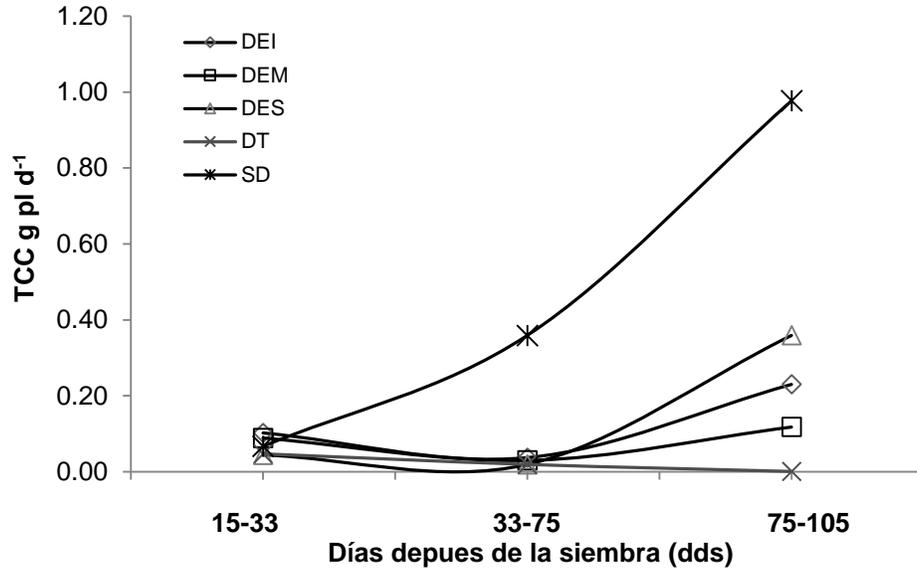


Figura 3. Tasa de crecimiento del cultivo del frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010.

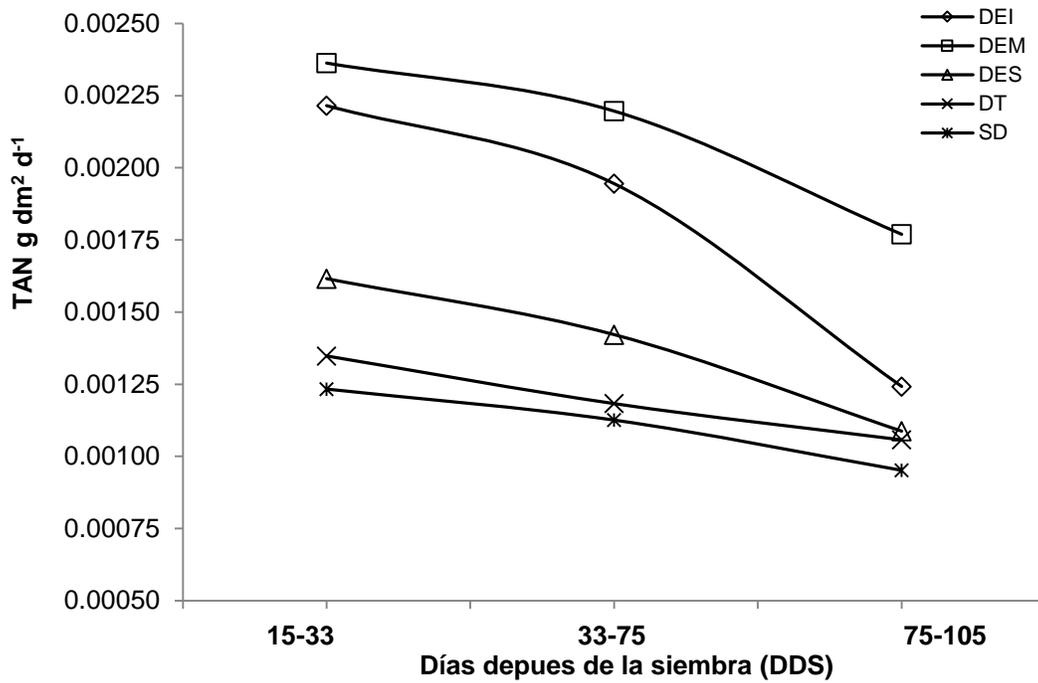


Figura 4. Tasa de asimilación neta en frijol ejotero, en función de la defoliación. Montecillo, México. Verano, 2010.

5.3 Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para el BT, IC y RE. La eliminación del tercio superior del maíz ocasionó que se modificara la BT, IC y en consecuencia el RE. Esto indica que la disminución de la radiación solar hacia el frijol Hav-14 ocasionada por el estrato superior del maíz, limita el rendimiento del frijol cuando se siembra en asociación. Esto se relaciona con lo encontrado en Gardiner y Craker (1981) quienes mencionan que una mayor intercepción de la luz a diferentes niveles del dosel vegetal del frijol principalmente en etapas tempranas del desarrollo, se traduce en una mayor acumulación de materia seca y un incremento en el rendimiento.

VI. CONCLUSIONES

La dinámica de acumulación de materia seca del maíz sigue un patrón sigmoideo y en el índice de área foliar cuadrático. Se observan diferencias fenotípicas en el índice de área foliar, tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo y en consecuencia en la biomasa total. También en el índice de cosecha y en el rendimiento en grano. El estrato superior del dosel del maíz limita en mayor grado el número de vainas, número de granos y en consecuencia el rendimiento y la producción de biomasa del frijol.

VII. LITERATURA CITADA

- Escalante, E. J. A. y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M.; Escalante, E. E. 1999. Efecto del nitrógeno en la producción y abscisión de órganos reproductivos en frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 10(1): 47-53.
- Escalante, J. A.; Kohashi, S., J. 1986. Influencia de la edad al trasplante en el rendimiento y sus componentes de variedades de *Phaseolus vulgaris* L. de guía. *Agrociencia* 65: 51-59.
- Gardiner, T. R. and L. E. Craker. 1981. Bean growth and light interception in a bean-maize intercrop. *Field Crop Research* 43: 13-320.

CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES

En la asociación maíz-frijol la defoliación del maíz en prefloración afecta los componentes del rendimiento, rendimiento de grano, biomasa e índice de cosecha del frijol. El estrato superior del dosel del maíz es el que limita en mayor grado el número de vainas, número de granos y en consecuencia el rendimiento y la producción de biomasa del frijol. En maíz la reducción de la fuente de fotosintatos ocasiona una disminución en el número de granos y en el rendimiento en grano. En general, la mayor ganancia económica del agrosistema se logra al defoliar el estrato superior en el maíz.

La fenología del frijol ejotero no presentó diferencias respecto a los tratamientos evaluados. El mayor rendimiento de ejote se presentó con la densidad de población de dos plantas y nivel $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Existió una relación positiva entre el rendimiento de ejote y la mayor eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica del nitrógeno. El rendimiento de ejote se relacionó con la acumulación de unidades calor, la evapotranspiración y la radiación fotosintéticamente activa.

La combinación que mejor expresa una respuesta en el incremento en el rendimiento para frijol fue tres plantas de frijol por planta de maíz con 75 y 150 kg N ha^{-1} . El rendimiento de maíz es afectado por los cambios en densidad de población de frijol y fertilización nitrogenada. La combinación que mejor expresó una alta eficiencia respecto al uso equivalente de la tierra fue la de tres plantas de frijol por planta de maíz y 150 kg N ha^{-1} .

La dinámica de acumulación de materia seca del maíz sigue un patrón sigmoideo y en el índice de área foliar cuadrático. Se observan diferencias fenotípicas en el índice de área foliar, tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo y en consecuencia en la biomasa total. También en el índice de cosecha y en el rendimiento en grano. El estrato superior del dosel del maíz limita en mayor grado el número de vainas, número de granos y en consecuencia el rendimiento y la producción de biomasa del frijol.