



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

## **CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PRODUCCIÓN DEL FRIJOL CHINO (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) EN FUNCIÓN DEL MANEJO Y AMBIENTE**

PATRICIO APÁEZ BARRIOS

### **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

### **DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO


**2014**

La presente tesis titulada: "**Crecimiento y calidad de producción del frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en función del manejo y ambiente**", realizada por el alumno: **Patricio Apéez Barrios**, 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. ELISEO SOSA MONTES

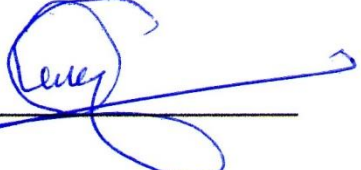
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. VÍCTOR MANUEL OLALDE GUTIÉRREZ

ASESOR

\_\_\_\_\_  
DR. J. RODOLFO GARCÍA NAVA

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2014

# **CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PRODUCCIÓN DEL FRIJOL CHINO (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) EN FUNCIÓN DEL MANEJO Y AMBIENTE**

Patricio Apáez Barrios, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

El estudio se desarrolló en los ciclos de producción 2011 y 2012, en clima cálido y templado. En clima cálido, en 2011 se determinó la dosis de nitrógeno (N) y fósforo (P) que genera el mayor rendimiento de grano (RG) y vaina verde (RVV) del frijol chino (FCH) en espaldera viva de maíz. Para el año 2012, con una dosis de fertilización de 50 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se evaluó el efecto de la distancia entre hileras (DH, 80 y 160 cm), biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF) sobre el RG, RVV y calidad nutrimental. Los resultados indican que la aplicación de 150 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, generó el mayor RG (151 g m<sup>-2</sup>) y RVV (925 g m<sup>-2</sup>), esto como consecuencia de aumentos en el tamaño del dosel vegetal, mayores tasas de asimilación neta y tasas de crecimiento absoluto. Con la siembra a DH de 80 cm, con BIO y FF se logró un RG de 141 g m<sup>-2</sup> y RVV de 851 g m<sup>-2</sup> superior a la siembra a DH de 160 cm sin BIO y sin FF. Las vainas y granos del FCH con BIO y FF presentaron mayor concentración de proteínas, minerales y menor contenido de fibras. En clima templado en el año 2011, se estudió el efecto de las fechas de siembra sobre la producción de FCH en espaldera viva de maíz, estas fueron: 15 y 30 de Abril, 15 y 30 de Mayo y 15 de Junio. Para el año 2012 se evaluó el efecto de la DH (DH40 y DH80 cm) y dosis de N (N0, N75 y N150 kg ha<sup>-1</sup>) sobre la producción de forraje (hojas y tallos) del FHC-maíz en asociación. De acuerdo con los resultados, el RG (7.3 g m<sup>-2</sup>) y biomasa (139 g m<sup>-2</sup>) más altos se presentaron con siembra del 15 de Abril, resultado de mayor acumulación de calor (1204 °C d) y evapotranspiración (486 mm), a medida que se retrasa la siembra, el RG disminuye y las fases

fenológicas se prolongan. Con DH40-N75 y DH40-N150 se logró la mayor producción de forraje seco de FCH-maíz, con 658 y 729 g m<sup>-2</sup> respectivamente, consecuencia de mayor densidad de población y disponibilidad de N. En general, la producción de grano y vaina de FCH es mayor en clima cálido, atribuido a temperaturas más elevadas. Sin embargo, en clima templado la producción de forraje del FCH en asociación con maíz es una alternativa viable.

**Palabras clave:** calidad nutricional, fertilización, forraje, rendimiento de grano y vaina.

**GROWTH AND QUALITY PRODUCTION OF COWPEA (*Vigna unguiculata* (L.)  
Walp.) IN FUNCTION OF MANAGEMENT AND ENVIRONMENT**

Patricio Apáez Barrios, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

The study was conducted in production cycles 2011 and 2012 in warm and temperate climate. In warm climate, in 2011 was determined the dose of nitrogen (N) and phosphorus (P) that generate the highest grain yield (GY) and green pod yield (GPY) of cowpea in living trellis of maize. For the year 2012 with a dose of fertilization of 50 and 50 kg ha<sup>-1</sup> of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> were evaluated the effect of the distance between rows (DR, 80 and 160 cm), biofertilization (BIO) and foliar fertilization (FF) on the GY, GPY and nutritional quality. The results indicate that the combination 150 and 150 kg ha<sup>-1</sup> of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> generated the largest GY (151 g m<sup>-2</sup>) and GPY (925 g m<sup>-2</sup>), that as a result of increases in the size of the canopy plant, higher net assimilation rate and absolute growth rates. With the sowing to DR of 80 cm, with BIO and FF was achieved a GY 141 g m<sup>-2</sup> and GPY 851 g m<sup>-2</sup> major that sowing to DR 160 cm without BIO and without FF. The pods and grains of cowpea with BIO and FF increased the concentration of proteins, minerals and lowered the fiber content. In a temperate climate in 2011 was studied the effect of sowing dates on the production of cowpea in living trellis of maize, these were: 15 and 30 of April, 15 and 30 of May and June 15. For 2012 were assessed the effect of the DR (DR40 and DR80 cm) and dose of N (N0, N75 and N150 kg ha<sup>-1</sup>) on forage production (leaves and stems) of cowpea-maize association. In accordance with the results, the largest GY (7.3 g m<sup>-2</sup>) and biomass (139 g m<sup>-2</sup>) were presented with the sowing of April 15 result of higher temperatures, heat units (1204 °C d) and evapotranspiration (486 mm), as is delayed sowing the GY decreases and phenological phases are prolonged. DR40-

N75 and DR40-N150 presented the highest production, with 658 and 729 g m<sup>-2</sup> dry matter of cowpea-maize, due to higher population density and availability of N. In general, the production of grain and pod in cowpea is higher in warm climate, attributed to higher temperatures; however, in temperate climate the forage production of FCH in association with corn is a viable alternative.

**Key words:** nutritional quality, fertilization, forage, grain yield, green pod yield.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por abrirme sus puertas y brindarme las facilidades para mi formación académica.

Al Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), por permitirme establecer parte de los trabajos de investigación.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, por ser mi mentor, ejemplo de investigador y sobre todo persona con gran calidad humana.

A la M.C. María Teresa Rodríguez González, por sus sabios consejos, acertadas observaciones, por motivarme y brindarme su amistad.

Al Dr. Eliseo Sosa Montes, por su disponibilidad, apoyo incondicional en el análisis de laboratorio, acertadas correcciones y su valiosa amistad.

Al Dr. Víctor Manuel Olalde Gutiérrez, por las facilidades otorgadas para desarrollar parte de los experimentos de campo, sus destacadas observaciones y correcciones del trabajo.

Al Dr. J. Rodolfo García Nava, por el apoyo otorgado, disponibilidad y sabios consejos.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos, por sus observaciones y correcciones al trabajo.

A los profesores que compartieron parte de sus conocimientos en mi formación profesional.

A mis compañeros, por compartirme parte de su vida durante mi estancia.

## DEDICATORIAS

A mis hijos Derek Yotzoalith y Patricio Elí, mis mayores tesoros, todo lo que hago es por y para ustedes.

A mi esposa, Yurixhi Atenea, por tu apoyo incondicional, confianza y animarme a perseguir mis metas.

A mi madre, Francisca Barrios Alcocer, por regalarme la vida, creer en mí, motivarme y hacerme una persona de bien.

A mi padre, Pedro Apáez Ramírez, por tu cariño, apoyo y sabios consejos.

A mis hermanos, Viviana, Maricela, Jairo, Mario y Alicia, sé que siempre estarán dispuestos a apoyarme cuando los necesite.

A mis sobrinos, Carlos Manuel, Luis Ángel, Emmanuel, Jaciel Julian y Cesar Javier, por el cariño que me brindan.



## CONTENIDO

	<b>Página</b>
RESUMEN GENERAL.....	ii
GENERAL ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	3
<b>CAPÍTULO I. EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ.....</b>	<b>5</b>
RESUMEN.....	6
SUMMARY.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
Biomasa aérea total.....	12
Índice de cosecha.....	14
Rendimiento de grano y sus componentes.....	15
Eficiencia en el uso del agua.....	18
Eficiencia agronómica del N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	18
Análisis económico.....	20
CONCLUSIONES.....	22
LITERATURA CITADA.....	22
<b>CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ CON NITRÓGENO Y FÓSFORO.....</b>	<b>27</b>
RESUMEN.....	28
ABSTRACT.....	29
INTRODUCCIÓN.....	30

MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Clima y fenología.....	35
Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar.....	36
Índices de análisis de crecimiento.....	37
Tasa media de asimilación neta.....	38
Tasa media de crecimiento absoluto.....	39
Biomasa total y radiación interceptada.....	41
Biomasa total y su distribución en la planta.....	42
Rendimiento de vaina verde y componentes del rendimiento.....	43
Análisis económico.....	45
CONCLUSIONES.....	47
LITERATURA CITADA.....	47
<b>CAPÍTULO III. PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO CON ESPALDERA VIVA DE MAÍZ A DISTINTAS FECHAS DE SIEMBRA EN CLIMA TEMPLADO.....</b>	<b>52</b>
RESUMEN.....	53
ABSTRACT.....	54
INTRODUCCIÓN.....	55
MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
Fenología y condiciones ambientales.....	58
Unidades calor y evapotranspiración.....	59
Rendimiento y componentes del rendimiento.....	60
Biomasa, índice de cosecha y eficiencia en el uso del agua.....	62
Análisis económico.....	64
CONCLUSIONES.....	65
LITERATURA CITADA.....	65
<b>CAPÍTULO IV. DISTANCIA ENTRE HILERAS, NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN LA ASOCIACIÓN FRIJOL CHINO-MAÍZ EN CLIMA TEMPLADO.....</b>	<b>68</b>
RESUMEN.....	69

ABSTRACT.....	70
INTRODUCCIÓN.....	71
MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
Clima y fenología.....	74
Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar.....	76
Índice de verdor.....	77
Rendimiento de forraje y razón de peso foliar.....	79
Área específica foliar.....	83
CONCLUSIONES.....	85
LITERATURA CITADA.....	85
<b>CAPÍTULO V. PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DISTANCIA ENTRE HILERAS Y FERTILIZACIÓN.....</b>	<b>89</b>
RESUMEN.....	90
ABSTRACT.....	91
INTRODUCCIÓN.....	92
MATERIALES Y MÉTODOS.....	94
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	96
Clima y fenología.....	96
Número de hojas, ramas, índice de área foliar e índice de verdor.....	97
Rendimiento de grano.....	99
Calidad nutricional del grano de frijol chino.....	101
Análisis económico.....	104
CONCLUSIONES.....	106
LITERATURA CITADA.....	106
<b>CAPÍTULO VI. PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE VAINA DEL FRIJOL CHINO EN FUNCIÓN DEL ARREGLO TOPOLÓGICO Y TIPO DE FERTILIZACIÓN.....</b>	<b>110</b>
RESUMEN.....	111
ABSTRACT.....	112

INTRODUCCIÓN.....	113
MATERIALES Y MÉTODOS.....	115
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	117
Rendimiento de vaina y componentes.....	117
Rendimiento de vaina verde por corte.....	121
Calidad nutrimental del rendimiento de vaina.....	121
Clima, fenología unidades calor y evapotranspiración.....	125
CONCLUSIONES.....	127
LITERATURA CITADA.....	127

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo experimental.....	11
Cuadro 2. Temperaturas máximas, mínimas (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Cocula, Gro. Verano de 2011.....	11
Cuadro 3. Probabilidad de F de las variables en estudio de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011	13
Cuadro 4. Valores medios para las variables en estudio de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011	15
Cuadro 5. Correlación entre el rendimiento de grano con el peso de cien granos (P100G), número de granos (NG), número de vainas (NV) y número de granos por vaina (NGV). Cocula, Gro. Verano de 2011.....	17
Cuadro 6. Rendimiento, ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), e ingresos netos (IN) del frijol chino y maíz asociados, en función de la dosis de N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011.....	21
<b>CAPÍTULO II</b>	
Cuadro 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Cocula, Gro. Verano de 2011.....	36
Cuadro 2. Número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del frijol chino en espaldera viva de maíz en función del N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011.....	38
Cuadro 3. Rendimiento de vaina verde y componentes del rendimiento del frijol chino en espaldera viva de maíz en función del N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011.....	45
Cuadro 4. Rendimiento de vaina del frijol chino (RVV) y grano de maíz (RGM), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en función del N	

y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Cocula, Gro. Verano de 2011.....	46
--	----

### **CAPÍTULO III**

Cuadro 1. Fenología, unidades calor (UC), precipitación (PP), lámina de riego (LR) y evapotranspiración (ETc) durante el ciclo del cultivo. Montecillo, Méx. Verano de 2011.....	60
Cuadro 2. Rendimiento de grano (RG) y componentes del rendimiento del FCH en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.....	61
Cuadro 3. Biomasa total (BT), índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso del agua para grano y biomasa (EUAG y EUAB) del FCH en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.....	62
Cuadro 4. Análisis económico del rendimiento de grano del frijol chino (RGF) y maíz (RGM) en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.....	64

### **CAPÍTULO IV**

Cuadro 1. Análisis de varianza del número de hojas verdes, índice de área foliar, duración del área foliar e índice de verdor del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.....	78
Cuadro 2. Número de hojas verdes, índice de área foliar, duración del área foliar e índice de verdor del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.....	79
Cuadro 3. Análisis de varianza del peso seco de tallos y hojas, área específica foliar y razón de peso foliar del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.....	82
Cuadro 4. Peso seco de tallos y hojas, área específica foliar y razón de peso foliar del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.....	84

## CAPÍTULO V

Cuadro 1.	Análisis de varianza del número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF), índice de verdor (IV) y rendimiento de grano (RG) del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	98
Cuadro 2.	Número de hojas verdes (NH), ramas (NR), índice de área foliar (IAF) y de verdor (IV) a los 80 días después de la siembra en frijol chino con espaldera viva de maíz, en función de la distancia entre hileras (D), biofertilizante (BIO) y fertilización foliar (FF). Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	99
Cuadro 3.	Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para grano del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano, 2012	102
Cuadro 4.	Análisis nutrimental (% de peso seco) de grano seco de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	103
Cuadro 5.	Análisis nutrimental (% de peso seco) del grano seco de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	104
Cuadro 6.	Rendimiento, ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), ingreso neto (IN) del FCH, frijol común y maíz, en función de distancia entre hileras, fertilización foliar y biofertilización. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	105

## CAPÍTULO VI

Cuadro 1.	Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012....	118
Cuadro 2.	Rendimiento de vaina verde (RVV en peso fresco), número de vainas	

	(NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	120
Cuadro 3.	Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para vaina verde del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	122
Cuadro 4.	Análisis nutrimental (% de peso seco) de vainas verdes de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	124
Cuadro 5.	Temperatura máxima, mínima (media decenal), unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.....	126



## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

### CAPÍTULO I

- Figura 1. Rendimiento de grano (A) y biomasa total (B) de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. \*\* = P ≤ 0.01. Cocula, Gro. Verano de 2011..... 17
- Figura 2. Eficiencia en el uso del agua para grano (EUAG) y biomasa (EUAB) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. \*\* = P ≤ 0.01. Cocula, Gro. Verano de 2011..... 19
- Figura 3. Eficiencia agronómica del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (EAN y EAP) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Cocula, Gro. Verano de 2011..... 20

### CAPÍTULO II

- Figura 1. Dinámica de la tasa media de asimilación neta (TAN) y tasa media de crecimiento absoluto (TCA) en frijol chino en espaldera viva de maíz en función del nitrógeno (A<sub>1</sub> y B<sub>1</sub>) y fósforo (A<sub>2</sub> y B<sub>2</sub>). DSH = diferencia significativa honesta. Cocula, Gro. Verano de 2012..... 40
- Figura 2. Biomasa total en función de la radiación interceptada para nitrógeno (A) y fósforo (B). N<sub>0</sub> = 0, N<sub>75</sub> = 75 y N<sub>150</sub> = 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, P<sub>0</sub> = 0, P<sub>75</sub> = 75 y P<sub>150</sub> = 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Cocula, Gro. Verano de 2012..... 41
- Figura 3. Biomasa total y su distribución en los órganos del frijol chino en función niveles de nitrógeno y fósforo. N<sub>0</sub> = 0, N<sub>75</sub> = 75 y N<sub>150</sub> = 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, P<sub>0</sub> = 0, P<sub>75</sub> = 75 y P<sub>150</sub> = 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Cocula, Gro. Verano de 2011..... 43

### CAPÍTULO III

- Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del FCH en espaldera de maíz en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011..... 59
- Figura 2. Relación entre la biomasa total (BT) e índices climáticos. UC = unidades calor, ETc = evapotranspiración, A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio. Montecillo, Méx. Verano de 2011..... 63

### CAPÍTULO IV

- Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de la asociación frijol chino-maíz. S = siembra, V1 = emergencia y R5 = prefloración del frijol chino. VE = emergencia, R0 = floración masculina del maíz y R1 = floración femenina del maíz. Montecillo, Méx. Verano de 2012..... 75
- Figura 2. Materia seca (MTS, A) y fresca total (MFT, B) del frijol chino y maíz en asociación en función la distancia entre hileras y nitrógeno. MSF = materia seca del frijol chino, MSM = materia seca del maíz, MFF = materia seca del frijol chino, MFM = materia fresca del maíz, D80 y D40 = distancia entre hileras de 80 y 40 cm, N0, N75 y N150 = 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. Montecillo, Méx. Verano de 2012..... 81
- Figura 3. Materia seca del frijol chino (MSF, A<sub>1</sub>) y maíz (MSM, A<sub>2</sub>), materia fresca del frijol chino (MFF, B<sub>1</sub>) y maíz (MFM, B<sub>2</sub>) en función de la distancia entre hileras y nitrógeno. D80 y D40= distancia entre hileras de 80 y 40 cm, N0, N75 y N150 = 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. Montecillo, Méx. Verano de 2012..... 83

### CAPÍTULO V

- Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz y ocurrencia de las etapas fenológicas del frijol chino. S = siembra,

E = emergencia, R6 = inicio de floración y R9 = madurez fisiológica.  
 Huitzuco, Gro. Verano de 2012..... 97

Figura 2. Rendimiento de grano (RG) del frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. D8 = distancia entre hileras de 0.8 m, D16 = distancia entre hileras de 1.6 m, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Huitzuco, Gro. Verano de 2012..... 100

## CAPÍTULO VI

Figura 1. Dinámica de la producción por corte de vaina del frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la distancia entre hileras (DH), biofertilización y fertilización foliar. D8 = DH de 80 cm, D16 = DH de 160 cm CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012..... 121

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El frijol chino [FCH, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.] es una leguminosa cultivada en zonas tropicales y subtropicales de este continente, sureste de Asia, sur de Estados Unidos y América Latina (Dugje *et al.*, 2009). Se utiliza en la alimentación humana como grano seco y vainas verdes, las cuales llegan a medir hasta 75 cm de longitud. Es fuente importante de proteínas, con concentraciones de 23 a 29% en peso seco (Appiah *et al.*, 2011). Otro uso es como forraje para rumiantes, el cual presenta baja producción de amoníaco ruminal (García *et al.*, 2002).

A nivel mundial para el año 2012 la superficie destinada a esta leguminosa fue de 11.3 millones de ha (FAOSTAT, 2014). En México se cultiva en Tabasco, Yucatán, Campeche y Guerrero principalmente (Lagunes *et al.*, 2008). En estos, los genotipos de crecimiento indeterminado se establecen en espalderas de madera y malla plástica, la cual eleva los costos de producción. Se ha encontrado que al establecerse asociado con maíz, este ejerce la función de espaldera, con la consecuente disminución de los costos de producción, aumento de la diversidad de productos cosechados y eficiencia en el uso de insumos (Apáez-Barrios *et al.*, 2011). Sin embargo, en este sistema el rendimiento de grano promedio del FCH es de 0.64 ton ha<sup>-1</sup>, considerado bajo (Apáez-Barrios *et al.*, 2011). Existen alternativas para aumentar el desempeño productivo de los cultivos, entre ellos, mejorar la nutrición. En este sentido es necesario determinar la dosis más apropiada de fertilización principalmente de nitrógeno y fósforo (Olaleye *et al.*, 2011). Elementos más demandantes por el cultivo, cantidades adecuadas favorecen la producción de materia seca y rendimiento final (Aguilar *et al.*, 2005). Además, existen tecnologías como los fertilizantes foliares y biofertilizantes (inoculación de microorganismos simbióticos como hongos y bacterias), que pueden complementar los requerimientos nutrimentales y disminuir la aplicación de fuentes inorgánicas, las cuales además de ser costosas, presentan pérdidas por lixiviación y volatilización (Abreu *et al.*,

2007). El efecto positivo de estos se atribuye al suministro de macro y micronutrientes vía foliar, aumentos en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico e incrementos en el volumen radical (Iríza *et al.*, 2003; Grey, 1977). La mejora en la nutrición junto con una adecuada distribución de plantas en el terreno pueden contribuir a mejorar el rendimiento de grano, vaina verde y calidad nutrimental (Salinas *et al.*, 2011).

Por otra parte, aunque este cultivo está adaptado a condiciones de clima cálido, en condiciones templadas se ha logrado producir satisfactoriamente grano y forraje, siempre y cuando no se presenten bajas temperaturas y heladas durante su desarrollo. Por ello, es necesario buscar bajo estas condiciones ambientales la mejor época de siembra donde se tengan las temperaturas más elevadas para una mejor respuesta productiva (Kobata y Uemuki, 2004).

La información derivada de esta investigación se presenta en seis capítulos. En los capítulos I y II bajo condiciones de clima cálido, se analiza el efecto de la dosis de nitrógeno (N) y fósforo sobre el tamaño del dosel vegetal, tasas de crecimiento, producción de grano y vaina verde del FCH en espaldera viva de maíz. En el capítulo III bajo condiciones de clima templado, se evalúa el efecto de las fechas de siembra sobre el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas y producción de FCH en espaldera viva de maíz. En el capítulo IV bajo condiciones de clima templado, se analiza el efecto de la distancia entre hilera y dosis de N sobre la producción de forraje de la asociación FCH-maíz. En los capítulos V y VI bajo condiciones de clima cálido, se determina el efecto de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar sobre el tamaño del dosel vegetal, rendimiento de grano, vaina verde y calidad nutrimental.

## LITERATURA CITADA

- Abreu, Z., Sarmiento, L. y Bottner, P. 2007. Destino del nitrógeno agregado por fertilización en un cultivo de papa en los andes de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 24(2): 203-228.
- Aguilar, G. L., J. A. Escalante E., L. Fucikovskyy Z., L. Tijerina C. y E. Mark E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. 23(3): 303-310.
- Apáez-Barrios P., J. A. Escalante-Estrada and M. T. Rodríguez-González. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroec.* 13(3): 307-315.
- Appiah, F., Asibuo, J. Y. and Kumah, P. 2011. Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) varieties in Ghana. *African Journal of Agricultural Research*. 5(2): 100-104.
- Dugje, I.Y., Omoigui, L.O., Ekeleme, F., Kamara, A.Y. and Ajeigbe, H. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. Agricultural Production Indices 2012, (en línea), consultado por internet el 15 de junio del 2014. Dirección, <http://www.faostat.fao.org>.
- García, M., Herrera, P., Birbe, B., Colmenares, O. y Martínez, N. 2002. Efecto de dos densidades de siembra y cinco edades de cosecha sobre el rendimiento y la calidad del heno de follaje de frijol bayo (*Vigna unguiculata* (L) Walp.). *Revista científica* 12(2): 584-586.

- Grey, R. C. 1977. Foliar fertilization with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. *Proc. Fert. Soc.* 164: 23.
- Irizar, G. M. B., P. Vargas V., D. Garza G., C. Tut C., I. Rojas M., A. Trujillo C., R. García S., D. Aguirre M. y J. Martínez G. 2003. Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agri. Téc. Méx.* 29: 213-225.
- Kobata, T. and Uemuki, N. 2004. High temperatures during the grain filling period no not reduce the potential grain dry meter increase of rice. *Agron. J.* 96:406-414.
- Lagunes-Espinoza, L. C., F. Gallardo-López, H. Becerril-Hernández y E. D. Bolaños-Aguilar. 2008. Diversidad cultivada y sistemas de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. *Rev. Ser. Hort.* 14: 13-21.
- Olaleye, O., F. Olajire, R. C. Aboido and I. Nnenna. 2011. Phosphorus Response Efficiency in cowpea Genotypes. *J. Agric. Sci.* 4: 81-90.
- Salinas, R. N., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. and E. Sosa M. 2011. Yield and nutritional quality of snap bean in terms of biofertilization. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13(3): 347-355.

**CAPÍTULO I**

**EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA**

**PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ**



# **EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

El frijol chino (FCH), por su alto contenido de proteínas, carbohidratos, grasas y fibras, es fundamental en la alimentación humana. Se han observado incrementos en la rentabilidad económica al cultivarse en espaldera de maíz. Sin embargo, en este sistema, el requerimiento nutrimental, principalmente de nitrógeno (N) y fósforo (P) podría ser mayor. Los objetivos de esta investigación fueron: a) determinar en FCH en espaldera de maíz, el efecto de la aplicación de N y P sobre la biomasa total, rendimiento de grano, eficiencia en el uso del agua y de nutrientes (como eficiencia agronómica), y b) determinar la combinación de dosis de N y P ( $P_2O_5$ ) que genere el mayor ingreso neto. En Julio de 2011, bajo clima cálido y condiciones de lluvia estacional, se sembró FCH en espaldera viva de maíz. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N y  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. A la cosecha se determinó la biomasa total (BT), rendimiento de grano (RG), eficiencia en el uso del agua para grano (EUAG) y biomasa (EUAB), eficiencia agronómica para N (EAN), eficiencia agronómica para  $P_2O_5$  (EAP) e ingreso neto. La temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) y la temperatura mínima (T<sub>mín</sub>) promedio fueron de 33 y 20 °C respectivamente, y precipitación de 809 mm. El N y  $P_2O_5$ , incrementaron la producción de BT, RG, EUAG y EUAB. El agregado de  $P_2O_5$  estimuló una mayor respuesta a la aplicación de N. En estas condiciones ambientales, la mayor producción, eficiencia en el uso del agua e ingreso neto en FCH en espaldera viva de maíz se logró con

150 kg de N y  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. La EAN y EAP más alta, se lograron con aplicación de 75 kg N y  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, eficiencia en el uso del agua, ingreso neto.

## **AGRONOMIC EFFICIENCY OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND COWPEA PRODUCTION USING TRELLIS MAIZE**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

Cowpea (FCH) by its high content of proteins carbohydrates, fats and fiber, is essential in the human diet. It has been observed increases in profitability using trellis maize system. However, in this system the nutrient requirement mainly of nitrogen (N) and phosphorus (P) is greater. The objectives were: a) determine in FCH in trellis maize the effect of N and P ( $P_2O_5$ ) on total biomass, grain yield, water use efficiency and agronomic efficiency, and b) determine the combination of doses of N and  $P_2O_5$  to generate the net income greater. In hot climate, under conditions of seasonal rainfall, cowpea was sowing in trellis maize on July, 2011. Treatments consisted on the application of 0, 75 and 150 kg of N and  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. The maximum temperature (Tmax.), minimum (T min.) and daily rainfall were recorded. At harvest, total biomass (TB), grain yield (GY), water use efficiency for grain (WUEG) and biomass (WUEB), agronomic efficiency of N (AEN) and P (AEP) and net income, were determined. The Tmax. and Tmin. average was 33 and 20 °C respectively and precipitation of 809 mm. The N and  $P_2O_5$ , increased the production of TB, GY, WUEG and WUEB. The addition of

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> stimulated a greater response to the application of N. In these environmental conditions, higher production, water use efficiency and net income of FCH in trellis maze was achieved with 150 kg N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. However, the older AEN and AEP were achieved with application of 75 kg N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, water use efficiency, net income.

## INTRODUCCIÓN

El frijol chino (-FCH- *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) es de gran importancia en la alimentación humana y como medio de subsistencia de millones de personas en países en desarrollo (Sing *et al.*, 2003). Se consume en varias formas; las hojas jóvenes, vainas y granos verdes son consumidos como verdura, mientras que el grano seco se usa en gran variedad de preparaciones. Presenta alto contenido de proteínas, con valores que van de 23 a 28 % en grano (Singh *et al.*, 2003; Apáez *et al.*, 2009; Hallensleben *et al.*, 2009). La superficie cultivada con esta leguminosa a nivel mundial se estima en aproximadamente nueve millones de hectáreas, con una producción de 4.5 millones de toneladas de grano, siendo Nigeria, Nepal, India, Somalia, Brasil y Estados Unidos los principales productores (Singh *et al.*, 2003). En México, se cultiva en pequeñas regiones de clima cálido en los estados de Tamaulipas, Tabasco, Veracruz y Guerrero (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; Ávila-Serrano *et al.*, 2010). Los genotipos de FCH de crecimiento indeterminado requieren del uso de tutores (Mynor y Esteban, 2005). Apáez-Barrios *et al.* (2011) encontraron que al utilizar maíz (*Zea mays* L.) como tutor, se incrementa la rentabilidad del cultivo, con mejores rendimientos por unidad de superficie y menores costos relativos de producción.

Los suelos donde generalmente se cultiva, se caracterizan por presentar deficiencias en nitrógeno (N) y fósforo (P), las cuales pueden ser tan agudas que reducen el crecimiento de la

planta en la medida en que se van agotando (Olaleye *et al.*, 2011). Estos nutrimentos esenciales son, generalmente, los más importantes debido a que son requeridos por las plantas en mayores cantidades.

La aplicación de N en el sistema gramínea-leguminosa puede favorecer el crecimiento acelerado de la gramínea, generando una fuerte competencia sobre la leguminosa. Aplicaciones excesivas de N en la gramínea, pueden ser perjudiciales para la fijación del N atmosférico por parte de las leguminosas, mientras que con bajas dosis de fertilizante nitrogenado se pueden inducir deficiencias nutrimentales en la gramínea. El N y P en cultivos asociados se absorben en mayores cantidades (Morris y Garrity, 1993), por lo que el requerimiento es mayor en comparación con el monocultivo. El adecuado nivel y disponibilidad de estos nutrimentos, eleva la eficiencia en el uso del agua (EUA), consecuencia del aumento en el tamaño del dosel vegetal, el cual provoca mayor y más temprana cobertura del suelo, reducción de la evaporación y mayor relación de carbono fijado por unidad de agua disponible (Caviglia *et al.*, 2004).

Un indicador importante respecto al uso del N y P es su eficiencia agronómica, que refleja la respuesta de la producción de grano por unidad de fertilizante aplicado (Fageria y Baligar, 2005). Al respecto, en la asociación maíz-frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), con niveles iniciales de N de 0.08 % y aplicación de 100 kg N ha<sup>-1</sup> se han encontrado incrementos en biomasa total (BT), rendimiento de grano (RG), número de vainas y peso del grano de 10, 19, 24 y 18 % respectivamente (Balbino y William, 2003). Mientras que en la asociación maíz-frijol mungo (*Vigna radiata* L.) con 90 kg N ha<sup>-1</sup> se ha logrado incrementar la BT y RG en 65 y 71 % respectivamente, con eficiencia agronómica de N (EAN) de 3.8 kg kg<sup>-1</sup> (Chowdhury y Elpidio, 1992). Por otra parte, en la asociación maíz - quinchoncho (*Cajanus cajan* L.) con 120 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de N y P respectivamente, se incrementó el RG de la leguminosa en 7 %, con

EAN y EAP de 11 y 81 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente (Quiroz y Douglas, 2007). La fertilización y las respuestas varían de acuerdo con las especies involucradas en la asociación, y lo que respecta a la asociación FCH en espaldera viva de maíz son limitados los estudios. Los objetivos de la presente investigación fueron: a) determinar, en FCH en espaldera de maíz, el efecto de la dosis de N y P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sobre la biomasa total, rendimiento de grano, eficiencia en el uso del agua y eficiencia agronómica y b) determinar la combinación de dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que genere el mayor ingreso neto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se estableció durante el verano de 2011, bajo condiciones de temporal en Cocula, Guerrero, México (18° 19' N, 99° 39' O y 640 m), el clima es AW<sub>0</sub> (w) (i) g, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2005). El 4 de julio se realizó la siembra de FCH y maíz H-516, una planta de cada especie por mata, a densidad de población de 6.2 plantas m<sup>-2</sup> (40 × 80 cm). Para conocer el nivel inicial de fertilidad del suelo, se tomaron submuestras a profundidades de 0-30 y 30-60 cm, para conformar dos muestras compuestas, las cuales se secaron al aire libre y se tamizaron. El N total, P Olsen y otras determinaciones, se efectuaron siguiendo la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978). El cual indica, que es de textura arcillosa, pH neutro, salinidad muy baja para el cultivo, pobre en materia orgánica y N total, y de medio a alto en P Olsen. Esto de acuerdo con los criterios descritos por Vázquez y Bautista (1993) (Cuadro 1).

Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N; y 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (N0, N75 y N150; P0, P75 y P150, respectivamente). Las combinaciones fueron: N0-P0, N0-P75, N0-P150, N75-P0, N75-P75, N75-P150, N150-P0, N150-P75 y N150-P150. Adicionalmente se aplicó a todos 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Estos niveles se aplicaron al FCH y al

maíz usado como espaldera viva. Los fertilizantes utilizados fueron: urea (46-0-0), superfosfato triple (0-46-0) y cloruro de potasio (0-0-60). Se aplicó todo el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y la mitad de N a los 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

**Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo experimental.**

Profundidad	Textura	Dap	pH	CE	MO	N total	P Olsen
cm		g cm <sup>-3</sup>		dS m <sup>-1</sup>	----- % -----		mg kg <sup>-1</sup>
0-30	Arcilla	1.20	7.1	0.248	1.30	0.065	6.0
30-60	Arcilla	1.40	7.1	0.217	2.08	0.104	22
Promedio	Arcilla	1.30	7.1	0.232	1.69	0.08	14.0

Profundidad = profundidad de muestreo, Dap = densidad aparente, pH = potencial hidrógeno, CE = conductividad eléctrica, MO = materia orgánica, N = nitrógeno total, P = fósforo Olsen.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5 × 2.4 m. Durante el desarrollo del experimento se registró la temperatura máxima (T<sub>máx.</sub>, °C), mínima (T<sub>mín.</sub>, °C) y precipitación diaria (PP, mm). En promedio las T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> promedio fueron de 33 y 20 °C respectivamente, con PP acumulada de 809 mm (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Temperaturas máximas, mínimas (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

Mes	Decena	Temperatura		Precipitación	Mes	Decena	Temperatura		Precipitación
		Máx	Mín				Máx	Mín	
		--- °C ---		mm			--- °C ---		mm
Julio	1	35.1	20.8	32.0	Septiembre	7	32.8	20.1	121.0
Julio	2	36.5	21.5	113.4	Septiembre	8	34.2	19.5	139.0
Julio	3	34.8	21.3	92.0	Septiembre	9	34.4	19.4	1.0
Agosto	4	34.5	21.6	29.1	Octubre	10	32.6	19.3	25.1
Agosto	5	34.1	20.3	46.0	Octubre	11	31.2	18.5	32.7
Agosto	6	33.3	20.6	147.0					

A la cosecha se registró la biomasa aérea total (BT, g m<sup>-2</sup>), índice de cosecha (IC = RG / BT, %), rendimiento de grano (RG, peso de granos al 10 % de humedad, g m<sup>-2</sup>) y componentes del rendimiento como: número de granos por m<sup>2</sup> (NG), peso de cien granos (P100G, g), número de vainas normales por m<sup>2</sup> (NV) y granos por vaina (GV). Para conocer la relación entre el RG y sus componentes, se aplicó un análisis de correlación. La eficiencia en el uso del agua para BT (EUAB, g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>) y RG (EUAG, g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>) se calculó con las ecuaciones:  $EUA = BT, RG / ETc$  (Escalante, 1995).

La eficiencia agronómica del N (EAN, kg kg<sup>-1</sup> de N aplicado) y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (EAP, kg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado), que es el incremento en el rendimiento por unidad de nutrimento aplicado, se estimó con la ecuación:  $EA = (RGF - RGT) / F$ , donde: RGF = rendimiento de grano del cultivo fertilizado; RGT = rendimiento de grano del cultivo testigo y F = cantidad del nutrimento aplicado (Fageria y Baligar, 2005).

Se aplicó un análisis económico a las variables RG en FCH y maíz para determinar el ingreso neto, con la ecuación:  $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$ , donde IN = ingreso neto, Y = rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>), Py = precio por kilogramo de grano,  $\sum XiPi$  = suma de costos variables, CF = costo fijo (Volke, 1982).

Con los datos obtenidos de cada variable, se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2003).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Biomasa aérea total**

La biomasa total (BT) mostró cambios altamente significativos por la aplicación de N, interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y significativos por aplicación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cuadro 3). En parte, esto último

se atribuye a que el contenido de P inicial (14 mg kg<sup>-1</sup> de suelo) fue de medio-alto (Vázquez y Bautista, 1993).

**Cuadro 3. Probabilidad de F de las variables en estudio de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

Factor	BT	IC	RG	P100G	NG	NV	NGV	EUAG	EUAB
N	**	*	**	NS	**	**	NS	**	**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	*	NS	*	NS	*	*	NS	*	*
N * P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	**	*	**	NS	**	**	NS	**	**

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. BT = biomasa total, IC = índice de cosecha, RG = rendimiento de grano, P100G = peso de cien granos, NG = número de granos, NV = número de vainas, NGV = número de granos por vaina, EUAG = eficiencia en el uso del agua para grano y EUAB = eficiencia en el uso del agua para biomasa.

Con la aplicación de N150-P150 se logró la mayor producción de BT, seguido de N75-P150, con incremento de 92 y 77 % respectivamente, en relación al testigo (N0-P0). La dosis media (N75-P75) aumentó la BT en 56 % (Cuadro 4). La respuesta en la BT con la aplicación de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se puede atribuir a que estos nutrimentos estimulan el tamaño del dosel vegetal, lo cual aumenta la intercepción de radiación solar y fotosíntesis, mismo que resulta en mayor acumulación de materia seca (Abayomi *et al.*, 2008). Estos autores, con la aplicación de N60-P30 en FCH en unicultivo, incrementaron la BT en 53 %. En frijol común en espaldera de maíz, con un contenido inicial de 0.08 % de N, y aplicación de N100 se encontraron incrementos de 98 % (Balbino y William, 2003). Dichos efectos son similares a lo logrado en el presente estudio.

La BT en función del N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se ajustó a modelos de regresión cuadrática. Con P150 la respuesta al N fue más alta, con producción de 4.3 g m<sup>-2</sup> por kg de N, seguido de P75 con 2.3



g m<sup>-2</sup> por kg de N aplicado (Figura 2). Respuestas similares fueron encontradas en el frijol común asociado con girasol (Morales *et al.*, 2007) y en haba (Escalante y Rodríguez, 2011), en donde la más alta respuesta al N se logra con la mayor dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> evaluada.

### **Índice de cosecha**

El índice de cosecha (IC) representa la proporción de materia seca (MS) correspondiente al órgano de interés económico, en este caso el grano, en relación a la MS total. Este ha sido considerado como un indicador de la eficiencia desde el punto de vista del rendimiento (Escalante y Kohashi, 1993). En este estudio, mostró cambios significativos por N y la interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cuadro 3). El N disminuyó el IC, de tal manera que los valores más altos se presentaron en los tratamientos sin aplicación de N. La mayor reducción ocurrió con N150 en todas las combinaciones de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cuadro 4). Tendencias similares fueron encontradas en frijol común asociado con girasol (Morales *et al.*, 2007) y en la asociación maíz-frijol común (Balbino y William, 2003). Dicha respuesta puede atribuirse a que el N contribuye en gran medida al crecimiento de la parte vegetativa (hojas y tallo) que en algunos casos es en detrimento de la parte reproductiva (vainas y granos) (Fageria y Baligar, 2005). No obstante que el incremento de N disminuyó el IC, la producción de BT se incrementó en mayor proporción que el RG, lo cual indica, que el aumento en MS en partes vegetativas no es proporcional al incremento en las reproductivas. El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no afectó la distribución de MS hacia el grano (Cuadro 3). Esta respuesta también ha sido reportada para frijol común, cuando se siembra asociado con girasol (Morales *et al.*, 2007).

**Cuadro 4. Valores medios para las variables en estudio de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BT	IC	RG	P100G	NG	NV	NGV	EUAG	EUAB
----- kg ha <sup>-1</sup> -----	g m <sup>-2</sup>	%	g m <sup>-2</sup>	g	--- No. m <sup>-2</sup> ---	No.	-- g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> --			
	0	293 c <sup>¶</sup>	31.1 a	88 d	20.3 a	430 c	25 d	17.0 a	0.194 d	0.65 c
0	75	319 c	31.9 a	101 cd	20.5 a	475 c	31 cd	17.0 a	0.224 dc	0.70 c
	150	322 c	31.3 a	101 d	20.3 a	505 bc	29 d	17.0 a	0.222 d	0.71 c
	0	355 c	30.7 a	109 cd	20.4 a	564 bc	34 cd	17.2 a	0.241 dc	0.78 c
75	75	457 b	29.5 a	125 bc	20.4 a	644 ab	40 bc	17.5 a	0.276 bc	1.01 b
	150	545 a	28.0 a	142 ab	20.4 a	746 a	47 ab	17.0 a	0.314 ab	1.20 a
	0	521 ab	26.3 b	139 ab	20.0 a	756 a	48 ab	17.0 a	0.306 ab	1.15 ab
150	75	518 ab	25.7 b	138 ab	20.4 a	732 a	48 ab	17.2 a	0.304 ab	1.14 ab
	150	564 a	26.1 b	151 a	20.4 a	779 a	50 a	17.2 a	0.332 a	1.25 a
Media general		432.7	28.6	121.5	20.4	626	39.2	17.1	0.27	0.95
DSH <sub>0.05</sub>		86.7	2.8	24.5	1	144	9.8	0.8	0.05	0.08
CV		8.3	11.7	12.11	6.1	12	12	2	8.3	8.4

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). \*. \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad de error. CV = coeficiente de variación. BT = biomasa total, IC = índice de cosecha, RG = rendimiento de grano, P100G = peso de cien granos, NG = número de granos, NV = número de vainas, NGV = número de granos por vaina, EUAG = eficiencia en el uso del agua para grano y EUAB = eficiencia en el uso del agua para biomasa.

### Rendimiento de grano y sus componentes

El rendimiento de grano (RG), número de grano (NG) y número de vainas normales (NV), mostraron efectos altamente significativos por N, la interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y significativos por P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. En contraste, el P100G y GV no fueron afectados por los tratamientos (Cuadro 3). Con N150-P150 se lograron los mayores valores, los aumentos respecto al testigo sin fertilización fueron de 72, 81 y 100 %, para RG, NG y NV respectivamente, mientras que con N75-P75 los incrementos fueron de 42, 50 y 60 % respectivamente (Cuadro 4). Escalante *et al.* (1999) en

frijol común, con la aplicación de N80 lograron incrementos de 93 % en el RG, 74 % en el NG y 64 % en el NV. Por otra parte, en la asociación maíz – frijol común, con niveles iniciales de N de 0.08 %, y aplicación de N100 se logró 77 % más de RG (Balbino y William, 2003), similar a lo encontrado en el presente estudio. En cuanto al P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, efectos positivos han sido reportados en frijol común (Fageria *et al.*, 2010) y en la asociación haba (*Vicia faba* L.) – maíz, y lo atribuyen al incremento en el desarrollo del sistema radical (Pei-Pei *et al.*, 2012). Higgs *et al.* (2000) señalan que el incremento del 30 al 50 % en la producción de granos a nivel mundial desde 1950, se atribuye al uso de la fertilización, incluido el fósforo.

En general, el RG en función de la interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, se ajustó a modelos de regresión cuadrática y solo para P0 la respuesta al N fue lineal (Figura 1). La aplicación de P150 favoreció más el efecto del N, al producir 0.96 g m<sup>-2</sup> de grano por cada kg de N aplicado. Estas tendencias son similares a las encontradas en frijol común asociado con girasol (Morales *et al.*, 2007) y en haba (Escalante y Rodríguez, 2011).

El RG presentó una alta relación con el NG (R<sup>2</sup> = 0.98\*\*) y NV (R<sup>2</sup> = 0.98\*\*) (Cuadro 5). Esto sugiere que para lograr incrementos en el RG de esta leguminosa, se debe buscar elevar la demanda de fotosintatos mediante un mayor NV y NG, lo que conduciría a mayor partición de MS hacia el grano (Escalante *et al.*, 1999). Tendencias similares han sido reportadas por Escalante y Rodríguez (2011), quienes en haba encontraron una alta correlación entre el RG y los componentes NG (R<sup>2</sup> = 0.98\*\*) y NV (R<sup>2</sup> = 0.85\*).

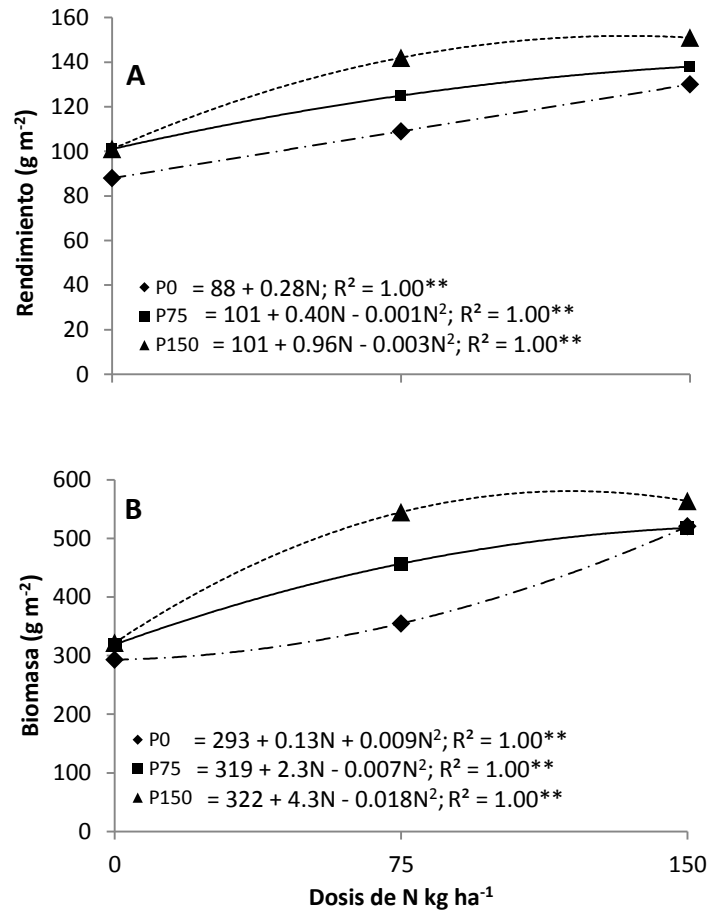


Figura 1. Rendimiento de grano (A) y biomasa total (B) de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y  $\text{P}_2\text{O}_5$ .  $^{**} = P \leq 0.01$ . Cocula, Gro. Verano de 2011.

Cuadro 5. Correlación entre el rendimiento de grano con el peso de cien granos (P100G), número de granos (NG), número de vainas (NV) y número de granos por vaina (NGV). Cocula, Gro. Verano de 2011.

Componentes del rendimiento	Coefficiente de determinación $R^2$	Probabilidad de F
P100G	0.02	NS
NG	0.98	**
NV	0.98	**
NGV	0.07	NS

NS = no significativo, significativo a  $P \leq 0.05$  (\*); 0.01 (\*\*).

### **Eficiencia en el uso del agua**

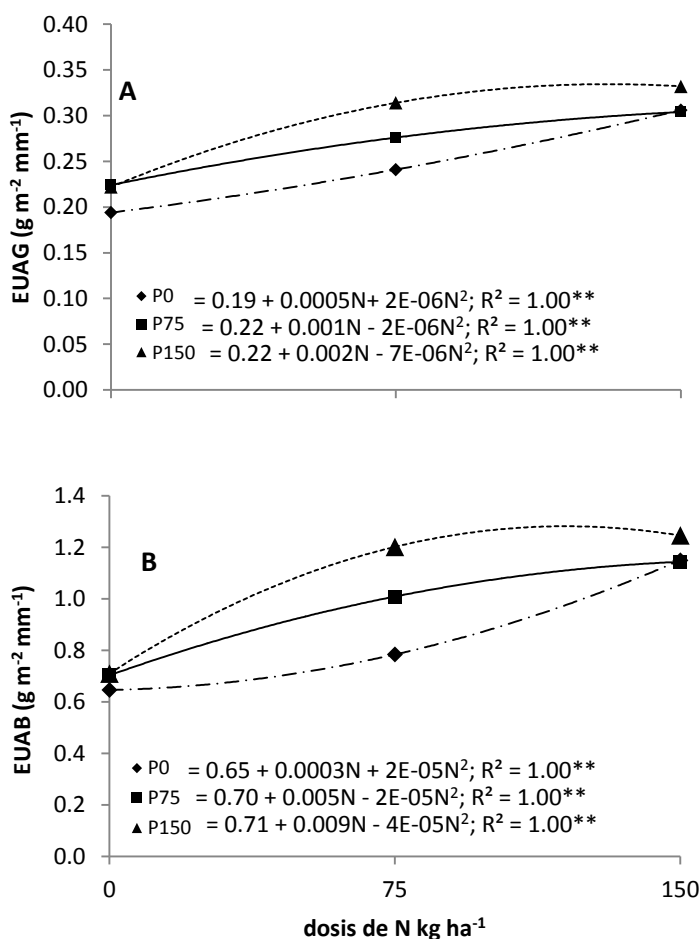
La eficiencia en el uso del agua (EUA) para RG y BT mostró modificaciones altamente significativas por N, interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y significativos por P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cuadro 3). Con N150-P150 se lograron las mayores eficiencia de uso de agua para grano y biomasa (EUAG y EUAB respectivamente), las cuales se elevaron en 71 y 92 % respectivamente; con la dosis media (N75-P75) fueron 42 y 55 % superiores a N0-P0 (Cuadro 4). Al respecto, se señala que el incremento en la disponibilidad de N y P eleva la EUA, relacionado con una mayor y más rápida cobertura del suelo, provocado por un dosel vegetal más grande, que limita la pérdida de agua por evaporación (Caviglia y Sadras, 2001). También se incrementaría la eficiencia fotosintética, lo que mejora la relación carbono fijado por unidad de agua disponible (Caviglia *et al.*, 2004).

La EUAG y EUAB del FCH en relación a los niveles de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se ajustó a modelos de regresión cuadrática (Figura 2). Con el suministro de P150 se observó una mayor respuesta al N, al incrementar en 0.002 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup> y 0.009 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup> la EUAG y EUAB respectivamente, por cada kg de N aplicado.

### **Eficiencia agronómica del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Los tratamientos mostraron efectos significativos sobre la eficiencia agronómica de N (EAN) y fósforo (EAP) (Figura 3). La mayor EAN se logró con la aplicación de N75-P150, al presentar una eficiencia de 7.2 kg de grano por cada kg de N aplicado, mientras que la EAP para este tratamiento fue de 3.6 kg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La mayor EAP (6.6 kg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se logró con N150-P75, siendo la EAN de 3.3 kg kg<sup>-1</sup> de N. Como se puede observar, el tratamiento que presentó la mayor EAN no corresponde a la mayor EAP y viceversa. El tratamiento con el que se obtuvo la mejor combinación de eficiencias fue N75-P75, al presentar 4.9 kg kg<sup>-1</sup> de N

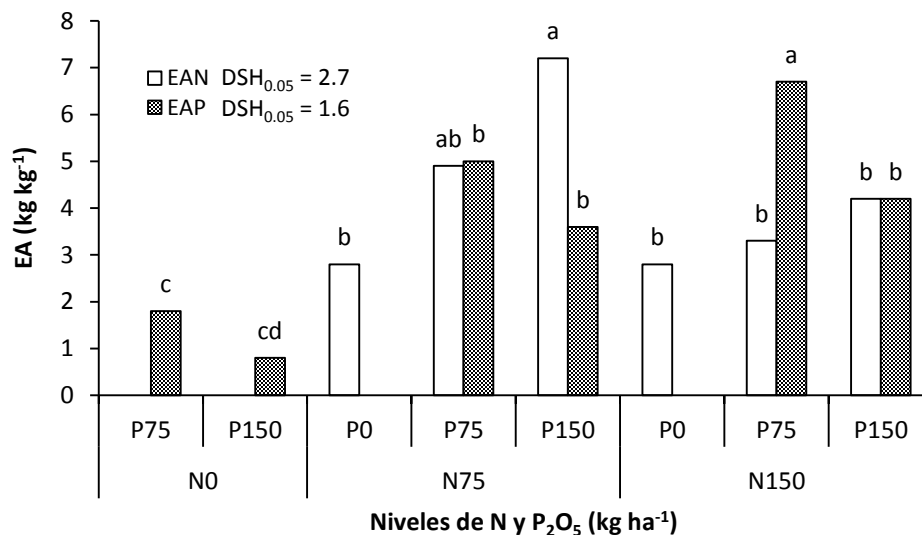
y 5 kg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente. Esto podría atribuirse a que cuando se aplican grandes cantidades de N, las pérdidas por volatilización y desnitrificación son mayores, además, la planta absorbe la cantidad que necesita de cada nutriente y el resto queda libre, inmovilizado por los microorganismos o fijado en arcillas (Ramos-Lara *et al.*, 2002).



**Figura 2. Eficiencia en el uso del agua para grano (EUAG) y biomasa (EUAB) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. \*\* = P ≤ 0.01. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

El incremento en la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentó la EAN y viceversa, es decir, se observa un efecto sinérgico entre ambos nutrientes. Respuesta similar ha sido reportada por Pederson *et al.* (2002) y Fageria y Baligar (2005), en estos estudios se observó un decremento de la EAN

con N150, lo que indica que el FCH podría reducir la recuperación del N aplicado, debido a que pudiera excederse la capacidad de absorción de las raíces.



**Figura 3. Eficiencia agronómica del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (EAN y EAP) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

### Análisis económico

El mayor rendimiento de grano del FCH (RGF) y maíz (RGM) se presentó con la aplicación de N150–P150 (1,510 y 6,410 kg ha<sup>-1</sup> para RGF y RGM, respectivamente; sin embargo, generó el mayor costo total (CT, \$14,851.27), mismo que se amortizó con el ingreso total (IT, \$57,905.00); de tal manera que generó el mayor ingreso neto (IN, \$43,053.75). La aplicación de este tratamiento de fertilización incrementó el IN en \$20,560.53 respecto al testigo. La dosis mínima con la que se incrementa de manera considerable el IN es con N75-P75 con \$ 15,729.71 respecto al testigo y representa \$3,579.18 menos de costos que el tratamiento con el mayor IN (Cuadro 6). A pesar que con este tratamiento no se logró la mayor

producción, podría ser una alternativa para productores que no cuentan con los recursos económicos suficientes para solventar el CT que implica la aplicación de N150-P150.

**Cuadro 6. Rendimiento, ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), e ingresos netos (IN) del frijol chino y maíz asociados, en función de la dosis del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RGF	RGM	IT	CF	CV	CT	IN
----- kg ha <sup>-1</sup> -----				----- \$ -----				
	0	880	2,840	28,820.00	4,200.00	2,126.80	6,326.80	22,493.20
0	75	1,010	3,250	33,025.00	4,200.00	4,115.36	8,315.36	24,709.64
	150	1,010	3,690	35,445.00	4,200.00	5,761.01	9,961.01	25,483.99
	0	1,090	4,220	39,560.00	4,200.00	4,725.33	8,925.33	30,634.67
75	75	1,250	5,590	49,495.00	4,200.00	7,072.09	11,272.09	38,222.91
	150	1,420	6,260	55,730.00	4,200.00	8,978.84	13,178.84	42,551.16
	0	1,390	5,960	53,630.00	4,200.00	7,334.06	11,534.06	42,095.94
150	75	1,380	6,400	55,900.00	4,200.00	9,090.72	13,290.72	42,609.28
	150	1,510	6,410	57,905.00	4,200.00	10,651.27	14,851.27	43,053.73

Ingreso total = rendimiento \* precio por kg de grano de maíz (\$ 5.50) y kg de frijol chino (\$ 15.00).

Costo fijo = incluye costos de preparación del terreno, control de plagas y enfermedades. Costos variables = incluyen el costo de fertilizante, cosecha y flete. Costo total = costo fijo + costo variable.

Ingreso neto = ingreso total – costo total. RGF = rendimiento de grano del frijol chino, RGM = rendimiento de grano del maíz.

Finalmente, estos resultados indican que con N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> el FCH en espaldera viva de maíz, presentó mayor EUA, BT, NG, NV y en consecuencia un RG más alto. Dicha respuesta mostró una tendencia a ser mayor con N que con P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y se atribuye en parte, al más bajo nivel inicial de N en el suelo (0.08 %) y al contenido medio-alto de P Olsen (14 mg kg<sup>-1</sup>). La mejor combinación de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en términos productivos fue N150-P150. Además, con dicha combinación se logró el mayor ingreso neto (IN = \$43,053.73). La mayor respuesta del FCH a



la dosis más alta de fertilización (N150-P150) se atribuye a que en este sistema de producción se utiliza al maíz como espaldera viva, el cual demanda gran cantidad de nitrógeno y fósforo (Domínguez *et al.*, 2001), por lo que buena parte del fertilizante aplicado es utilizado por la gramínea. En cuanto a la eficiencia agronómica del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con N75-P150 y N150-P75 se lograron las mayores EAN y EAP respectivamente. Por arriba de estos niveles, la cantidad de fertilizante superaría la tasa de absorción de las raíces y reduciría su recuperación, o bien podría darse una situación de consumo de lujo de los nutrientes por parte del cultivo.

## CONCLUSIONES

En espaldera viva de maíz, la fertilización con nitrógeno y fósforo incrementa la biomasa total, número de vainas, número de granos, rendimiento de grano y eficiencia en el uso del agua del frijol chino.

Con 150 kg de N y 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, se logra la más alta biomasa total, mayor número de vainas, número de granos, rendimiento de grano, eficiencia en el uso del agua e ingreso neto.

Con 75 kg de N y 75 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> se logra la más alta eficiencia agronómica del nitrógeno y fósforo en frijol chino.

## LITERATURA CITADA

Abayomi, Y. A., T. V. Ajibade O. F. Sammuell and B. F. Sa'adudeen. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7(2):170-176.

- Apáez, B. P., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G., P. Ramírez V. y V. M. Olalde G. 2009. Frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) su cultivo, importancia económica y medicinal. *Rev. Alt. Dig.* 19: 21-26.
- Apáez-Barrios P., J. A. Escalante-Estrada and M. T. Rodríguez-González. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroec.* 13(3): 307-315.
- Ávila-Serrano, N. Y., B. Murillo-Amador, J. L. Espinoza-Villavicencio, A. Palacios-Espinoza, A. Guillen-Trujillo, R. Luna-De la Peña y J. L. García-Hernández. 2010. Modelos de predicción del rendimiento de grano y caracterización de cinco cultivares de frijol yorimón. *Trop. Subtrop. Agroec.* 12: 11-18.
- Balbino, M. L. and R. William W. 2003. Effect of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(11): 1257-1264.
- Caviglia, O. P. and V. O. Sadras. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance water and radiation use efficiency of wheat. *Field Crop Res.* 69: 259-266.
- Caviglia, O. P., V. O. Sadras and F. H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87: 117-129.
- Chowdhury, M. K. and L. R. Elpidio. 1992. Utilization efficiency of applied nitrogen as related to yield advantage in maize/mungo bean intercropping. *Field Crops Res.* 30: 41-45.
- Díaz-Romeu, R. y A. Hunter. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e invernaderos. CATIE. Turrialba, Cosa Rica. 61 p.

- Domínguez, G. F., G. A. Studdert, H. E. Echeverría y F. H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivos y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo*. 19: 47-56.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 12: 28-32.
- Escalante, E. J. A., M. T. Rodríguez G. y E. Escalante E. 1999. Efecto del nitrógeno en la producción y abscisión de órganos reproductivos en frijol. *Agron. Mesoam.* 10: 47-53.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20:16-25.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Elsevier Inc.* 88: 97-185.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, A. Moreira and T. A. Portes. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.* 33(14): 2167-2181.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Hallensleben, M., S. Polreich, J. Heller and B. L. Maass. 2009. Assessment of the importance and utilization of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), leafy vegetable in small-scale farm households in Tanzania-East Africa. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. 4 p.
- Higgs, B., A. E. Johnston, J. L. Salter and C. J. Dawson. 2000. Some aspects of achieving sustainable phosphorus use in agriculture. *J. Environ. Qual.* 29: 80-87.

- Lagunes-Espinoza, L. C., F. Gallardo-López, H. Becerril-Hernández y E. D. Bolaños-Aguilar. 2008. Diversidad cultivada y sistemas de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. *Rev. Ser. Hort.* 14: 13-21.
- Morales, R. E. J., J. A. Escalante E. y J. A. López, S. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Ciencia Ergo Sum* 14(2): 177-183.
- Morris, R. A. y D. P. Garrity. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops. Res.* 34: 303-317.
- Mynor, R. O. y C. Esteban. 2005. Evaluación agronómica y de estabilidad genética de siete genotipos de frijol rienda (*Vigna sesquipedalis* L. Fruwirth) en la región suroccidental de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Programa Universitario de investigación en alimentos y nutrición. Mazatenango, Suchitepéquez. 52 p.
- Olaleye, O., F. Olajire, R. C. Aboido and I. Nnenna. 2011. Phosphorus response efficiency in cowpea genotypes. *J. Agric. Sci.* 4: 81-90.
- Pederson, G. A., G. F. Brink, and T. E. Fairbrother. 2002. Nutrients uptake in plants part of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorus, potassium, copper and zinc. *Agron. J.* 94: 895-904.
- Pei-Pei, M., G. Lin-Guo, W. Ping, H. Jian-Cheng, L. Hui-Ying, C. Peter and L. Long. 2012. Maize/faba bean intercropping with rhizobia inoculation enhances productivity and recovery of fertilizer P in a reclaimed desert soil. *Field Crops Res.* 130: 19-27.
- Quiroz, A. I. y M. Douglas. 2007. Eficiencia de uso de N-P-K en la asociación de maíz (*Zea mays* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) con o sin fertilización. *Bioagro.* 19(2): 61-68.

- Ramos-Lara, C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spínola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002. Eficiencia en el uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra*. 20: 465-469.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.
- Singh, B. B., H. A. Ajeigbe, S. A. Tarawali, R. S. Fernandez-Rivera and M. Abubakar. 2003. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. *Field Crops Res.* 84(2): 169-177.
- Vázquez, A. A. y A. N. Bautista. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos, México. 29 p.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.

**CAPÍTULO II**

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL FRIJOL CHINO EN**

**ESPALDERA DE MAÍZ CON NITRÓGENO Y FÓSFORO**

# **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL FRIJOL CHINO EN ESPALDERA DE MAÍZ CON NITRÓGENO Y FÓSFORO**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

El frijol chino (FCH) se consume en grano y vaina y presenta alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Su cultivo en espaldera viva de maíz incrementa la rentabilidad económica, sin embargo, los requerimientos de nitrógeno (N) y fósforo (P) pueden ser mayores. El efecto de estos pueden estudiarse a través del análisis de crecimiento. Los objetivos fueron determinar el efecto del N y P ( $P_2O_5$ ) sobre: a) la fenología, los índices de análisis de crecimiento, radiación interceptada, biomasa total y su distribución en la planta, b) los componentes del rendimiento y rendimiento de vaina verde del FCH en espaldera viva de maíz y c) determinar la combinación de N y  $P_2O_5$  que genere el mayor ingreso neto. En clima cálido, bajo condiciones de lluvia estacional se sembró FCH y maíz. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 75 y 150 kg de N y  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  (N0, N75, N150; P0, P75 y P150, respectivamente). La temperatura máxima y mínima promedio durante el desarrollo del cultivo fue de 34 y 20 °C respectivamente, con precipitación acumulada de 778 mm. La emergencia se presentó cinco días después de la siembra (dds), el inicio de floración a los 51 dds, el primer corte de vaina a los 65 dds y a los 106 dds el último corte. Con N150 y P150 se incrementó el número de hojas, índice de área foliar, duración del área foliar y la eficiencia de la radiación interceptada, lo cual condujo a tasas de crecimiento del cultivo más altas y por lo tanto, incrementos en la producción de biomasa total y rendimiento de vaina verde (RVV). Las

combinaciones N150-P75 y N150-P150 generan el mayor RVV, mientras que el mayor ingreso neto y ganancia por peso invertido se logró con N150-P75.

**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, biomasa total, ingreso neto y radiación interceptada.

## **ANALYSIS OF GROWTH AND PRODUCTION OF COWPEA IN TRELIS MAIZE WITH NITROGEN AND PHOSPHORUS**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

Cowpea (FCH) is consumed in grain and pod and presents high content of proteins, vitamins and minerals. Trellis maize cultivation increases the economic profitability, however, nitrogen (N) and phosphorus (P) requirements may be greater. The effect of these can be studied through the analysis of growth. The objectives were to determine the effect of N and P ( $P_2O_5$ ) on: a) phenology, rates of growth, intercepted radiation, total biomass and its distribution in plant, b) yield components and yield of green pod of the FCH in live trellis maize and c) to determine the combination of N and P ( $P_2O_5$ ) that generates higher net income. In hot climate, under conditions of seasonal rain was sown FCH and maize. The treatments consisted in the application of 0, 75, and 150 kg of N and  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  (N0, N75, N150; P0, P75 and P150, respectively). The average maximum and minimum temperature during development of the crop was 34 and 20 °C respectively, with accumulated precipitation of 778 mm. Emergency occurred five days after sowing (das), the start of flowering to the 51 das, the first cut of pod 106 das and 65 das the last cut. With N150 and P150 the number of



leaves, leaf area index, leaf area duration and intercepted radiation efficiency were increased, which led to growth rates majors increases in the production of total biomass and yield of green pod (YGP). N150-P75 and N150-P150 combinations generate wholesale YGP, while the higher net income and profit by peso invested was achieved with N150-P75.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, total biomass, net income and intercepted radiation.

## INTRODUCCIÓN

El frijol chino (*Vigna unguiculata* L. Walp) es una leguminosa originaria de África, cultivada principalmente en dicho continente, sureste de Asia, sur de Estados Unidos y América Latina. De acuerdo con FAOSTAT (2013), la producción mundial en el año 2010 fue de 4.5 millones de toneladas de vaina verde, destinadas al consumo humano (Dugje *et al.*, 2009). En México se cultiva en los estados de Tamaulipas, Yucatán, Campeche, Tabasco y Guerrero. Las vainas llegan a medir hasta 75 cm de longitud y presenta alto contenido de vitaminas, ácido fólico, minerales y sobre todo proteínas (23 a 28 %) (Ofori y Klogo, 2005; Apáez *et al.*, 2009).

Por ser una especie de crecimiento indeterminado, el requerimiento de espaldera es una limitante para la producción, por el alto costo para la adquisición de postes de madera y malla plástica, usados como espaldera convencional. El maíz (*Zea mays* L.) como espaldera viva, es una alternativa que incrementa la rentabilidad económica por reducción de los costos de producción (Apáez *et al.*, 2011). En este sistema de cultivo, el rendimiento se ve limitado por la baja fertilidad del suelo, con deficiencias en elementos esenciales, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), característico de zonas tropicales (Abayomi *et al.*, 2008).

Por tratarse de una leguminosa que se cosecha en vaina verde y que se produce en periodos de 3 a 4 meses, el aporte de N proveniente de la fijación biológica resulta insuficiente, al proporcionar valores inferiores al 50 % (Urzua *et al.*, 2003). Además, al cultivarse con maíz, el requerimiento de N y P puede incrementarse. Por lo que la fertilización inorgánica resulta necesaria para completar los requerimientos.

El N, es el nutrimento con mayor efecto en el rendimiento, al ser constituyente de la clorofila y aminoácidos esenciales en la síntesis de proteínas (Fageria y Baligar, 2005). Mientras que el P es importante en muchos procesos fisiológicos, como la germinación, desarrollo de la plántula, crecimiento radical, fecundación e inicio de fructificación; además, es necesario en el proceso de fijación biológica de N (Cárdenas *et al.*, 2004).

El N y P favorecen la producción de materia seca y rendimiento final, resultado de la radiación interceptada y ésta a su vez del tamaño del dosel vegetal, que representa la maquinaria fotosintética (Aguilar *et al.*, 2005). Estos nutrimentos favorecen el aumento en el área foliar, índice de área foliar y duración de la misma, ocasionado por un mayor crecimiento de la lámina foliar (Olalde *et al.*, 2000; Owolade *et al.*, 2006; Abayomi *et al.*, 2008). Se ha encontrado que el tamaño y duración del aparato fotosintético están relacionados con el número de vainas y rendimiento (Escalante, 1999; Aguilar *et al.*, 2005; Escalante y Rodríguez, 2011). Además, para comprender las causas fisiológicas que determinan el rendimiento de vaina por efecto de la fertilización, se requiere aplicar el análisis de crecimiento, el cual permite cuantificar aspectos como la velocidad con que crece el cultivo, la duración del ciclo, la eficiencia en la producción de materia seca (MS) del dosel, la velocidad de producción de MS en cada fase fenológica del cultivo y su distribución en cada órgano de la planta. Para ello, se usan índices, como la tasa media de crecimiento absoluta (TCA) y tasa media de asimilación neta (TAN). Además, estas mediciones son útiles para una mayor comprensión de

las relaciones entre fuente y demanda, ya que la TCA estima la potencia de la demanda. El tamaño de la fuente de fotoasimilados es representado por el número de hojas y área foliar, mientras que la capacidad de producción de fotosíntatos y su actividad es medida a través de la TAN (Hunt, 1990, Escalante y Kohashi, 1993). Se ha reportado que el mayor crecimiento del dosel vegetal aumenta la intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa (Escalante, 1999).

En cultivos asociados existen evidencias sobre la respuesta positiva del N y P en el crecimiento, biomasa, número de vainas y rendimiento de vainas (Morales *et al.*, 2007; Abayomi *et al.*, 2008; Escalante y Rodríguez, 2011).

En el sistema FCH en espaldera viva de maíz, son escasos los estudios al respecto. Por lo que los objetivos fueron determinar el efecto del N y P en forma de  $P_2O_5$  sobre: a) la fenología, los índices de análisis de crecimiento, radiación interceptada, biomasa total y su distribución en la planta, b) los componentes del rendimiento y rendimiento de vaina verde del FCH en espaldera viva de maíz y c) determinar la combinación de N y  $P_2O_5$  que genere el mayor ingreso neto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se estableció en Cocula, Gro., México ( $18^{\circ} 15' N$ ,  $99^{\circ} 39' O$  y 634 m de altitud), de clima  $AW_0$ , que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de  $26.4^{\circ} C$  y 767 mm de precipitación anual (García, 2005). El material biológico fue el FCH de crecimiento indeterminado y como espaldera viva el maíz azul criollo regional. El 04 de julio de 2011 se sembró a la densidad de población de 6.2 plantas  $m^{-2}$ . Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 75 y 150 kg de N y  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  (N0, N75 y N150; P0, P75 y P150, respectivamente). La combinación de N y  $P_2O_5$  generó nueve tratamientos. Todo el

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la mitad de N se aplicaron a los 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds. Las fuentes usadas fueron: urea y superfosfato de calcio triple.

El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Para conocer el nivel inicial de fertilidad del suelo, se efectuaron análisis físicos y químicos, los cuales indican textura arcillosa, densidad aparente de 1.3 g m<sup>-3</sup>, pH 7.1, 0.23 dS m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica, 1.7 % de materia orgánica, 0.08 % de N y P Olsen de 14 mg kg<sup>-1</sup>.

Durante el ciclo del cultivo se registró la temperatura máxima (T<sub>max.</sub>, °C) y mínima (T<sub>mín.</sub>, °C) radiación global (MJ m<sup>-2</sup>) y precipitación pluvial (mm), los datos fueron proporcionados por la estación agrometeorológica de CEP-CSAEGRO. Las fases fenológicas registradas para FCH fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R6), primer corte de vainas (C1) y último corte de vainas (C7) (Escalante y Kohashi, 1993). Se realizaron siete cortes de vainas, uno cada semana, en los que se cosecharon aquellas con longitud mayor a 35 cm, para obtener el rendimiento de vaina verde (RVV, g m<sup>-2</sup>).

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas dentro de la parcela útil de cada unidad experimental a los 21, 49, 77 y 100 dds. Se contabilizó el número de hojas verdes por m<sup>-2</sup> (NHV) y con un integrador electrónico (LI-COR 3100) se midió el área foliar (sin incluir peciolo). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), a partir de las siguientes ecuaciones:  $IAF = (AF / NP) * DP / 100$  dm<sup>2</sup>, donde AF = área foliar (dm<sup>2</sup>), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m<sup>-2</sup>.  $DAFT = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1) / 2$ , donde:  $\Sigma$  = suma de la duración del área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF<sub>1</sub> = índice de área foliar en un tiempo inicial (T<sub>1</sub>, en días), IAF<sub>2</sub> = índice de área foliar en un tiempo final (T<sub>2</sub>, en días) (Escalante y Kohashi, 1993). También se registró la biomasa aérea total (materia seca, g m<sup>-2</sup>, BT) de cada

órgano de la planta (hojas, tallos, valvas y grano), para conocer la proporción (%) de materia seca que representan en relación a la BT. Para ello las muestras se secaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calcularon las tasas medias de: crecimiento absoluto (TCA) y asimilación neta (TAN), mediante las ecuaciones:  $TCA = [(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)]$  donde:  $PS_2$  y  $PS_1$  indican el peso seco de la planta en los tiempo  $T_2$  y  $T_1$  respectivamente.  $TAN = [(PS_2 - PS_1) / (AF_2 - AF_1)] / [\ln AF_2 - \ln AF_1] / (T_2 - T_1)$ , donde:  $PS_2$  y  $PS_1$  expresan el peso de la materia seca del cultivo,  $\ln AF_2$  y  $\ln AF_1$ , al logaritmo natural del área foliar en el tiempo  $T_2$  y  $T_1$ , respectivamente (Hunt, 1990; Escalante y Kohashi, 1993).

La radiación interceptada (RI) por el dosel vegetal se estimó con la ecuación:  $RI = RFA (1 - e^{-k \cdot IAF})$ , donde RFA es la radiación fotosintéticamente activa incidente en el dosel ( $MJ m^{-2}$ ),  $e =$  exponencial,  $k =$  coeficiente de extinción e  $IAF =$  índice de área foliar. La RFA corresponde al 45 % de la radiación global y  $k$  se calculó a partir de la ecuación:  $K = 1.418IAF^{-0.4}$  (Rawson *et al.*, 1984). Se hizo un análisis de regresión para cuantificar la relación entre la producción de biomasa y RI.

Las variables se analizaron estadísticamente con el paquete SAS versión 9.1 y las diferencias entre tratamientos se evaluaron con la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (SAS, 2003). También se aplicó un análisis económico con la ecuación siguiente:  $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$ , donde  $IN =$  ingreso neto,  $Y =$  rendimiento de vaina del FCH y grano de maíz,  $Py =$  precio por kilogramo,  $\sum XiPi =$  suma de costos variables,  $CF =$  costos fijos (Volke, 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clima y fenología

Durante el ciclo del FCH, la temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) y mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) promedio fueron de 34 y 20 °C, respectivamente. Las más elevadas ocurrieron desde la siembra (S) hasta las cuatro primeras decenas de crecimiento del cultivo (35 y 21 °C para  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$ , respectivamente). Posteriormente la temperatura disminuyó, de tal manera que la más baja se presentó en la decena 11, que correspondió al último corte de vainas ( $C_7$ ), con valores medios de 31 y 18 °C para  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$ , respectivamente. La precipitación acumulada de S a  $C_7$  fue de 778 mm; el 59 % (459 mm) se presentó de S a inicio de floración (R6). De acuerdo con Dugje *et al.* (2009) las condiciones climáticas tanto de temperatura como precipitación ocurridas en este estudio fueron apropiadas para el cultivo de FCH (Cuadro 1).

La aplicación de N y  $P_2O_5$  no modificó el tiempo a la ocurrencia de las etapas fenológicas. Así, la emergencia (E) se presentó a los cinco días después de la siembra (dds), el inicio de floración (R6) a los 51 dds, el primer corte de vaina verde ( $C_1$ ) a los 64 dds y el último corte ( $C_7$ ) a los 106 dds (Cuadro 1). Esto contrasta con lo encontrado en clima templado por Abayomi *et al.* (2008), quienes en genotipos de FCH de crecimiento indeterminado en unicultivo, el ciclo del cultivo se redujo en 6 días con la aplicación de N y P. Por lo que la respuesta de la fertilización sobre el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas puede estar determinada en parte por el sistema de cultivo. Peksen (2004) al evaluar distintos genotipos de FCH encontraron que requieren de 60 a 64 días para iniciar el primer corte de vaina verde, similar a lo encontrado en el presente trabajo.

**Cuadro 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

Mes	Decena	Tmáx	Tmín	Precipitación	Fases fenológicas
		----- °C -----		--- mm ---	
Julio	1	35.1	20.8	32.0	S-E
Julio	2	36.5	21.5	113.4	
Julio	3	34.8	21.3	92.0	
Agosto	4	34.5	21.6	29.1	
Agosto	5	34.1	20.3	46.0	
Agosto	6	33.3	20.6	147.0	R6
Septiembre	7	32.8	20.1	121.0	C <sub>1</sub>
Septiembre	8	34.2	19.5	139.0	
Septiembre	9	34.4	19.4	1.0	
Octubre	10	32.6	19.3	25.1	
Octubre	11	31.2	18.5	32.7	C <sub>7</sub>

S = siembra, E = emergencia, R6 = inicio de floración, C<sub>1</sub> = primer corte de vaina, C<sub>7</sub> = último corte de vaina.

### **Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar**

El NHV, IAF y DAFT mostraron cambios significativos por efecto del N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cuadro 2).

El NHV e IAF se incrementaron conforme avanzó la estación de crecimiento, encontrándose los valores máximos a los 100 dds. El N suministrado ocasionó incrementos significativos en el NHV e IAF a partir de los 49 dds, mientras que el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> después de los 77 dds. Esto indica que hasta esta fecha, el N y P inicial del suelo fueron suficientes para satisfacer el requerimiento para el crecimiento del cultivo. La aplicación de N150 incrementó en 78, 91 y 58 % el NHV, IAF y DAFT respectivamente, seguido del nivel medio (N75) con 43, 45 y 33 % respectivamente. Estos resultados concuerdan con Abayomi *et al.* (2008)

quienes encontraron en el unicultivo de FCH, que el N incrementa el número de ramas y retrasa la senescencia foliar, resultando en mayor NHV, IAF y duración del aparato fotosintético (DAFT). Con  $P_2O_5$  la mayor respuesta se logró con P150, al presentar el cultivo aumentos en el NHV de 23, 29 % en el IAF y 17 % en la DAFT. Mientras que con P75 se logró incrementar en 6 y 7 % el tamaño y duración del aparato fotosintético (NHV, IAF y DAFT). El P influye positivamente en el tamaño de las hojas e IAF, lo cual se atribuye a una mayor expansión foliar (Chiera *et al.*, 2002; Olivera *et al.*, 2004).

En relación al efecto combinado del N y  $P_2O_5$ , la aplicación N75-P150, N150-P75 y N150-P150 generaron el mayor NHV, IAF y DAFT, con incrementos de 82 al 90 % en el NHV, 110 a 120 % en el IAF y del 68 al 77 % en la DAFT (Cuadro 2). Estos resultados son superiores a los encontrados por Abayomi *et al.* (2008) en genotipos de FCH en unicultivo, quienes con la aplicación de N60-P30 incrementaron en 30 % el NHV. La mayor respuesta encontrada en la presente investigación se atribuye a que los niveles de N y  $P_2O_5$  aplicados fueron más altos, diferente genotipo utilizado y agrosistema. Esto indica que la asociación de FCH con maíz es benéfica para un mayor tamaño de dosel. El mayor tamaño y duración del dosel vegetal generado por la aplicación de N y  $P_2O_5$ , se refleja en incremento en la producción de biomasa y rendimiento, debido a mayor radiación interceptada, como se ha encontrado en otros cultivos como girasol por Aguilar *et al.* (2005).

### **Índices de análisis de crecimiento**

La dinámica de las tasas de crecimiento del FCH en función del N y  $P_2O_5$ , se ajustó a modelos de regresión cuadrática (Figura 1).



**Cuadro 2. Número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT) del frijol chino en espaldera viva de maíz en función del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NHV (No. m <sup>-2</sup> )				IAF				DAFT	
		21	49	77	100	21	49	77	100	100	
----- kg ha <sup>-1</sup> -----		----- Días después de la siembra -----									días
0	0	16a <sup>1</sup>	78c	121d	126c	0.1a	0.5b	0.93d	1.0d	53e	
	75	17a	83bc	120d	122c	0.1a	0.5ab	0.98d	1.0d	55de	
	150	17a	84bc	134cd	142bc	0.1a	0.6ab	1.10cd	1.2cd	62cd	
75	0	16a	97ab	131cd	147bc	0.2a	0.7ab	1.16cd	1.3cd	66cd	
	75	18a	98ab	158bc	179b	0.2a	0.6ab	1.37cd	1.6bc	75cd	
	150	16a	105a	193a	233a	0.1a	0.7ab	1.60ab	2.1a	90a	
150	0	17a	105a	183ab	200ab	0.2a	0.7a	1.60ab	2.0ab	87ab	
	75	17a	103a	187ab	229a	0.1a	0.7ab	1.67ab	2.1a	89a	
	150	16a	106a	197a	240a	0.1a	0.8a	1.78a	2.2a	94a	
Nitrógeno (N)	0	17a	82b	125c	130c	0.1a	0.5b	1.00c	1.1c	57c	
	75	17a	100a	161b	186b	0.2a	0.7a	1.38b	1.6b	76b	
	150	17a	105a	189a	232a	0.1a	0.7a	1.68a	2.1a	90a	
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0	16a	93a	145b	167b	0.1a	0.6a	1.23b	1.4b	69b	
	75	17a	95a	155b	177b	0.2a	0.6a	1.34b	1.5b	73b	
	150	17a	98a	175a	205a	0.1a	0.6a	1.49a	1.8a	81a	
Media general		16.8	95.6	158	183	0.15	0.63	1.35	1.60	74.3	
Prob. F (DSH <sub>0.05</sub> )	N	NS(1)	** (10)	** (20)	** (32)	NS(0.02)	*(0.04)	** (0.2)	** (0.4)	** (10)	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NS(2)	NS(8)	** (12)	** (14)	NS(0.02)	NS(0.08)	** (0.1)	** (0.2)	** (5)	
	N* P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NS(3)	** (19)	** (31)	** (41)	NS(0.03)	*(0.17)	** (0.3)	** (0.5)	** (13)	
CV		6.0	8.2	8.2	9.3	7.9	11.4	10.5	12.3	7.5	

<sup>1</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad de error, CV = coeficiente de variación, NHV = número de hojas verdes, IAF = índice de área foliar, DAFT = duración del área foliar total.

### Tasa media de asimilación neta

En todos los tratamientos la tasa de asimilación neta (TAN) más alta se observó de los 35 a los 63 dds y disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo, hasta los 115 dds, donde se

tienen los valores más bajos (Figura 1). En parte puede atribuirse al autosombreado en el cultivo, generado por incremento en el tamaño del dosel vegetal, además de un aumento en la tasa de senescencia foliar (Apáez *et al.*, 2011).

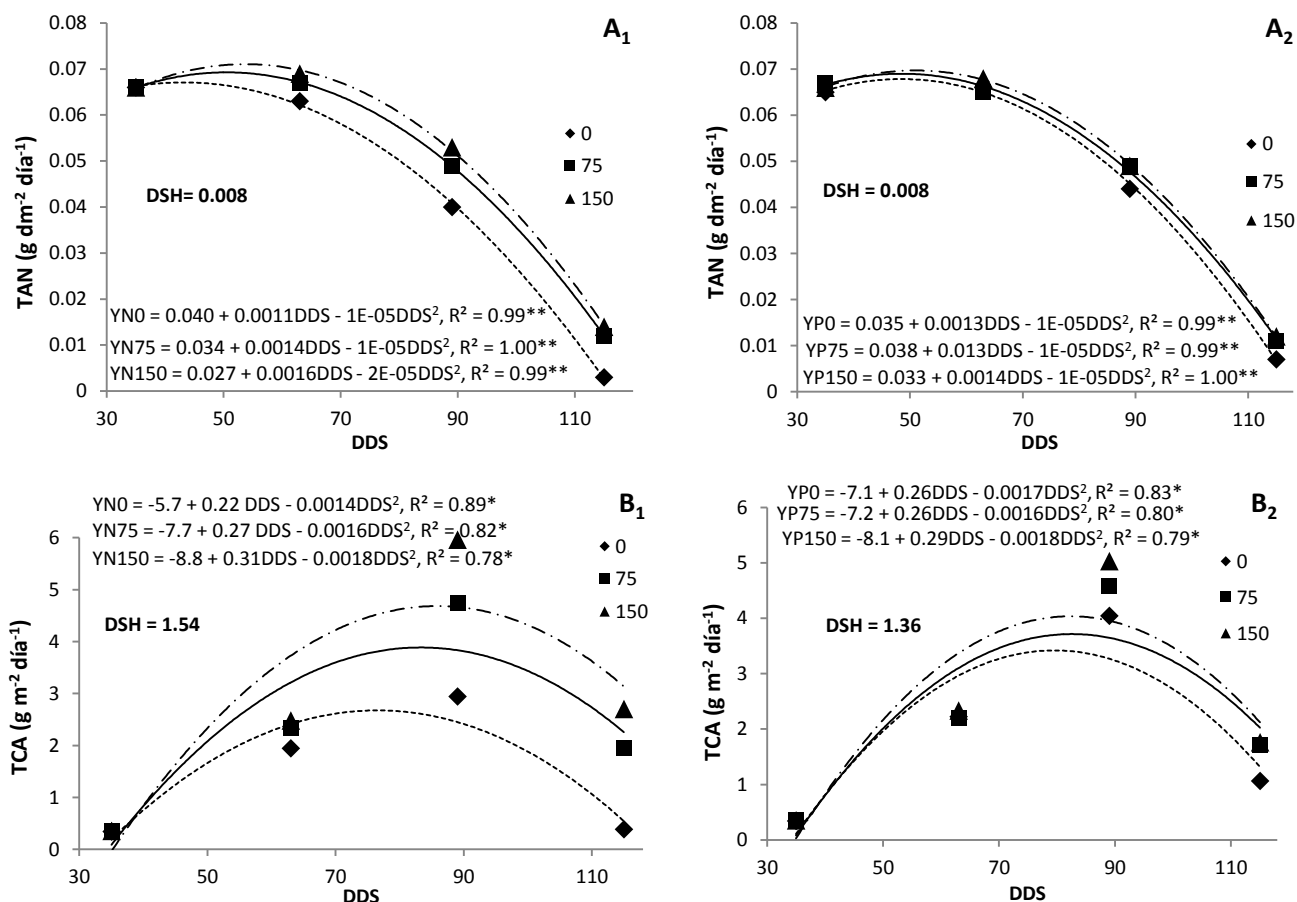
El FCH con N presentó la TAN más alta a partir de los 63 dds, de tal manera que con N150 y N75 se incrementó en 0.006 y 0.004 g dm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> respectivamente y en 0.011 y 0.009 g dm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> a los 115 dds, en relación al testigo (N0). De acuerdo con el modelo de regresión cuadrático, en la parte lineal con N150 y N75, por día la TAN aumenta en 0.0016 y 0.0014 g dm<sup>-2</sup>, mientras que en el testigo 0.0011 g dm<sup>-2</sup>. Es decir, el N estimuló la eficiencia fotosintética del dosel vegetal, lo cual puede estar relacionado con lo reportado por Correira *et al.* (2005) quienes encontraron que el N provoca incrementos en la concentración de Rubisco y clorofila en las hojas y por lo tanto mayor actividad fotosintética. Valores similares a los encontrados con N75 y N150 fueron reportados por Apáez *et al.* (2011) con la aplicación de N100 en FCH en espaldera de maíz. En cuanto al P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, su aplicación no modificó la TAN en ninguna de las etapas de crecimiento evaluadas y presentó valores máximos de 0.07 g dm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Figura 1). La baja respuesta del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre la TAN puede estar relacionado con un mayor nivel de P inicial en el suelo, lo cual cubre las necesidades para su crecimiento (Fageria y Baligar, 2005).

### **Tasa media de crecimiento absoluto**

En general, la mayor acumulación de materia seca (MS) por día se presentó a los 89 dds. El N estimuló significativamente la tasa de crecimiento absoluto (TCA), al presentar los valores más altos con N150 (6 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>), seguido de N75 (4.7 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) y los más bajos con el testigo (N0, 2.9 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>). De acuerdo con el modelo de regresión, el incremento más alto de MS por día se logró con N150 (0.31 g m<sup>-2</sup>) al testigo correspondió la TCA media más

baja ( $0.22 \text{ g m}^{-2}$ ) (Figura 1). El aumento en la TCA con el N se relaciona con mayor tamaño del dosel vegetal medido a través del NHV e IAF, inducido por este nutriente, además, a una mayor duración de la actividad fotosintética. Tendencias similares reportan Fageria y Baligar (2005). Por otra parte, el  $\text{P}_2\text{O}_5$  no provocó cambios significativos en la TCA y en promedio fue de  $4.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ .

Se ha encontrado que el incremento en las tasas de crecimiento se relaciona con mayor acumulación de biomasa y rendimiento de grano más alto (Escalante, 1999).



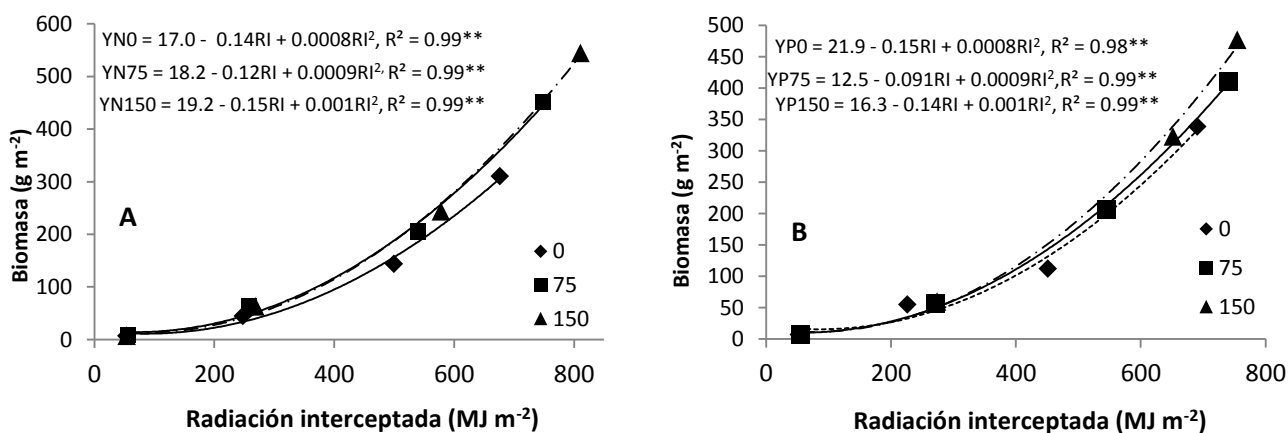
**Figura 1.** Dinámica de la tasa media de asimilación neta (TAN) y tasa media de crecimiento absoluto (TCA) en frijol chino en espaldera viva de maíz en función del nitrógeno (A<sub>1</sub> y B<sub>1</sub>) y fósforo (A<sub>2</sub> y B<sub>2</sub>). DSH = diferencia significativa honesta. Cocula, Gro. Verano de 2011.

## Biomasa total y radiación interceptada

En todos los tratamientos la biomasa total (BT) y la radiación interceptada (RI) por el dosel vegetal durante el ciclo del cultivo presentaron una relación positiva, el modelo de esta relación fue un polinomio de segundo grado (Figura 2). Al respecto, en otros cultivos como girasol, también se ha encontrado estrecha relación entre la producción de biomasa y la radiación interceptada (Escalante, 1999).

Así, con N la eficiencia en el uso de la radiación fue más alta, como lo indican los coeficientes de regresión de cada tratamiento. Resultados similares reportan Morales *et al.* (2007). El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> también ocasionó incrementos en la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), aunque en menor grado que el N (Figura 2).

El aumento en la EUR con la aplicación de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> está relacionado con una mayor y más temprana cobertura del dosel vegetal, consecuencia de un mayor NHV e IAF, además de una más prolongada duración del área foliar. Esto fue más evidente con N.



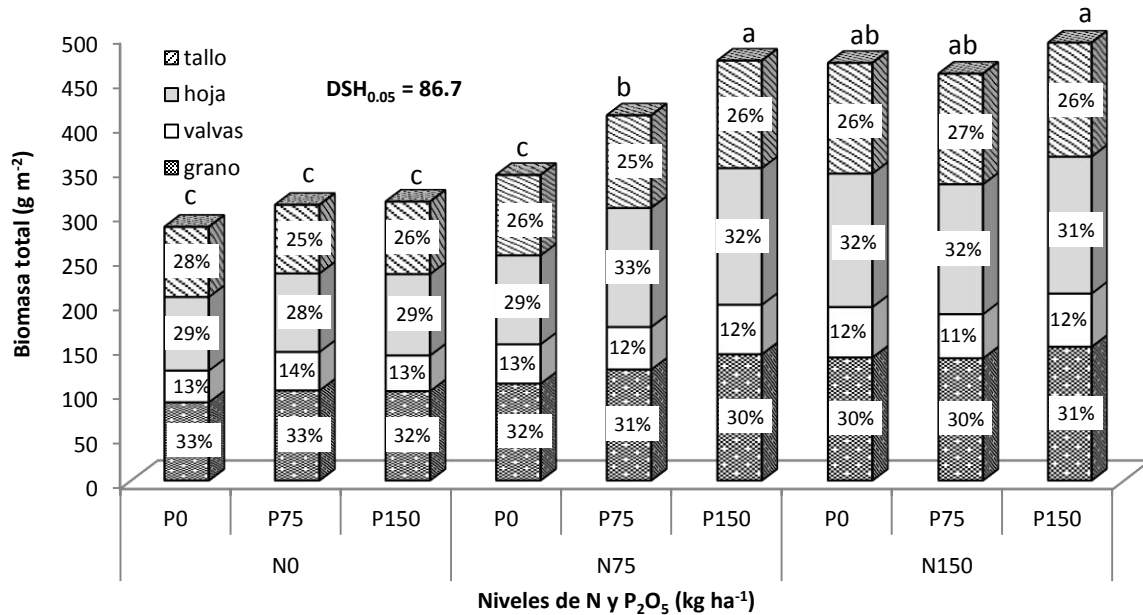
**Figura 2. Biomasa total en función de la radiación interceptada para nitrógeno (A) y fósforo (B). N0 = 0, N75 = 75 y N150 = 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, P0 = 0, P75 = 75 y P150 = 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

### **Biomasa total y su distribución en la planta**

La producción de biomasa (BT) presentó cambios significativos por efecto del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, mientras que la distribución solo se afectó por el N (Figura 3).

La mayor BT se generó con N75-P150 y N150-P150, con incrementos de 86 y 92 % respecto al testigo (N0-P0). Respuesta similar reportan Balbino y William (2003) en frijol común con espaldera de maíz, cuyos aumentos fueron de 54 y 59 %; mientras que Gómez *et al.* (2002) bajo condiciones de N no limitante, con aplicación de fósforo incrementaron en 20 % la BT del FCH en unicultivo. Bernal *et al.* (2007) en frijol común encontraron incrementos de 46 a 66 % en la BT con fósforo.

La aplicación de N modificó la distribución de BT en la planta, al reducir la acumulación de MS en el grano conforme se incrementó la dosis de N. Con N150 se observó 3 % menos de MS en el grano que en el testigo, seguido de N75 con reducción del 2 %. Tendencias similares reportan Morales *et al.* (2007) en frijol común asociado con girasol; y Balbino y William (2003) en la asociación maíz-frijol común. Dicha respuesta se atribuye a que el N favoreció en gran medida al crecimiento de las partes vegetativas (hojas y tallo), y en algunos casos es en detrimento de la parte reproductiva (Fageria y Baligar, 2005). En este sentido, la aplicación de N75 y N150 incrementaron en 3 y 4 % la biomasa hacia el tallo en relación al testigo (Figura 3).



**Figura 3. Biomasa total y su distribución en los órganos del frijol chino en función de niveles de nitrógeno y fósforo. N0 = 0, N75 = 75 y N150 = 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, P0 = 0, P75 = 75 y P150 = 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. DSH<sub>0,05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Cocola, Gro. Verano de 2011.**

### Rendimiento de vaina verde y componentes del rendimiento

El rendimiento de vaina verde (RVV) y número de vainas (NV) mostraron cambios significativos por efecto del N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la interacción N \* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El diámetro de vaina (DV) y longitud de vaina (LV) no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3).

Diversos estudios demuestran que la aplicación de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> favorece la producción de vainas y granos (Guadarrama *et al.* 2007; Morales *et al.*, 2007; Abayomi *et al.*, 2008). En este estudio, el mayor RVV y NV del FCH se encontró con la aplicación de N150, con incrementos de 380 g m<sup>-2</sup> y 43 vainas m<sup>-2</sup>, seguido de N75 con 242 g m<sup>-2</sup> y 28 vainas m<sup>-2</sup> más que el testigo (N0) (Cuadro 3). De acuerdo con Abayomi *et al.* (2008) la respuesta positiva en el rendimiento al N se relaciona con un incremento en el número de ramas, flores y por lo tanto vainas. El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> también favoreció la producción de FCH. Sin embargo, fue en menor grado

que el N y se atribuye a que el fósforo inicial en el suelo fue de medio a alto. A partir de P75 se logró el mayor incremento en el RVV ( $109 \text{ g m}^{-2}$ ) y NV ( $13 \text{ vainas m}^{-2}$ ) (Cuadro 3). El efecto del  $\text{P}_2\text{O}_5$  se podría relacionar con lo reportado por Fageria *et al.* (2010), quienes encontraron que estimula el crecimiento y actividad de la raíz y formación de nódulos. Además mencionan que la aplicación de grandes cantidades de N inhibe la actividad de la fijación de N atmosférico. En este estudio, donde se incluye al maíz, pudo haber ocurrido competencia de las dos especies por el uso del N.

El análisis de la interacción  $\text{N} * \text{P}_2\text{O}_5$  mostró que N150-P75 y N150-P150, estadísticamente generaron el mayor RVV y NV y superaron en  $502 \text{ g m}^{-2}$  el RVV y en 56 vainas  $\text{m}^{-2}$  al testigo (sin fertilización). Con el nivel medio de fertilización (N75-P75) aumentó el RVV y NV en  $287 \text{ g m}^{-2}$  y 32 vainas  $\text{m}^{-2}$  respectivamente (Cuadro 3). Al respecto, Abayomi *et al.* (2008) en suelo con niveles bajos de N y fósforo, encontraron el rendimiento más alto con N60-P30. En la presente investigación se requirió mayor cantidad de estos nutrientes, atribuido a que el maíz utilizado como espaldera viva del FCH pudo competir por el fertilizante aplicado. El DV promedio fue de 0.81 cm, mientras que la LV de 38.5 cm y estos son superiores a los encontrados en otros trabajos. Peksen (2004) en Turquía en condiciones de clima cálido, señala que el FCH presenta valores medios de DV y LV de 0.6 y 30 cm, respectivamente, los cuales son menores a los encontrados en la presente investigación.

**Cuadro 3. Rendimiento de vaina verde y componentes del rendimiento del frijol chino en espaldera viva de maíz en función del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RVV	DV	LV cm	NV
----- kg ha <sup>-1</sup> -----		-- g m <sup>-2</sup> --	-- cm --	--- cm ---	- No. m <sup>-2</sup> -
	0	423e <sup>¶</sup>	0.87a	39.3a	47e
0	75	533de	0.87a	39.9a	60de
	150	527de	0.77a	39.6a	59de
75	0	639cd	0.80a	39.7a	71cd
	75	710bc	0.77a	37.3a	79bc
	150	862ab	0.75a	39.3a	97ab
150	0	775abc	0.85a	39.7a	87abc
	75	924a	0.75a	37.1a	103a
	150	925a	0.77a	38.8a	103a
N	0	495c	0.84a	39.6a	55c
	75	737b	0.77a	38.8a	83b
	150	875c	0.79a	38.5a	98a
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	613b	0.84a	39.5a	68b
	75	722a	0.80a	38.1a	81a
	150	772a	0.77a	39.2a	86a
Media general		702	0.80	38.6	78.6
Prob. F (DSH <sub>0.05</sub> )	N	** (84)	NS (0.12)	NS (5)	** (9)
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	** (76)	NS (0.11)	NS (3)	** (8)
	N * P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	** (171)	NS (0.25)	NS (8)	** (9)
CV		10.2	13.0	8.1	10.0

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error, CV = coeficiente de variación, RVV = rendimiento de vaina verde, DV = diámetro de vaina, LV = longitud de vaina, NV = número de vainas.

### Análisis económico

El análisis económico para rendimiento de vaina verde del FCH (RVV) y rendimiento de grano del maíz (RGM) se presenta en el Cuadro 4. El mayor RVV y RGM e ingreso total (IT)



se logró con la aplicación de 150-150 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, presentó los mayores costos variables (CV) y totales (CT), de tal manera, que el ingreso neto (IN) fue \$1,445.60 más bajo en relación a lo obtenido con 150-75 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, que presentó el mayor IN. A partir de 75-75 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> el IN se incrementa en \$27,519.70 en relación al testigo. La ganancia por peso invertido (GPI) varió de \$3.47 a \$5.11. Con 150-75 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> se obtuvo la mayor GPI. Los tratamientos sin N presentaron la menor GPI y en estos, a medida que se incrementa la dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la GPI disminuye. Esto atribuido a que el incremento en el rendimiento que implica el uso de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sin N es insuficiente para amortizar el costo del fertilizante.

**Cuadro 4. Rendimiento de vaina del frijol chino (RVV) y grano de maíz (RGM), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en función del N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cocula, Gro. Verano de 2011.**

Nitrógeno	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	RVV	RGM	IT	CF	CV	CT	IN	GPI
----- kg ha <sup>-1</sup> -----		----- \$ -----							
	0	4,230	2,840	42,390.00	4,200.00	4126.80	8,326.80	34,063.20	4.09
0	75	5,330	3,250	51,935.00	4,200.00	6115.36	10,315.36	41,619.60	4.03
	150	5,270	3,690	53,495.00	4,200.00	7761.01	11,961.01	41,534.00	3.47
	0	6,390	4,220	63,720.00	4,200.00	6725.33	10,925.33	52,794.70	4.83
75	75	7,100	5,590	74,855.00	4,200.00	9072.09	13,272.09	61,582.90	4.64
	150	8,620	6,260	88,510.00	4,200.00	10978.84	15,178.84	73,331.20	4.83
	0	7,750	5,960	81,070.00	4,200.00	9334.06	13,534.06	67,535.90	4.99
150	75	9,240	6,400	93,480.00	4,200.00	11090.72	15,290.72	78,189.30	5.11
	150	9,250	6,410	93,595.00	4,200.00	12651.27	16,851.27	76,743.70	4.55

Ingreso total = rendimiento \* precio por kg de vaina del frijol chino (\$ 7.00) y kg de grano del maíz (\$ 4.50). Costo fijo = incluye costos de preparación del terreno, control de plagas y enfermedades. Costos variables = incluyen el costo de fertilizante, cosecha y flete. Costo total = costo fijo + costo variable. Ingreso neto = ingreso total – costo total.

Finalmente, estos resultados indican que la mayor BT, NV y RVV más alto en FCH en espaldera viva de maíz se logra con aplicaciones de N, debido a incrementos en el tamaño del aparato fotosintético (NHV e IAF) y su duración (DAFT), y mayor RFA interceptada y una EUR más alta. Así como mayor TAN y TCA. Con P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no se modificó la TAN y TCA y los incrementos en el tamaño, duración del dosel vegetal, RFA y EUR fueron menores que con N, lo cual se relaciona con un nivel de N más bajo en el suelo en relación al P Olsen que fue de media a alto (Vázquez y Bautista 1993). Por otra parte, la combinación N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que generó mayor NHV, IAF, DAFT, intercepción de RFA, EUR, TAN, TCA y por lo tanto BT, NV y RVV más alto fue N150-P75 y N150-P150. El mayor IN se obtuvo con N150-P75 (\$78,189.30) y GPI (\$5.11).

## CONCLUSIONES

La fertilización con N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incrementa el número de hojas verdes, índice de área foliar, radiación interceptada, eficiencia en el uso de la radiación y tasas de crecimiento (TAN y TCA), biomasa total, número de vainas y rendimiento de vaina verde. Dicho aumento es mayor con N que con P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La combinación de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que genera el mayor crecimiento y producción de vaina es N150-P75 y N150-P150. El mayor ingreso neto y ganancia por peso invertido se logra con N150-P75.

## LITERATURA CITADA

Abayomi, Y. A., T. V. Ajibade, O. F. Sammuell and B. F. Sa'adudeen. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7(2): 170-176.

- Aguilar, G. L., J. A. Escalante E., L. Fucikovsky Z., L. Tijerina C. y E. Mark E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. 23(3): 303-310.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G., P. Ramírez V. y V. M. Olalde G. 2009. Frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) su cultivo, importancia económica y medicinal. *Rev. Alt. Dig.* 19: 21-26.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E. and M. T. Rodríguez G. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroec.* 13(3): 307-315.
- Balbino, M. L. and R. William W. 2003. Effect of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(11): 1257-1264.
- Bernal, L., P. Coello, J. Acosta y E Martínez B. 2007. Efecto de la deficiencia de fósforo en el metabolismo de carbono de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencias* 41: 417-423.
- Cárdenas, N. R., J. M. Sánchez Y., R. Farías R. y J. J. Peña C. 2004. Los aportes de nitrógeno y fósforo en la agricultura. *Rev. Ser. Hort.* 10(2): 173-178.
- Chiera, J., J. Thomas and T. Rufty. 2002. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress. *J. Exp. Bot.* 53:473-481.
- Correira, C. M., J. M. Mouthino P., J. F. Coutinho, L. O. Bjorn and J. M. G. Torres P. 2005. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. *Eur. J. Agronomy* 22: 377-347.
- Dugje, I. Y., L. O. Omoigui, F. Ekeleme, A.Y. Kamara and H. Ajeigbe. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.

- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17(2): 149-157.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 16-25.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Elsevier Inc.* 88: 97-185.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, A. Moreira and T. A. Portes. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.* 33(14): 2167-2181.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Agricultural Production Indices 2010. 26 Abril 2013. [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Gómez, A. L., V. Vadez, G. Hernández, T. Sánchez, V. Toscano y M. Sánchez. 2002. Evaluación de la tolerancia al estrés de fósforo en caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba I. Cultivado en solución nutritiva. *Agronomía Mesoamericana* 13: 59-65
- Guadarrama, Q. A., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G., P. Sánchez G. y E. Sandoval C. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento de haba en función del nitrógeno. *Terra* 25(2): 169-175.
- Hunt, R. 1990. Basic Growth Analysis. Unwinn Hyman. London, UK. 112 p.
- Morales, R. E. J., J. A. Escalante E. y J. A. López S. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – frijol

- (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Ciencia Ergo Sum* 14(2): 177-183.
- Ofori, K. and P. Y. Klogo. 2005. Optimum time for harvesting yardlong bean (*Vigna sesquipedalis*) for high yield and quality of pods and seeds. *Journal of Agriculture and Social Science* 1(2): 86-88.
- Olivera, M., N. Tejera, C. Iribarne, A. Oceña and C. Lluck. 2004. Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): effect of phosphorus. *Physiologia Plantarum* 121: 498-505.
- Olalde, G. V. M., J. A. Escalante E., P. Sánchez G., L. Tijerina C., A. A. Mastache L. y E. Carreño R. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18: 313-323.
- Owolade, O. F., J. A. Adediran, M. A. Akande and B. S. Alabi. 2006. Effects of application of phosphorus fertilizer on brown blotch disease of cowpea. *Afr. J. Biotech.* 5:343-347.
- Peksen, A. 2004. Fresh pod yield and some pod characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes from Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences* 3(3): 269-273.
- Rawson, H. M., L. R. Dunstone, J. M. Long and E. J. Begg. 1984. Canopy development light interception in sunflower as influenced by temperature and radiation. *Aust. J. Plant Physiol.* 11: 255-265.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.
- Urzua, H., L. Barrales, H. Faguenbaum, M. Gálvez, R. Ormazabal y R. Pizarro. 2003. Fertilización nitrogenada de porotos verdes para uso agroindustrial en la zona central de Chile: Indicaciones preliminares. *Cien. Inv. Agr.* 30: 57-60.

Vázquez, A. A. y A. N. Bautista. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos, México. 29 p.

**CAPÍTULO III**  
**PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO CON ESPALDERA VIVA DE MAÍZ A**  
**DISTINTAS FECHAS DE SIEMBRA EN CLIMA TEMPLADO**

# **PRODUCCIÓN DE FRIJOL CHINO CON ESPALDERA VIVA DE MAÍZ A DISTINTAS FECHAS DE SIEMBRA EN CLIMA TEMPLADO**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

El frijol chino (FCH) presenta gran versatilidad en sus usos, hojas, vainas y grano se utilizan en la alimentación humana, además es considerado un forraje de calidad. Está adaptado a condiciones de clima cálido, no obstante, también se ha logrado desarrollar en clima templado. El estudio se estableció en Montecillo Méx. (clima templado) con el objetivo de determinar la mejor fecha de siembra para mayor producción de FCH. En espaldera viva de maíz la siembra se realizó el 15 y 30 de abril (15A y 30A), 15 y 30 de mayo (15M y 30M) y 15 de junio (15J) de 2011. Previo al establecimiento del periodo de lluvias se aplicó riego. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se registró la temperatura máxima y mínima ( $T_{máx}$  y  $T_{mín}$ ), precipitación (PP), acumulación de unidades calor (UC) y evapotranspiración (ETc). A madurez fisiológica se evaluó el rendimiento de grano (RG) y biomasa (BT). La ocurrencia de las etapas fenológicas del FCH se alargó conforme la siembra se hizo más tarde. En la siembra A15 el ciclo se acortó en 5 días respecto a M15 por reducción en la  $T_{máx}$  en 1.1 °C. Las siembras M30 y J15 no llegaron a madurez fisiológica por la ocurrencia de heladas. El mayor RG (7.3 g m<sup>-2</sup>) y BT (139 g m<sup>-2</sup>) se presentaron con la siembra A15, producto de mayor acumulación de UC (1204 °C d) y ETc (486 mm). En condiciones de clima templado, el FCH en siembras tempranas presenta la mayor producción e ingreso neto.



**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, biomasa tota, correlación, fenología, índices climáticos.

## **COWPEA PRODUCTION WITH TRELLIS LIVE OF MAIZE AT DIFFERENTS SOWING DATES IN TEMPERATE CLIMATE**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

Cowpea (FCH) presents great versatility in uses, leaves, pods and grain are used in human food, it is also considered quality forage. It is adapted to conditions of hot climate, however, also have been developed in temperate climate. The study was established at Montecillo Mex. (temperate climate) with objective to determine the best date of sowing for increased production of FCH. The cowpea and maize were sowed the 15 and April 30 (15A and 30A), 15 and 30 May (15M and 30M) and June 15 (15J) 2011. Prior to the establishment of the rainy season irrigation was applied. The experimental design was of complete blocks at random with four replications. It was the maximum and minimum temperature (Tmax and Tmin), precipitation (PP), accumulation of heat units (HU) and evapotranspiration (ETc). The grain yield (GY) and total biomass (TB) was assessed to physiological maturity. The occurrence of the FCH phenological stages was lengthened as the sowing was done later. At A15 planting cycle shortened in 5 days on M15 by reduction in the Tmax in 1.1 °C. The M30 and J15 sowings did not physiological maturity by the occurrence of frost. The major GY (7.3 g m<sup>-2</sup>) and BT (139 g m<sup>-2</sup>) were presented with the sowing A15, product of high accumulation of UC

(1204 °C d) and ETc (486 mm). In temperate climate, the FCH in early sowing presents increased production and net income.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, total biomass, correlation, phenology, climate indices.

## INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son la tercer familia más importante del reino vegetal, con 650 géneros y 18,000 especies, sin embargo, solamente se utilizan alrededor de 20 de manera regular en la alimentación humana y animal. Se caracterizan por presentar alto contenido de proteínas (17 a 40 %). El frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), después del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de mayor importancia destinada al consumo humano directo (Oporta y Rivas, 2006). Presenta rusticidad a condiciones adversas y prolongados periodos de sequía, además de versatilidad en sus usos; vainas y hojas se consumen como verdura, el grano en gran variedad de preparaciones. Además, el forraje es usado en la alimentación del ganado vacuno. En relación al frijol común presenta 30 % más de proteínas, ácido fólico y bajo contenido de sustancias causantes de flatulencias (Davis *et al.*, 1991).

Los genotipos de crecimiento indeterminado comúnmente se cultivan en espaldera convencional (postes de concreto o madera y malla plástica), lo que incrementa el costos de producción. Se ha demostrado aumentar la rentabilidad económica cuando se cultiva en espaldera de maíz, al hacer un uso más eficiente de los recursos; agua, nutrimentos y espacio principalmente. Con esto se obtiene dos productos en la misma unidad de producción (Apáez *et al.*, 2011). Este cultivo está adaptado a condiciones de clima cálido, sin embargo, bajo condiciones de clima templado se ha logrado producir satisfactoriamente siempre y cuando no se presenten bajas temperaturas y heladas durante su desarrollo. Por ello, es necesario buscar

bajo estas condiciones ambientales la mejor época de siembra donde se tengan las temperaturas más elevadas para una mejor respuesta productiva del FCH. Existen evidencias donde se señala que la temperatura y la acumulación de biomasa están fuertemente correlacionadas, cualquier cambio significativo repercutirá directamente sobre su capacidad de acumulación y por consiguiente en el rendimiento (Kobata y Uemuki, 2004).

En el valle de México, Esquivel-Esquivel *et al.* (2006) en frijol común encontraron que el rendimiento más alto (26 ton ha<sup>-1</sup>) se logra con la siembra del 21 de Mayo y el más bajo (11 ton ha<sup>-1</sup>) con la del 15 de Junio, diferencia que se atribuyen al cambio en la temperatura mínima y duración del fotoperiodo. Shehu *et al.* (2001) evaluaron dolicho (*Lablab purpureus*) en dos fechas (Agosto y Julio) y encontraron menor crecimiento con la siembra de Agosto, esto por reducción en las temperaturas. En FCH son escasos los estudios sobre fechas de siembra bajo condiciones de clima templado. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de las fechas de siembra sobre la producción de FCH en espaldera viva de maíz y la relación con los índices climáticos en clima templado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se estableció en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 29' N, 98° 53' O y 2250 m), el clima es templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y 559 mm de precipitación anual (García, 2005). El suelo es de textura arcillosa (Fluvisol mólico), con materia orgánica de 2 a 3 %, pH de 8, en los primeros 30 cm de perfil. Los tratamientos consistieron en la siembra de FCH en espaldera viva de maíz en fechas de siembra del 15 y 30 de Abril (15A y 30A), 15 y 30 de Mayo (15M y 30M) y 15 de Junio (15J) de 2011. La fertilización se realizó a los 30 días después de cada fecha de siembra con 100N-100P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-100K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup>. Se aplicaron riegos de punta para todas las fechas de siembra hasta

que se estableció plenamente el periodo de lluvias. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima ( $T_{\text{máx.}}$ , °C) y mínima ( $T_{\text{mín.}}$ , °C), evaporación ( $E_v$ , mm) y precipitación diaria ( $PP$ , mm). Se registró el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas para FCH que fueron: días a emergencia ( $E$ ), a inicio de antesis ( $R_6$ ) y a madurez fisiológica ( $R_9$ ) (Escalante y Kohashi, 1993). También se calculó la acumulación de calor por el cultivo con base a unidades calor ( $UC$ , °C d) mediante el método residual (Snyder, 1985), la ecuación es:  $UC = [T_{\text{max}} + T_{\text{min}} / 2] - T_b$ , donde  $T_{\text{max}}$  = temperatura máxima,  $T_{\text{mín}}$  = temperatura mínima y  $T_b$  = temperatura base que es de 10 °C de acuerdo con Barrios y López, (2009). La evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se calculó a partir de los datos de evaporación ( $E_v$ ) del tanque tipo A, usando 0.75 como coeficiente del evaporímetro ( $K_e$ ) y valores de  $K_c$  en función al desarrollo del cultivo, a partir de la siguiente ecuación;  $ET_c = E_v * K_e * K_c$  (Allen *et al.*, 2006).

A la cosecha se registró la biomasa aérea total ( $BT$ , g m<sup>-2</sup>), índice de cosecha ( $IC = RG / BT$ , %), rendimiento de grano ( $RG$ , peso de granos al 10 % de humedad, g m<sup>-2</sup>), número de granos por m<sup>2</sup> ( $NG$ ), peso de cien granos ( $P_{100G}$ ), número de vainas normales por m<sup>2</sup> ( $NV$ ) y granos por vaina ( $GV$ ). La eficiencia en el uso del agua para  $BT$  y  $RG$  (g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>) se calculó considerando la ecuación:  $EUA = BT, RG / ET_c$  (Escalante, 1995).

Los datos se analizaron estadísticamente con el paquete SAS versión 9.1 y las diferencias entre tratamientos se evaluaron con la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (SAS, 2003). Adicionalmente se correlacionó la  $BT$  con los índices climáticos.

Al  $RG$  del FCH, se le aplicó un análisis económico para determinar el ingreso neto, con la ecuación:  $IN = YPy - (\sum X_i P_i + CF)$ , donde  $IN$  = ingreso neto,  $Y$  = rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>),  $P_y$

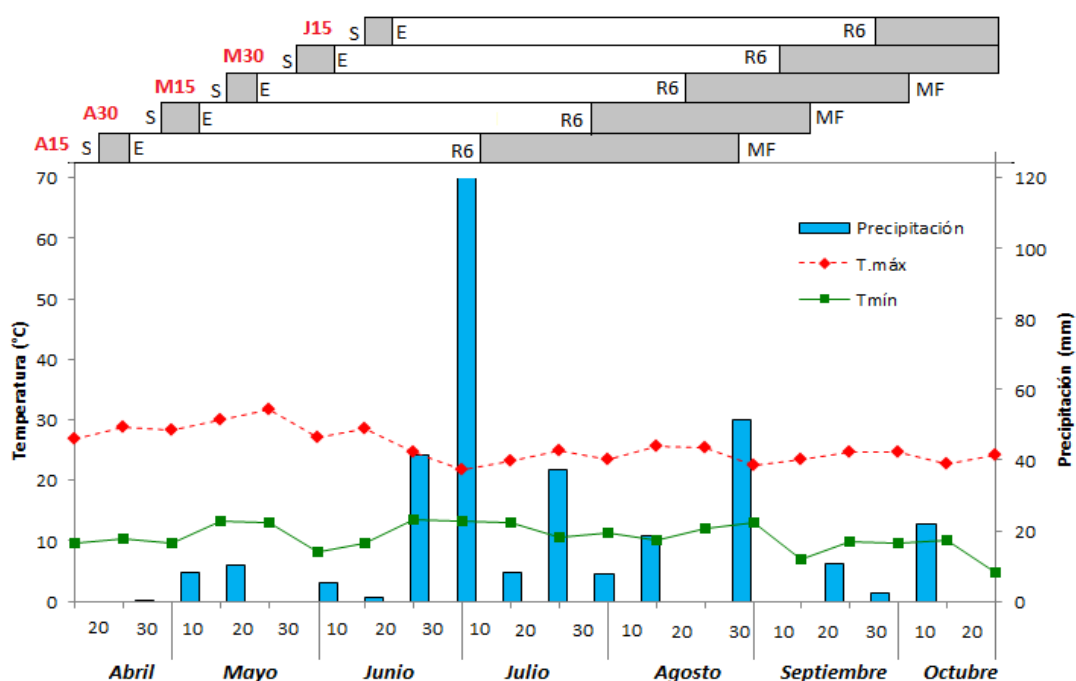
= precio por kilogramo de grano,  $\sum XiPi$  = suma de costos variables, CF = costo fijo (Volke, 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fenología y condiciones ambientales

Los días a ocurrencia de las etapas fenológicas mostraron cambios por efecto de la fecha de siembra. En la siembra del 15 de Abril (15A) en comparación con la del 15 de Mayo (M15) el ciclo del FCH se acortó en 5 días (d) a inicio de floración (R6) y 5 d a madurez fisiológica (R9). Esto se atribuye a la disminución de la temperatura durante el ciclo del cultivo, al presentar en promedio para A15  $T_{m\acute{a}x}$  de 26.4 °C y  $T_{m\acute{i}n}$  de 11.3 °C, mientras que para M15 25.3 y 10.7 °C para  $T_{m\acute{a}x}$  y  $T_{m\acute{i}n}$  respectivamente (Figura 1). En el caso de la siembra del 30 de Mayo (M30) y 15 de Junio (L15), el ciclo del cultivo se alargó en 1 d a emergencia (E), 13 y 17 d a R6, respecto a A15 (Cuadro 1). Estas dos últimas fechas de siembra no llegaron a R9, debido a la ocurrencia de una helada en la tercer decena de octubre ( $T_{m\acute{i}n}$  -3 °C). Esto provocó el congelamiento del agua al interior de los tejidos vegetales, causando un daño irreversible llamado quemadura por frio (Volante *et al.*, 2004). Trabajos similares fueron reportados por Salinas *et al.* (2008) quienes evaluaron fechas de siembra en el frijol común cultivar Hav14 para buscar las mejores condiciones ambientales para su desarrollo en Montecillo Edo. de México. Estas fueron del 02 y 17 de Mayo, 01 y 16 de Junio y 01 de Julio, encontraron reducciones en el ciclo del cultivo por retraso en la siembra; de tal manera que la del 01 de Julio presentó el mayor ciclo del cultivo, que fue 8 d más las largo que la primera siembra. Esto lo atribuyen a disminución en la temperatura máxima de 38 a 32 °C. Rosales *et al.* (2001) señalan que a baja temperatura se retrasa el ciclo del cultivo de frijol.

En la siembra A15 se presentó la menor precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo con 262 mm, en contraste con la siembra M30 donde se presentó la más alta de 330 mm. Sin embargo, debido a que se aplicaron riegos de punta antes de que se estableciera plenamente el periodo de lluvias, la disponibilidad de agua para todos los tratamientos fue en promedio de 429 mm. La mayor lámina de riego se aplicó en la siembra A15 (218 mm), la cual fue reduciéndose conforme se retrasó la siembra (Cuadro 1). De tal manera que este índice climático no fue determinante en la respuesta del FCH a las fechas de siembra.



**Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del FCH en espaldera de maíz en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

### Unidades calor y evapotranspiración

La acumulación de unidades calor (UC) y evapotranspiración (ETc) durante el ciclo del cultivo difirieron entre fechas de siembra; sus valores más altos se observaron en la siembra A15 (1204 °C y 486 mm) y disminuyó conforme ésta se hizo más tarde, de modo que los

valores más bajos (961 °C y 363 mm) correspondieron a la siembra J15. La reducción en los valores de UC y ETc en siembras posteriores a 15A se relaciona con disminución en la temperatura máxima de 26.4 a 24 °C. Tendencias similares fueron encontradas por Salinas *et al.* (2008), quienes al evaluar fechas de siembra del frijol común en clima templado, observaron disminución en la acumulación de UC y ETc a medida que se retrasa la fecha de siembra, al presentar los valores más altos con la siembra del 02 de Mayo (1087 °C y 224 mm) y los más bajos en la del 01 de Julio (884 °C y 147 mm). En este caso, la disminución de la T<sub>máx</sub> fue de 6 °C entre la primera y la última fecha de siembra.

**Cuadro 1. Fenología, unidades calor (UC), precipitación (PP), lámina de riego (LR) y evapotranspiración (ETc) durante el ciclo del cultivo. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

Fecha de siembra	Etapas fenológicas (dds)			UC °C días	PP ----- mm -----	LR	ETc
	E	R6	R9				
A15	7	85	136	1204	262	218	486
A30	8	87	141	1187	313	165	455
M15	7	90	141	1154	309	126	429
M30	8	98-146	-	1091	330	76	418
J15	8	102-139	-	961	324	21	363

A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio, E = emergencia, R6 = inicio de floración, R9 = madurez fisiológica y dds = días después de la siembra.

### Rendimiento y componentes del rendimiento

El rendimiento de grano (RG), número de grano por m<sup>2</sup> (NG), peso de cien granos (P100G), número de vainas por m<sup>2</sup> (NV) y granos por vaina (GV), mostraron cambios significativos por efecto de las fechas de siembra (Cuadro 2).

La siembra A15 presentó los mayores valores, con incrementos de 3.7 g m<sup>-2</sup>, 35 granos m<sup>-2</sup> y 4 vainas m<sup>-2</sup> para RG, NG y NV, respectivamente en relación a la siembra A30 y en 5.1 g

m<sup>-2</sup>, 54 granos m<sup>-2</sup> y 6.5 vainas m<sup>-2</sup>, respecto a la siembra M15. Los tratamientos M30 y J15 por la ocurrencia de heladas durante el inicio de su periodo reproductivo no completaron su ciclo reproductivo, por lo que no lograron producir grano.

Al respecto, Kurubetta (2006) bajo condiciones de clima cálido, evaluaron la siembra de FCH en tres fechas (22 de Junio, 15 y 23 de Julio) y encontraron reducción en el RG y en el tamaño de grano por retraso en la siembra. De tal manera que la del 22 de Junio presentó el mayor RG y P100G (925 kg ha<sup>-1</sup> y 10.2 g), seguido de la siembra del 15 de julio (625 kg ha<sup>-1</sup> y 9.9 g) y la más baja con la del 23 de Julio (579 kg ha<sup>-1</sup> y 9.8 g). Yadav (2003) en FCH encontraron que en clima cálido, la siembra tardía después de la segunda semana de Julio disminuyó el rendimiento y número de vainas en comparación con la siembra temprana.

**Cuadro 2. Rendimiento de grano (RG) y componentes del rendimiento del FCH en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

Fecha de siembra	RG	NG	P100G	NV	GV
	g m <sup>-2</sup>	No. m <sup>-2</sup>	g	No. m <sup>-2</sup>	No.
A15	7.3 a <sup>¶</sup>	76.3 a	9.5 ab	9.5 a	8.0 a
A30	3.6 b	41.3 b	8.8 b	5.5 b	7.5 a
M15	2.2 c	22.3 c	9.7 a	3.0 c	7.5 a
M30	0.0 d	0.0 d	0.0 c	0.0 d	0.0 b
J15	0.0 d	0.0 d	0.0 c	0.0 d	0.0 b
Media general	2.6	28.0	5.6	3.6	4.6
Prob. F	**	**	**	**	**
DSH <sub>0.05</sub>	2.1	18.6	0.8	2	1.6
CV	35.1	29.6	6.7	24.3	15.4

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio. NG = número de granos, P100G = peso de cien granos, NV = número de vainas, GV = granos por vaina, DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad de error. CV = coeficiente de variación.



### Biomasa, índice de cosecha y eficiencia en el uso del agua

La biomasa total (BT), índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso del agua para biomasa (EUAB) y grano (EUAG) se modificaron significativamente por las fechas de siembra (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Biomasa total (BT), índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso del agua para grano y biomasa (EUAG y EUAB) del FCH en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

Fecha de siembra	BT	IC	EUAB	EUAG
	g m <sup>-2</sup>	%	----- g m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> -----	
A15	139 a <sup>¶</sup>	5.4 a	0.29 a	0.015 a
A30	123 ab	3.1 ab	0.27 a	0.007 b
M15	99 c	2.3 bc	0.23 a	0.005 b
M30	62 c	0.0 c	0.15 b	0.000 c
J15	39 c	0.0 c	0.11 b	0.000 c
Media general	92	2.1	0.21	0.005
Prob. F	**	**	**	**
DSH <sub>0.05</sub>	31	2.3	0.07	0.005
CV	15	48	14.7	41.9

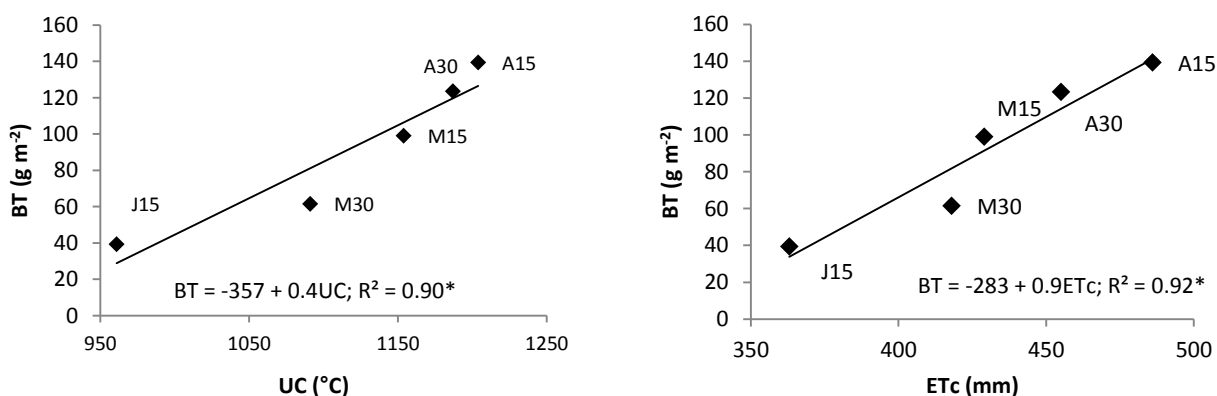
<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). \*. \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5% de probabilidad de error. CV = coeficiente de variación.

El FCH sembrado el A15 presentó el mayor RG (139 g m<sup>-2</sup>), IC (5.4 %), EUAB (0.29 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>) y EUAG (0.015 g m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>), que superó a la siembra A30 en 11, 43, 7 y 53 % para BT, IC, EUAB y EUAG respectivamente. Sin embargo, el mayor incremento fue respecto a J15 con 72, 100, 62 y 100 % para BT, IC, EUAB y EUAG respectivamente. Tendencias similares fueron encontradas por Kurubetta (2006) en FCH en clima cálido, al presentar

reducción del 20 % en el IC y 14 % en BT con la siembra del 23 de Junio respecto a la del 22 de julio.

A pesar que el RG de FCH en clima templado fue relativamente bajo en todas las fechas de siembra, la producción de BT se considera aceptable para las dos primeras fechas de siembra (A15 y A30), cuyos valores son equivalentes a 1.4 y 1.2 ton ha<sup>-1</sup> de materia seca, que de acuerdo con Castillo *et al.* (2009) es considerado como forraje de excelente calidad para la alimentación de ganado bovino.

En la Figura 2 se observa que la BT en función de la acumulación de UC y ETc se ajustó a modelos de regresión lineal. El incremento en una UC aumenta en 0.4 g m<sup>-2</sup> la BT, de tal manera que la siembra A15 presentó la mayor BT (139 g m<sup>-2</sup>) que se relacionó con una mayor acumulación de UC (1204 °C), mientras que la más baja acumulación de UC (961 °C) propició una menor producción de BT (39 g m<sup>-2</sup>) en la siembra J15. La ETc también presentó alta relación con la BT ( $R^2 = 0.92^{**}$ ), el incremento en un mm de ETc aumenta la BT en 0.9 g m<sup>-2</sup>.



**Figura 2. Relación entre la biomasa total (BT) e índices climáticos. UC = unidades calor, ETc = evapotranspiración, A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

## Análisis económico

El análisis económico para el rendimiento de grano del FCH (RGF) y maíz (RGM) se presenta en el Cuadro 4. El mayor RGF y RGM se logró con la siembra A15, pero también generó los más altos costos variables (CV) y totales (CT), los cuales se amortizaron con el ingreso total (IT), por lo que presentó ingreso neto (IN) superior en \$1,260.99 a M15 y \$1,939.54 a A30.

El menor IN se presentó con M30 y J15, en las cuales no se tiene producción de grano de FCH, solo de maíz. Con la última fecha de siembra (J15) se tienen pérdidas económicas (Cuadro 4).

En general, por cada día de retraso en la siembra de FCH en espaldera viva de maíz a partir del 30 de abril, se reduce la ganancia en \$51.26.

**Cuadro 4. Análisis económico del rendimiento de grano del frijol chino (RGF) y maíz (RGM) en función de las fechas de siembra. Montecillo, Méx. Verano de 2011.**

Fecha de siembra	RGF	RGM	IT	CF	CV	CT	IN
	---- kg ha <sup>-1</sup> ----		----- \$ -----				
<b>A15</b>	73	2274	11547.00	3800.00	4550.46	8350.46	3196.54
<b>A30</b>	36	1891	9157.500	3800.00	4100.50	7900.50	1257.00
<b>M15</b>	22	2140	10026.00	3800.00	4290.45	8090.45	1935.55
<b>M30</b>	0	1632	7344.00	3800.00	2400.00	6200.00	1144.00
<b>J15</b>	0	1113	5008.50	3800.00	1800.00	5600.00	-591.50

A15 = 15 de Abril, A30 = 30 de Abril, M15 = 15 de Mayo, M30 = 30 de Mayo, J15 = 15 de Junio.  
 Ingreso total (IT) = rendimiento \* precio por kg de grano de maíz (\$ 4.50) y frijol chino (\$ 18.00).  
 Costo fijo (CF) = incluye costos de preparación del terreno, control de plagas y enfermedades. Costos variables (CV) = incluyen el costo de fertilizante, cosecha y flete. Costo total (CT) = costo fijo + costo variable. Ingreso neto (IN) = ingreso total – costo total.

## CONCLUSIONES

La fenología, número de granos, peso de cien granos, número de vainas, granos por vaina, biomasa total, índice de cosecha, eficiencia en el uso del agua para grano y biomasa y rendimiento de grano del frijol chino son afectados por la fecha de siembra. Los valores más altos se lograron con la siembra del 15 de Abril, en la cual se presenta un ciclo del cultivo más corto. El mayor rendimiento e ingreso neto se lograron con la siembra del 15 de Abril y las más bajas con la del 15 de Junio. La mayor biomasa total en la siembra A15 se relacionó con una mayor acumulación de unidades calor y evapotranspiración. Para condiciones de clima templado la siembra del 15 de Abril es la más recomendable para el frijol chino. Siembras después del 30 de Mayo tienen alto riesgo de ocurrencia de heladas durante el desarrollo del cultivo.

## LITERATURA CITADA

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y drenaje. Manual. 56. FAO. Roma. 298 p.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E and M. T. Rodríguez G. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13(3): 307-315.
- Barrios, G. E. J. y C. López. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencias* 43: 29-35.
- Castillo, J. M., A. Rojas B. y R. WingChing J. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asociación con vigna. *Agronomía Costarricense* 33: 133-146.

- Davis, D. W., E. A. Oelke, E. A. Oplinger, J. D. Doll, C. V. Hanson and D. H. Putman. 1991. Cowpea. Alternative field crops manual. University of Wisconsin, Cooperative Extension, University of Minnesota: Center for alternative plant and animal products and the Minnesota extension service.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 12: 28-32.
- Esquivel-Esquivel, G., J. A. Acosta-Gallegos, R. Rosales-Serna, P. Pérez-Herrera, J. M. Hernández-Castillo, R. Navarrete-Maya y J. S. Muruaga-Martínez. 2006. Productividad y adaptabilidad del frijol ejotero en el valle de México. *Rev. Chap. Ser. Hort.* 12: 119-126.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Kobata, T. and Uemuki, N. 2004. High temperatures during the grain filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. *Agron. J.* 96:406-414.
- Kurubetta, D. K. 2006. Effect of time of sowing, spacing and seed rate on seed production potentiality and quality of fodder cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Thesis Master of Science. Department of agronomy College of Agriculture. University of Agricultural Science.
- Oporta, E. y A. Rivas. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y calidad de una población de caupí rojo (*Vigna unguiculata* L. Walpers) en la finca el plantel. Tesis. Ing. Agr. UNA. Managua, Nicaragua.

- Rosales, S. R., R. Ochoa M. y J. A. Acosta, G. 2001. Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. *Agrociencia* 35(5): 513-523.
- Salinas, R. N., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. y E. Sosa M. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(3): 235-241.
- Shehu, Y., W. S. Alhassan, U. R. Pal and C. J. C. Phillips. 2001. The effects of sowing date on the growth and nutritive value of *Lablab purpureus*. *J. Agron. Crop Sci.* 186: 21-29.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agri. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.
- Volante, J., S. García M., H. Paoli, M. Fili, A. Bianchi y C. Garkus. 2004. Evaluación de daños por heladas en el cultivo de poroto en Salta y Juguy. EEA Salta. Salta AR. 15 p.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.
- Yadav, G. L. 2003. Effect of sowing time, row spacing and seed rate on yield of cowpea under rainfed condition. *Indian Journal of Pulses Research*, 16(2): 157-158.

**CAPÍTULO IV**

**DISTANCIA ENTRE HILERAS, NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN  
LA ASOCIACIÓN FRIJOL CHINO-MAÍZ EN CLIMA TEMPLADO**

# **DISTANCIA ENTRE HILERAS, NITRÓGENO Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN LA ASOCIACIÓN FRIJOL CHINO-MAÍZ EN CLIMA TEMPLADO**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

El frijol chino (FCH), además de utilizarse en la alimentación humana, también es empleado como forraje de alta calidad nutricional. Su cultivo en asociación con maíz, se ha limitado a condiciones de clima cálido, sin embargo, en clima templado se ha logrado producir forraje, aunque el rendimiento es bajo, prácticas de manejo como el acortamiento en la distancia entre hileras y fertilización nitrogenada podrían incrementarlo. El objetivo del estudio fue determinar en la asociación FCH-maíz en clima templado, el efecto de la distancia entre hileras y N sobre el tamaño y duración del área foliar, índice de verdor, producción de forraje y área específica foliar. En clima templado, bajo condiciones de lluvia estacional se sembró FCH-maíz a dos distancias entre hileras (DH): 40 cm (DH40, 12.5 pl m<sup>-2</sup>) y 80 cm (DH80, 6.25 pl m<sup>-2</sup>) y tres niveles de N: N0, N75 y N150 kg ha<sup>-1</sup>. La temperatura máxima y mínima promedio durante el estudio fue de 28.7 y 8.3 °C, respectivamente, con precipitación acumulada de 218 mm. En FCH-maíz, la producción de forraje se modificó por efecto de la DH y N. La combinación DH40-N150 generó la mayor producción de forraje, con 729 g m<sup>-2</sup> de materia seca y 5298 g m<sup>-2</sup> de materia fresca, como consecuencia del mayor número de hojas verdes, índice y duración del área foliar. Del forraje total, el FCH representó entre el 16 y 21 %. El N provocó incrementos en el índice de área foliar en las dos especies, sin embargo, solo



aumento el área específica foliar en FCH. En clima templado se logra aumentar la producción de forraje del FCH-maíz, con el acortamiento en la DH y aplicación de N.

**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, materia seca, área específica foliar, índice de verdor.

## **DISTANCE BETWEEN ROWS, NITROGEN AND FORAGE PRODUCTION IN THE ASSOCIATION COWPEA-MAIZE IN TEMPERATE CLIMATE**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

Cowpea, besides being used in human food, is also used as forage of high nutritional quality. Its cultivation in association with maize has been limited to warm climate conditions, however, in temperate climate have been producing fodder, although the yield is low, management practices such as shortening in the distance between rows and nitrogen (N) application might increase it. The objective of the study was to determine in the association cowpea-maize in temperate climate, the effect of the distance between rows and N on the size and leaf area duration, greenery index, production of forage and specific leaf area. In temperate climate, under conditions of seasonal rainfall cowpea-maize was sown at two distances between rows: 40 cm (DH40, 12.5 pl m<sup>-2</sup>) and 80 cm (DH80, 6.25 pl m<sup>-2</sup>) and three levels of N: N0, N75 and N150 kg ha<sup>-1</sup>. The average maximum and minimum temperature during the study was 28.7 and 8.3 °C respectively, with accumulated rainfall of 218 mm. cowpea-maize, forage production was modified by the effect of the DH and N. The

combination DH40-N150 generated greater forage production, with 729 g m<sup>-2</sup> dry matter and 5298 g m<sup>-2</sup> of fresh matter, as a result of the greater number of green leaves, index and leaf area duration. Of the total fodder, the FCH represented between 16 and 21 %. The N caused increases in the leaf area index of leaf area in the two species, however, only increased specific leaf area in FCH. In temperate climate is achieved increase the cowpea-maize forage production, with shortening in the DH and application of N.

**Key word:** *Vigna unguicula*, dry matter, leaf area index, greenery index.

## INTRODUCCIÓN

El frijol chino (FCH, *Vigna unguiculata* (L) Walp.), se utiliza en la alimentación humana como grano y vaina verde, también es importante por su uso forrajero. Ha sido evaluado para la alimentación de rumiantes, con excelentes respuestas en el mejoramiento de los niveles de nitrógeno amoniacal en rumen (García *et al.*, 2002). El forraje antes de la floración presenta la más alta calidad nutricional, en conjunto tallo-hojas contienen hasta 19 % de proteínas, 50 % de fibra bruta, 1.4 % de cenizas, 1.5 % de K y 1.0 % de Mg. Las hojas presentan mayor digestibilidad (75 %) que los tallos (56 %) (Díaz *et al.*, 2002; Ayan *et al.*, 2012).

Los genotipos de crecimiento indeterminado presenta mayor producción de forraje en relación con los de crecimiento determinado; para mantener la planta erguida se puede cultivar asociado con maíz (*Zea mays* L.) usado también como forraje (Dahmardeh *et al.*, 2009; Apáez *et al.*, 2011). La asociación permite hacer más eficiente el uso de recursos como espacio, luz, agua y nutrimentos principalmente (Lee *et al.*, 2003). En general, el maíz presentan mayor rendimiento que el FCH, pero se considera pobre en calidad por su bajo contenido de proteínas y aminoácidos esenciales. En este sentido, la mezcla con esta leguminosa aumenta su calidad

de forraje por incremento en el contenido de proteínas y reducción de fibras (Ibrahim *et al.*, 2006). El ensilado, es una práctica que permite conservar el forraje y es factible en las dos especies (Dahmardeh *et al.*, 2009).

El FCH, se establece en gran variedad de suelos y está adaptado a condiciones de clima cálido. Sin embargo, en clima templado Apáez *et al.* (2010) encontraron producción de forraje seco de 154 g m<sup>-2</sup>, por lo que asociado con maíz puede ser otra alternativa forrajera en estas condiciones. Aunque este rendimiento se considera bajo, podría incrementarse a través de prácticas de manejo como, mayor densidad de población mediante reducción de la distancia entre hileras y fertilización nitrogenada. Al respecto, en especies como frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y girasol (*Helianthus annuus* L.) Escalante (1995) y Olalde *et al.* (2000) reportan aumento en la producción de materia seca con densidades de población altas, como consecuencia de una mayor y más temprana cobertura de dosel vegetal, con lo cual se capta mayor radiación y se hace más eficiente el uso de insumos. Por otra parte, el N favorece la producción de forraje debido al aumento del área foliar, índice de área foliar y duración de la misma, ocasionado por un mayor crecimiento de la lámina foliar (Abayomi *et al.*, 2008). Este elemento también puede incrementar el índice de verdor, muy relacionado con el contenido de clorofila y actividad fotosintética. También puede elevar el área foliar específica (AEF, índice de espesor y densidad de la hoja). Una mayor AEF favorece la apetencia y fragilidad de las hojas y disminuye la lignificación (Castro-Díez *et al.*, 2000).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar en la asociación FCH-maíz en clima templado, el efecto de la distancia entre hilera y N sobre: a) el tamaño y duración del aparato fotosintético, índice de verdor, área específica foliar, y producción de forraje y b) determinar la combinación de distancia entre hileras y dosis de N que genere el mayor rendimiento de forraje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Méx. (19° 27' 36'' N, 98° 54' 14'' O y 2249 m de altitud). El clima es templado con régimen de lluvias en verano (García, 2005). El suelo de siembra es de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de 1.22 g cm<sup>-3</sup>, pH alcalino (8.2), salinidad baja (0.55 ds m<sup>-1</sup>), moderadamente alto en materia orgánica (2.71 %), bajo en N-inorgánico (3.46 ppm) y muy alto en P-Olsen (117 ppm).

El 11 de mayo de 2012 se sembró FCH de crecimiento indeterminado asociado con maíz azul criollo regional, una planta de cada especie por mata. Los tratamientos consistieron en la combinación de dos distancia entre hileras: 40 cm (DH40, 12.5 pl m<sup>-2</sup>) y 80 cm (DH80, 6.25 pl m<sup>-2</sup>) y tres niveles de N: N0, N75 y N150 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo que se generaron seis tratamientos, los cuales se distribuyeron en campo en diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5.0 x 2.4 m.

Adicionalmente, todos los tratamientos se fertilizaron con 50 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O. Las fuentes utilizadas fueron urea (40 % de N), superfosfato de calcio triple (46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de potasio (60 % de K<sub>2</sub>O). Todo el P, K y la mitad de N se aplicaron 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima (T<sub>máx.</sub>, °C), mínima (T<sub>mín.</sub>, °C) y precipitación diaria (PP, mm). También se registró el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas; para FCH fueron: días a emergencia (V1) e inicio de preantesis (R5) con base a los criterios señalados en Escalante y Kohashi (1993) y para maíz, días a emergencia (VE), inicio de floración masculina (R0) y floración femenina (R1) de acuerdo con Ritchie y Hanway (1992).

El forraje se cosechó a los 90 dds (preantesis del FCH, posterior a la floración femenina en maíz), previó a esto se determinó el tamaño del dosel vegetal, para ello se muestrearon

cuatro plantas de cada especie dentro de la parcela útil de cada unidad experimental. Se contabilizó el número de hojas verdes por m<sup>2</sup> (NHV) y con un integrador electrónico (LI-COR 3100) se midió el área foliar (sin incluir peciolo). Se calculó el índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT), a partir de las siguientes ecuaciones:  $IAF = (AF / NP) * DP / 100 \text{ dm}^2$ , donde AF = área foliar (dm<sup>2</sup>), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas por m<sup>2</sup>.  $DAF = (IAF) (T)$ , donde: T = días después de la siembra. También se determinó el índice de verdor (IV) con el medidor de clorofila (Minolta SPAD 502).

Las plantas se separaron en hojas y tallos, se registró el peso fresco (materia fresca total, MFT) y posteriormente se secaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante, para obtener la materia seca de hojas (MSH), tallos (MST) y total (MS).

También se determinó el área específica foliar (AEF) con la ecuación:  $AEF = AF / PH$ , donde: PH = peso seco de hojas y razón de área foliar (RAF) con la ecuación:  $RPF = PH / P$ , donde: P = peso seco total (Escalante y Kohashi, 1993).

Con los datos obtenidos de cada variable, se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2003).

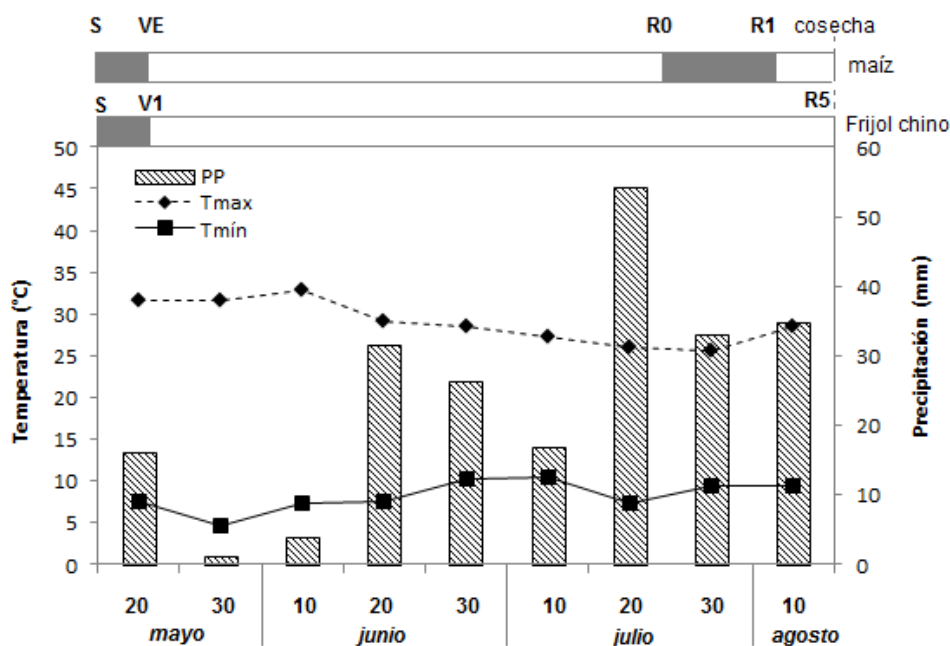
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Clima y fenología**

Durante el ciclo del cultivo las T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> en promedio fueron de 28.7 y 8.3 °C respectivamente. Las T<sub>máx</sub> más elevadas se presentaron de la siembra a las dos primeras decenas de crecimiento del cultivo, en este periodo también ocurrió la T<sub>mín</sub> más baja (6.7 °C). Posteriormente la T<sub>máx</sub> disminuyó, así, en la decena 30 de julio fue de 25.7 °C, que correspondió al periodo entre el inicio de floración masculina (R0) y floración femenina (R1)

en maíz y últimas etapas de crecimiento vegetativo en FCH (Figura 1). De acuerdo con Dugje *et al.* (2009), las temperaturas ocurridas durante el periodo del cultivo fueron menores a las requeridas por el FCH, sin embargo, no obstaculizaron el crecimiento y producción de forraje en esta leguminosa. En cuanto al maíz (criollo regional), estas fueron adecuadas para su cultivo (Ruíz *et al.*, 2002).

La precipitación acumulada de siembra al corte de forraje fue de 218 mm, la mayor incidencia (56 %) ocurrió en las últimas tres decenas del ciclo del cultivo (Figura 1). La cantidad fue adecuada para el FCH, el cual presentó evapotranspiración de 206 mm, mientras que para el maíz, fue ligeramente menor a la evapotranspiración (226 mm), lo cual pudo limitar su producción.



**Figura 1.** Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de la asociación frijol chino-maíz. S = siembra, V1 = emergencia y R5 = prefloración del frijol chino. VE = emergencia, R0 = floración masculina del maíz y R1 = floración femenina del maíz. Montecillo, Méx. Verano de 2012.

La distancia entre hileras (DH) y N no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en las dos especies. Así, en FCH la emergencia se presentó a los 7 días después de la siembra (dds) y a los 90 dds la preantesis (R5), mientras que en maíz, la emergencia ocurrió en tiempo similar al FCH, R0 a los 75 dds y a los 81 dds R1 (Figura 1). Respuesta similar encontró Olalde *et al.* (2000) en girasol, ya que el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas no se afectó por cambios en N y densidad de población. En maíz, similar tiempo de ocurrencia de las etapas fenológicas reportan Ruíz *et al.* (2002) en el híbrido-311, cultivado en varias localidades de Jalisco y Zacatecas en condiciones de lluvia estacional. En relación al FCH, Apáez *et al.* (2011) registraron menor tiempo a ocurrencia de R5 en condiciones de clima cálido, atribuido a las más elevadas temperaturas presentadas en relación al clima templado, que fue donde se estableció el presente estudio.

### **Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar**

El NHV, IAF y DAFT mostraron cambios significativos por efecto de DH, N y la interacción DH \* N para FCH, en maíz solo el NHV no resultó afectado por el N (Cuadro 1). El FCH y maíz con DH40 presentaron el mayor tamaño y duración del dosel vegetal, con el cual el NHV, IAF y DAF a los 90 dds se incrementaron en 88, 80 y 70 % respectivamente para FCH y en 58, 76 y 78 % respectivamente para maíz, en relación a la siembra DH80. Esto puede ser consecuencia de una más elevada densidad de población con DH40 (12.5 pl m<sup>-2</sup>) en relación a DH80 (6.25 pl m<sup>-2</sup>). Se ha encontrado en altas densidades de siembra, que aunque el tamaño y duración del aparato fotosintético por planta se reduce como consecuencia de la competencia por espacio, agua, luz y nutrimentos, pero al considerarlo por superficie este resulta mayor (Jolliffe y Gaye, 1995). Respuestas similares han sido encontradas en girasol (Olalde *et al.*, 2000).

Con N150 en FCH se logró el más alto NHV, IAF y DAF, superiores a N0 en 42, 54 y 55 % respectivamente. Mientras que en maíz, el IAF aumentó en 43 % y en 46 % la DAF, el NHV fue un parámetro que no se modificó y en promedio fue de 40 hojas m<sup>-2</sup> (Cuadro 2). Al respecto, se señala que este nutrimento estimula la producción de ramas en leguminosas, aumenta la expansión de las hojas y retrasa la senescencia foliar, lo que resulta en mayor tamaño y duración del aparato fotosintético (Abayomi *et al.*, 2008).

En relación al efecto combinado, con DH40-N150 se generó el máximo IAF y DAF en FCH y maíz. Mientras que el mayor NHV en FCH se presentó con DH40-N75 y DH40-N150. En maíz, el NHV con DH40 fue superior a DH80 en todos los niveles de N evaluados (Cuadro 2). Resultados similares reportan Amanullah *et al.* (2007) en maíz, quienes con aumento en la densidad de población y dosis de N logran incrementos en el IAF de 19 a 24 %.

En el presente estudio (clima templado), con DH40-N150 se logró en FCH asociado con maíz, un tamaño y duración de dosel vegetal ligeramente superior a lo reportado en clima cálido por Apáez *et al.* (2011). Por lo que el acortamiento en la DH, junto con una adecuada fertilización nitrogenada resultó factible para aumentar el tamaño y duración del dosel vegetal.

### **Índice de verdor**

El IV en FCH y maíz, mostró modificaciones significativas a causa del N e interacción DH \* N, mientras que la DH no afectó esta variable (Cuadro 1).

El N, provocó aumentos en el IV de las dos especies, con N150 se generaron los mayores valores, con aumentos de 85 y 7 % para FCH y maíz respectivamente, con N75 este parámetro se incrementó en 57 y 3 % respectivamente en relación a N0. Con DH40-N150 y DH80-N150 se tuvieron los más altos IV, en promedio fueron de 33.7 (lecturas SPAD) para FCH y 63.6 en maíz, mientras que con N0 en las dos DH se registró en promedio 18.1 para FCH y 59.6 para



maíz (Cuadro 2). Al respecto, se ha encontrado que el IV está estrechamente relacionado con el contenido de N foliar y clorofila, molécula involucrada en el proceso de fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992). En este sentido, González-Torres *et al.* (2009) en genotipos de maíces forrajeros encontraron aumentos en el IV con niveles crecientes de N, con aplicación de N200 registraron valores máximos de 57, el cual fue inferior a lo encontrado en el presente estudio aun y con N0, lo cual puede relacionarse con diferencias en genotipos utilizados y condiciones ambientales (Martha *et al.*, 2004).

**Cuadro 1. Análisis de varianza del número de hojas verdes, índice de área foliar, duración del área foliar e índice de verdor del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

Factor	Frijol chino				Maíz			
	NHV	IAF	DAF	IV	NH	IAF	DAF	IV
DH	**	**	**	NS	**	**	**	NS
N	**	**	**	**	NS	**	**	*
DH * N	**	**	**	**	**	**	**	*

\*. \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. NHV = número de hojas verdes, IAF = índice de área foliar, DAF = duración del área foliar, IV = índice de verdor.

En FCH son escasas las referencias sobre IV adecuados, sin embargo por los bajos valores registrado con N0, puede deducirse que estas plantas presentaron síntomas de deficiencias de N, lo cual pudo afectar la producción de biomasa.

**Cuadro 2. Número de hojas verdes, índice de área foliar, duración del área foliar e índice de verdor del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

DH	N	Frijol chino				Maíz			
		NHV	IAF	DAF	IV	NH	IAF	DAFT	IV
cm	kg ha <sup>-1</sup>	No. m <sup>-2</sup>	-	días	Lec. SPAD	No. m <sup>-2</sup>	-	días	Lec. SPAD
	0	86d <sup>¶</sup>	0.49e	39e	16.0d	29b	1.6d	130d	60.6ab
80	75	109cd	0.68d	54d	25.3bc	30b	2.1c	166c	61.2ab
	150	129c	0.79cd	64cd	33.1a	33b	2.5bc	199bc	64.3a
40	0	165b	0.92c	73c	20.3cd	49a	2.9b	232b	58.6b
	75	217a	1.21b	97b	31.7ab	48a	4.0a	322a	61.3ab
	150	229a	1.37a	109a	34.3a	49a	4.1a	331a	63.0a
Media general		155.9	0.90	72.9	26.8	39.7	2.9	230	61.5
DH	80	108b	0.65b	52b	24.8a	31b	2.1b	165b	62.0a
	40	203a	1.17a	93a	28.8a	49a	3.7a	295a	60.9a
	0	126c	0.70c	56c	18.2c	39a	2.3c	181c	59.6b
N	75	163b	0.95b	76b	28.5b	39a	3.0b	244b	61.2ab
	150	179a	1.08a	87a	33.7a	41a	3.3a	265a	63.6a
	DH	10.9	0.15	11.7	5.9	2.3	0.34	27.0	4.3
DSH <sub>0.05</sub>	N	16.2	0.10	7.7	3.6	3.4	0.22	18.0	2.4
	DH * N	26.9	0.08	6.4	7.2	6.0	0.43	35.0	5.0
CV		7.5	7.0	7.0	10.1	8.0	6.6	8.4	6.1

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error, CV = coeficiente de variación. NHV = número de hojas verdes, IAF = índice de área foliar, DAF = duración del área foliar, IV = índice de verdor.

### Rendimiento de forraje y razón de peso foliar

La materia seca en hoja (MSH), materia seca en tallo (MST) y materia seca total (MS) en FCH y maíz, mostraron modificaciones significativas por efecto de DH, N e interacción DH \* N. La razón de peso foliar (RPF) no presentó variaciones a causa de los tratamientos (Cuadro 3 y Figura 2).

Con la siembra DH40, el FCH aumentó en 94 % la MST y 92 % la MSH, mientras que en maíz estos fueron de 90 y 77% respectivamente en relación a DH80.

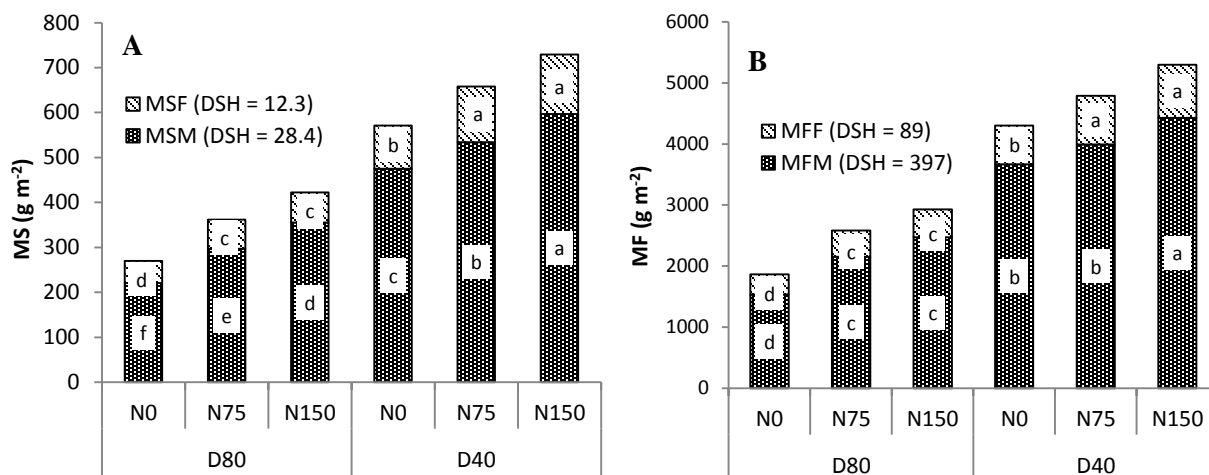
La aplicación de N mejoró la producción de MS, el mayor efecto se logró con N150, con el cual el FCH produjo 40 y 38 % más de MST y MSH, mientras que con N75, los incrementos fueron de 33 y 28 %, respecto a N0. En maíz, con N150 la MST y MSH mejoró en 37 y 36 % respectivamente (Cuadro 4).

En cuanto al efecto combinado, en las dos especies, con DH40-N75 y DH40-N150 se presentó la mayor producción de MST, MSH y MS, 94, 96 y 95 %, superior a lo logrado con DH80-N75 y DH80-N150. Con DH40-N75 la MS de las dos especies fue de 658 g m<sup>-2</sup>, equivalentes a 4791 g m<sup>-2</sup> de materia fresca (MF), mientras que con DH40-N150 la MS fue de 729 g m<sup>-2</sup> y de 5298 g m<sup>-2</sup> la MF. El FCH representó el 21 % de la producción total de MS, mientras que en términos de MF esta proporción fue de 16 %, debido a que el contenido de agua fue de 85 %, mientras que en maíz el agua constituyó el 86 % del forraje (Cuadro 4 y Figura 2).

La mayor producción de MS y MF con el acortamiento de la DH y aplicación de N se atribuye a incrementos en el tamaño (NHV, IAF) y duración (DAF) del dosel vegetal, así como mayor concentración de clorofila medida a través del IV. Con lo cual, puede aumentar la radiación interceptada, que resulta en mayor actividad fotosintética y acumulación de materia seca (Abayomi *et al.*, 2008).

En condiciones de clima cálido, rendimientos similares reportan Dahmardeh *et al.* (2009), quienes con riego en Irán, en la asociación FCH-maíz obtienen 4390 g m<sup>-2</sup> de MF, en este caso el FCH representa el 30 % del total del forraje. Por su parte, Rao y Mohammed (2011) en condiciones de Emiratos Árabes Unidos con riego, lograron producir 1810 g m<sup>-2</sup> de MS y 7780 g m<sup>-2</sup> de MF. Mientras que Ibrahim *et al.* (2006) registran rendimiento de MS de 400 g

m<sup>-2</sup> y MF de 2260 g m<sup>-2</sup>. Como puede observarse, existen diferencias en la producción de forraje de esta asociación, como consecuencia de variación en las condiciones ambientales, genotipos y manejo, sin embargo, con acortamiento en la DH y fertilización nitrogenada en el presente estudio se logró producción de forraje similar a lo obtenido en condiciones cálidas.



**Figura 2. Materia seca (MTS, A) y fresca total (MFT, B) del frijol chino y maíz en asociación en función la distancia entre hileras y nitrógeno. MSF = materia seca del frijol chino, MSM = materia seca del maíz, MFF = materia seca del frijol chino, MFM = materia fresca del maíz, D80 y D40 = distancia entre hileras de 80 y 40 cm, N0, N75 y N150 = 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

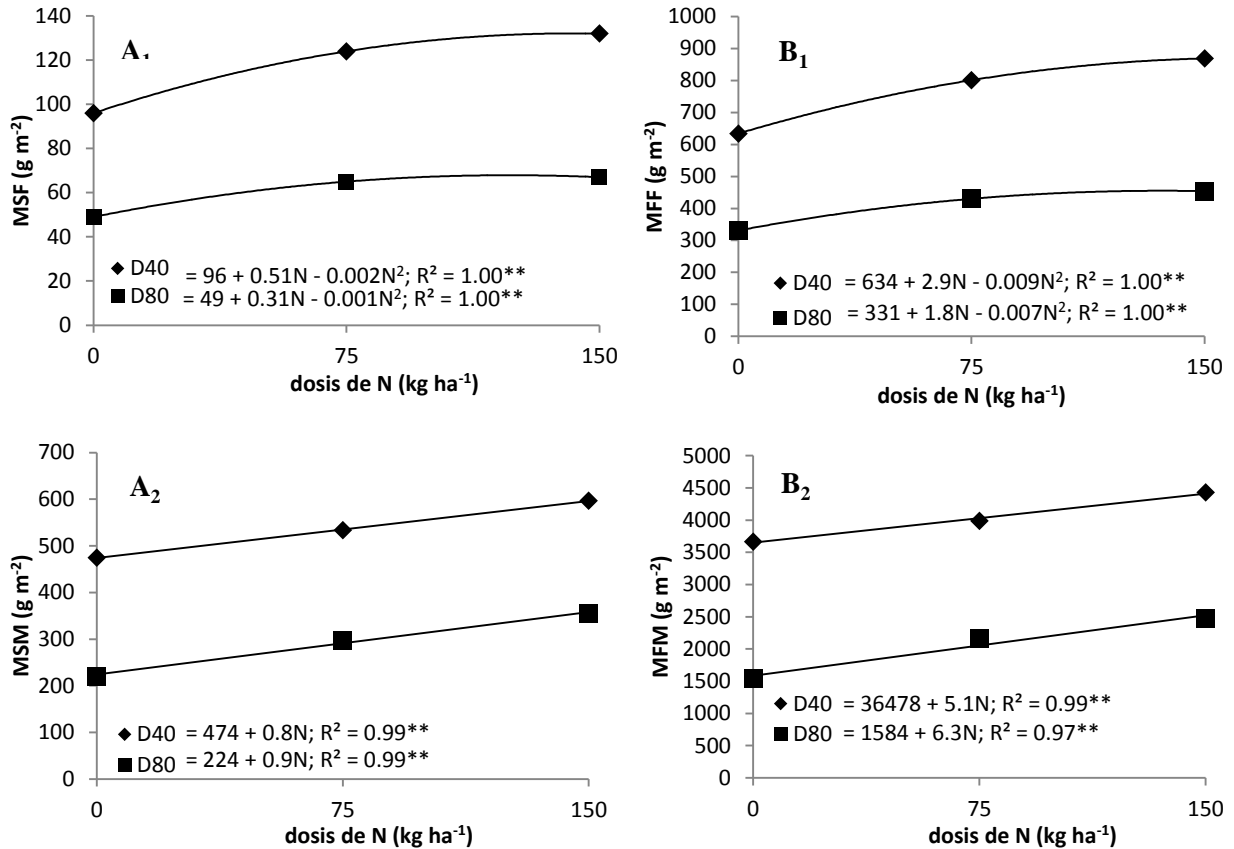
En los forrajes, es importante buscar incrementar la razón de peso foliar (RPF) debido a que las hojas presentan la mayor calidad forrajera y digestibilidad (Ayan *et al.*, 2012). En el presente estudio en promedio la RPF fue de 0.42 en FCH y 0.43 en maíz, es decir, en la leguminosa las hojas conformaron el 42 % de la producción total de MS y el 43 % en maíz. En este sentido, Díaz *et al.* (2002) en FCH en unicultivo reportan RPF en rangos de 0.41 a 0.43, similar a lo encontrado en este trabajo.

**Cuadro 3. Análisis de varianza del peso seco de tallos y hojas, área específica foliar y razón de peso foliar del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

DH	N	Frijol chino				Maíz			
		MST	MSH	AEF	RPF	MST	MSH	AEF	RPF
	kg ha <sup>-1</sup>	g m <sup>-2</sup>	dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	-	g m <sup>-2</sup>	dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	-		
	DH	**	**	NS	NS	**	**	NS	NS
Prob F	N	**	**	*	NS	**	**	NS	NS
	DH * N	**	**	*	NS	**	**	NS	NS

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. PST = peso seco de tallos, PSH = peso seco de hojas, AEF = área específica foliar, RPF = razón de peso foliar.

La producción de MS y MF del FCH en función de la DH \* N se ajustó a modelos de regresión cuadrática, en maíz el ajuste fue lineal (Figura 3). En FCH con DH40 la respuesta al N fue más alta, con producción de  $0.51 \text{ g m}^{-2}$  de MS y  $2.9 \text{ g m}^{-2}$  de MF por kg de N. Respuesta similar ha sido reportada en frijol común por Escalante y Rodríguez (2009). En maíz, DH80 presentó mayor respuesta al N, con producción de  $0.9 \text{ g m}^{-2}$  de MS y  $6.3 \text{ g m}^{-2}$  de MF por kg de N. La menor respuesta al N con DH40 en maíz, se puede atribuir a su metabolismo C4, donde el sombreado provocado por la alta densidad de siembra reduce la intensidad luminosa y la actividad fotosintética. En tanto que el FCH con metabolismo C3 ocurre lo contrario, ya que al presentar punto de fotosaturación a mayor exposición solar en densidad de siembra baja (DH80) se afecta su actividad fotosintética (Pastenes *et al.*, 2004), por lo que la mayor respuesta ocurre en DH40.



**Figura 3. Materia seca del frijol chino (MSF, A<sub>1</sub>) y maíz (MSM, A<sub>2</sub>), materia fresca del frijol chino (MFF, B<sub>1</sub>) y maíz (MFM, B<sub>2</sub>) en función de la distancia entre hileras y nitrógeno. D80 y D40= distancia entre hileras de 80 y 40 cm, N0, N75 y N150 = 0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

### Área específica foliar

El AEF en FCH mostró variación a causa del N e interacción DH \* N. En maíz, este parámetro no fue modificado por los tratamientos (Cuadro 3).

El aumento en la cantidad de N aplicado provocó incremento en el AEF del FCH, se ha encontrado que el N aumenta el tamaño celular de las hojas, lo cual disminuye su densidad y lignificación, es mayor el contenido de humedad y N, son más apetecibles por el ganado, digeribles y con mejor calidad nutritiva (Castro *et al.*, 2000). En este estudio, los mayores valores ocurrieron con N150, seguido de N75, con los cuales la leguminosa presentó 4 y 14 %

más de AEF en relación a N0 (Cuadro 4). Respuesta similar han sido reportadas en pastos perenes por Knops y Reinhart (2000), en contraste, Amanullah *et al.* (2007) en maíz tampoco encuentran efecto del N y DH en el AEF, lo cual puede atribuirse a diferencias en grados de plasticidad de cada especie.

**Cuadro 4. Peso seco de tallos y hojas, área específica foliar y razón de peso foliar del frijol chino y maíz en asociación en función de la distancia entre hileras (DH) y nitrógeno (N). Montecillo, Méx. Verano de 2012.**

DH	N	Frijol chino				Maíz			
		PST	PSH	AEF	RPF	PST	PSH	AEF	RPF
cm	kg ha <sup>-1</sup>	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	-	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	-
	0	27d <sup>¶</sup>	22d	2.25b	0.42a	118e	104e	1.57a	0.44a
80	75	37c	28cd	2.40ab	0.42a	167d	130d	1.60a	0.44a
	150	37c	29c	2.72a	0.40a	293c	151c	1.64a	0.43a
40	0	54b	42b	2.25b	0.42a	285b	191b	1.51a	0.40a
	75	70a	54a	2.20b	0.40a	293b	240a	1.68a	0.45a
	150	74a	58a	2.35ab	0.42a	348a	249a	1.66a	0.42a
Media general		49.8	39.1	2.4	0.42	235.7	177.5	1.61	0.43a
DH	80	34b	27b	2.5a	0.41a	163b	128b	1.60a	0.43a
	40	66a	52a	2.3a	0.42a	309a	227a	1.62a	0.42a
	0	40b	32b	2.22b	0.42a	201c	147c	1.54a	0.42a
N	75	53a	41a	2.31ab	0.41a	230b	185b	1.64a	0.44a
	150	56a	44a	2.54a	0.42a	276a	200a	1.65a	0.42a
	DH	3.1	2.2	0.47	0.1	12.2	9.9	0.20	0.02
DSH <sub>0.05</sub>	N	4.6	3.2	0.30	0.04	18	14.7	0.12	0.04
	DH * N	6.8	6.8	0.20	0.06	25	20.7	0.25	0.06
	CV	9.9	12.6	8.7	9.4	9.6	9.1	11.7	9.4

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error, CV = coeficiente de variación. PST = peso seco de tallos, PSH = peso seco de hojas, AEF = área específica foliar, RPF = razón de peso foliar.

El análisis de la interacción DH \* N mostró que con DH80-N75, DH80-N150 y DH40-N150 se generó la mayor AEF en FCH, con incrementos de 6, 20 y 4 % respectivamente en relación a DH40-N0 y DH80-N0 (Cuadro 4).

En cuanto al maíz, en promedio presentó 1.16 dm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> de AEF, valores similares son reportado en maíz forrajero en unicultivo cultivado en Pakistán (Amanullah *et al.*, 2007).

## CONCLUSIONES

La distancia entre hileras y nitrógeno modifican el tamaño y duración del aparato fotosintético y producción de forraje en frijol chino y maíz, sin embargo, la razón de peso foliar no es afectada. El nitrógeno aumenta el índice de verdor en las dos especies y en frijol chino incrementa el área específica foliar. La mayor producción de forraje seco y fresco se logra con DH40-N150, producto de un mayor número de hojas, índice de área foliar, duración del área foliar e índice de verdor. En clima templado, con el acortamiento de la distancia entre hileras y aplicación de nitrógeno se obtiene producción de forraje de las dos especies ligeramente superior a lo reportado en condiciones de clima cálido.

## LITERATURA CITADA

- Abayomi, Y. A., T. V. Ajibade, O. F. Sammuell and B. F. Sa'adudeen. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7(2): 170-176.
- Amanullah, M. J. Hassan, K. Nawab and A. Ali. 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ration of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Sciences Journal* 2(3): 235-243.



- Apáez, B. P., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. y M. Apáez B. 2010. Biomasa y rendimiento de frijol chino en función del tipo de espaldera. Investigación en Agronomía y Ciencias Básicas y sus Aplicaciones: Biología y Química. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. pp: 125-134.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E. and M. T. Rodríguez G. 2011. Growth and yield of cowpea bean in relation with trellises types and climate. *Trop. Subtrop. Agroec.* 13(3): 307-315.
- Ayan, I., H. Mut, U. Basaran, Z. Acar and O. O. Asci. 2012. Forage potential of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Turkish Journal of Field Crops* 17(2): 135-138.
- Castro-Díez, P., J. P. Puyravaud and J. H. C. Cornelissen. 2000. Leaf structure and anatomy as related to leaf mass per area variation in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecol.* 124: 476-486.
- Dahmardeh, M., A. Ghanbari, B. Sayasar and M. Ramroudi. 2009. Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on green forage yield and quality evaluation. *Asian J. Plant Sci.* 8(3): 235-239.
- Díaz, M. F., C. Padilla, A. González y F. Curbelo. 2002. Caracterización bromatológica de grano y forrajes en variedades de *Vigna unguiculata* de maduración no agrupada. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 36(2): 193-200.
- Dugje, I. Y., L. O. Omoigui, F. Ekeleme, A. Y. Kamara and H. Ajeigbe. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.
- Escalante, E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 12: 28-32.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.

- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2009. Rendimiento, eficiencia agronómica, extracción de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y prácticas agrícolas. Agricultura Sostenible. Universidad Autónoma de Chiapas. Vol. 6.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México.
- García, M., P. Herrera, B. Birbe, O. Colmenares y N. Martínez. 2002. Efecto de dos densidades de siembra y cinco edades de cosecha sobre el rendimiento y la calidad del heno de follaje de frijol bayo (*Vigna Unguiculata* (L) Walp.). *Revista científica* 12(2): 584-586.
- González-Torres, A., U. Figueroa-Viramontes, J. A. Delgado, G. Núñez-Hernández, J. A. Cueto-Wong, P. Preciado-Rangel y A. Palomo-Gil. 2009. Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra* 27: 303-309.
- Ibrahim, M., M. Rafiq, A. Sultan, M. Akram and M. A. Goheer 2006. Green fodder yield and quality evaluation of maize and cowpea sown alone and in combination. *J. Agric. Res.* 44: 15-21.
- Jolliffe, P. A. and M. M. Gaye. 1995. Dynamic of growth and yield components of bell pepper (*Capsicum annum* L.) to row cover and population density. *Scientia Hort.* 62: 153-164.
- Martha, G. B., M. Corsi, P. C. O. Trivelin and M. C. Alves. 2004. Nitrogen recovery and loss in fertilized grass pasture. *Grass and forage Science* 59: 80-84.
- Knops, M. J. and K. Reinhart. 2000. Specific leaf area along a nitrogen fertilization gradient. *Am. Midl. Nat.* 144: 265-272.
- Lee, J. H. and E. Heuvelink. 2003. Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut *Crysanthemum*. *Ann Bot.* 91: 319-327.

- Pastenes, C., V. Porter, C. Baginsky, P. Horton and J. González. 2004. Paraheliotropism can protect water-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants against photoinhibition. *J. Plant Physiol.* 161: 1315–1323.
- Rao, N. K. and S. Mohammed. 2011. Potential of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) as alternative forage legumes for the United Arab Emirates. *Emir. J. Food Agric.* 23(2): 147-156.
- Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1992. How a corn plant develops. Special report No. 48. Ames, IA, USA, Iowa State University.
- Ruíz, C. J. A., H. E. Flores L., J. L. Ramírez D. y D. R. González E. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencias* 36(5): 569-577.
- Olalde, G. V. M., J. A. Escalante E., P. Sánchez G., L. Tijerina C., A. A. Mastache L. y E. Carreño R. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18(4): 313-323.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamericana. México, D.F. 523 p.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2003. SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.

**CAPÍTULO V**

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FRIJOL CHINO EN  
ESPALDERA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE HILERAS Y  
FERTILIZACIÓN**

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FRIJOL CHINO EN  
ESPALDERA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE HILERAS Y  
FERTILIZACIÓN**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

**RESUMEN**

El frijol chino (FCH) es rico en proteínas y carbohidratos, de importancia en la alimentación humana. Actualmente su cultivo se ve limitado por falta de recomendaciones sobre distanciamiento entre hileras (D) y fertilización. En este sentido, la biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF) pueden complementar la nutrición y reducir la fertilización inorgánica. Los objetivos fueron evaluar el efecto de D, BIO y FF sobre los días a ocurrencia de etapas fenológicas, tamaño e índice de verdor del dosel vegetal, rendimiento de grano, calidad nutrimental e ingreso neto. Bajo condiciones de lluvia estacional en Huitzucó, Gro., México, se sembró FCH de crecimiento indeterminado en espaldera de maíz a 0.8 (D8) y 1.6 m (D16) de D, con y sin BIO (CB y SB respectivamente) y con y sin FF (F y NF respectivamente). En D16 se intercaló frijol común. Durante el estudio las temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre 29 a 36.5 °C y 15.5 a 20 °C respectivamente, con precipitación pluvial de 987 mm. La ocurrencia de las etapas fenológicas fue similar entre tratamientos, así, la emergencia ocurrió 6 días después de la siembra (dds), la floración a los 58 dds y a los 135 dds la madurez fisiológica. Con D8-CB-F se presentó el mayor rendimiento de grano (141 g m<sup>-2</sup>), resultado de un mayor número de hojas verdes, ramas, índice de área

foliar e índice de verdor. Con FF y BIO se incrementó la concentración de proteínas y disminuyeron fibras y carbohidratos. El mayor ingreso neto se generó con D16-CB-F.

**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, fenología, índice de área foliar, ingreso neto.

## **PRODUCTION AND NUTRIENT QUALITY OF COWPEA IN MAIZE TRELLIS BASED ON DISTANCE BETWEEN ROWS AND FERTILIZATION**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

Cowpea is rich in proteins and carbohydrates, importance as human food. Currently its cultivation is limited by lack of distance between rows (D) and fertilization recommendations. In this sense, biofertilization (BIO) and foliar fertilization (FF) can supplement nutrition and reduce the inorganic fertilizer. The objectives were to assess the effect of the D, BIO and FF on the day at occurrence of phenological stages, the size and greenness index of the plant canopy, grain yield, nutrient quality and net income. Under conditions of seasonal rainfall in Huitzuco, Gro., Mexico was sown cowpea of indeterminate growth in maize trellis in June 2012 to 0.8 m (D8) and 1.6 m (D16) of D, with and without BIO (CB and SB respectively) and with and without FF (NF and F respectively). In D16 common bean also sowed. During the development of the crop the maximum and minimum temperature ranged from 29 to 36.5 °C and 15.5 to 20 °C respectively, with rainfall of 987 mm. The occurrence of the cowpea phenological stages was similar among treatments, so the emergency arose at 6 days after

sowing (DAS), start of flowering 58 DAS and the physiological maturity 135 DAS. With D8-CB-F presented higher grain yield (141 g m<sup>-2</sup>), result of a greater number of green leaves, branches, leaf area index and index of greenness. With FF and BIO protein concentration increased and decreased carbohydrates and fibers. The largest net income was generated with D16-CB-F, which is production of common bean grain.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, phenology, leaf area index, net income.

## INTRODUCCIÓN

El uso de cultivos asociados se practica desde la antigüedad por las ventajas que ofrece como: aumento en diversidad de productos cosechados, mayor eficiencia en el uso de recursos (agua, luz, nutrientes, etc.) y complementación entre las especies componentes del sistema. En este sentido, el frijol chino (FCH, *Vigna unguiculata* (L.) Walp) de crecimiento indeterminado, su cultivo en espaldera viva de maíz reduce los costos de producción en comparación con la espaldera convencional (postes de madera y malla plástica) (Apáez *et al.*, 2013). Estos cultivos junto con el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), son importantes en la alimentación humana; el maíz es la principal fuente de carbohidratos en la dieta de los mexicanos, mientras que el FCH es importante por presentar alto contenido de proteínas (26 %), carbohidratos (63 %), fibra, vitaminas, minerales y bajo en sustancias antinutricionales (Ajeigbe *et al.*, 2008).

En el sistema de producción FCH en espaldera viva de maíz, la siembra comúnmente se hace a distancias entre hileras de 0.8 m (Dugje *et al.*, 2009), la cual podría ser inapropiada debido al gran tamaño del dosel vegetal de la leguminosa (Apáez *et al.*, 2013). Por lo que se debe determinar un distanciamiento más apropiado. Al respecto, en haba (*Vicia faba* L.) se

encontró que el aumento en la distancia entre hileras mejora el rendimiento de grano (RG) por planta (Bakry *et al.*, 2011), mientras que en frijol común, aumenta el RG por unidad de superficie (Russo, 2006). Sin embargo, variaciones en el arreglo topológico puede modificar el tiempo a ocurrencia de etapas fenológicas (Abubaker, 2008).

Actualmente en este y en otros sistemas de producción se aplican grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos, los cuales además de resultar caros, también presentan baja eficiencia; consecuencia de procesos de fijación, inmovilización y volatilización. El abuso en su uso provoca daños ecológico (Fregoni, 1986). Por lo que es conveniente reducir su uso y complementar la nutrición de la planta mediante otras alternativas. En este sentido, la fertilización foliar es un medio de suministro de macro y micronutrientes vía foliar, mediante la cual se puede aumentar la efectividad de cada unidad de nutriente aplicado y mejorar el desempeño productivo de los cultivos (Grey, 1977).

Otra alternativa es el uso de biofertilizantes, estos son grupos de inoculantes a base de microorganismos del suelo que se asocian directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, favorecen la nutrición y modifican su desarrollo (Irizar *et al.*, 2003). La simbiosis *V. unguiculata* – *Rhizobium* constituye un sistema de fijación biológica de nitrógeno de mediana eficiencia, por lo que el uso de cepas nativas de *Rhizobium* inoculadas artificialmente representan la posibilidad de lograr aumentar la fertilización biológica (Rodríguez y López, 2009). Irizar *et al.* (2003) encontraron en frijol común (flor de mayo) que con la aplicación de *Rhizobium etli* + *Glomus intraradices* el RG aumentó en 28 % respecto al testigo.

Este tipo de tecnologías, además de conservar el ambiente pueden mejorar la calidad nutricional, al aumentar la concentración de proteínas y bajar el contenido de fibras (Dekhane *et al.*, 2011; Galal *et al.*, 2010; Kozera *et al.*, 2013). También incrementan la rentabilidad económica (Mejía *et al.*, 2011).



Se ha encontrado en cultivos como frijol común y FCH en unicultivo que un suministro apropiado de nutrimentos incrementa el número de hojas, ramas, índice de área foliar e índice de verdor. Este último medido a través de lecturas SPAD (medida indirecta de la clorofila). Existen evidencias de la relación positiva entre el tamaño del dosel vegetal, índice de verdor y el rendimiento en varios cultivos (Trejo-Tellez *et al.*, 2003; Arya y Buch, 2013).

Los estudios sobre la producción y calidad de la misma en FCH con espaldera viva de maíz son escasos. Así, los objetivos de la presente investigación fueron evaluar el efecto de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar sobre: a) los días a ocurrencia de las etapas fenológicas, el tamaño del dosel vegetal, índice de verdor, rendimiento y calidad nutricional de grano del FCH, y b) determinar el efecto de estos factores sobre el ingreso neto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció bajo condiciones de lluvia estacional en Huitzuco, Gro., (clima cálido, 18° 15'N; 99° 12'O y 1154 m de altitud). El suelo es de textura arcillosa, pH de 7.4, nivel inicial de N de 0.11 % y 14 ppm de P.

Los tratamientos consistieron en la siembra de FCH en espaldera viva de maíz el 17 de junio de 2012 a 0.8 m (D8) y 1.6 m (D16) de distancia entre hileras y 0.5 m entre matas (una planta de cada especie por mata), con y sin biofertilización (CB y SB respectivamente) y con y sin fertilización foliar (F y NF respectivamente). La combinación generó ocho tratamientos. En la siembra D16 se intercaló frijol común (cv. Peruano) de crecimiento determinado. El biofertilizante (*Glomus intraradices* + *Rhizobium etli*), se inoculó a la semilla de las tres especies de acuerdo al tratamiento. Para lo cual se mezclaron 2 kg de semilla con adherente (13 g de carboximetilcelulosa disuelto en 0.15 L de agua), se dejó reposar durante dos horas, después se aplicaron 38 g de Rhizo Fer (*R. etli*, 500 millones g<sup>-1</sup>) y 0.1 kg de Micorriza Fer (*G.*

*intraradices*, 30000 esporas  $\text{kg}^{-1}$ ), se dejó reposar a la sombra por 12 horas antes de la siembra. A partir de los 30 días después de la siembra (dds) se aplicó cada 15 días fertilización foliar con una mezcla de macronutrientes, micronutrientes, fitohormonas y ácido húmico a dosis de 2 a 3 L  $\text{ha}^{-1}$ . En total fueron seis aplicaciones.

El diseño experimental fue bloques completos al azar en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La fertilización al suelo fue con 50 y 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de N y  $\text{P}_2\text{O}_5$  respectivamente. Se aplicó todo el  $\text{P}_2\text{O}_5$  y la mitad de N a los 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima ( $T_{\text{máx.}}$ , °C), mínima ( $T_{\text{mín.}}$ , °C) y precipitación diaria (PP, mm). Así como el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en FHC, estas fueron: días a emergencia (E), a inicio de antesis (R6) y madurez fisiológica (R9) de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993).

A los 80 dds se contabilizó por  $\text{m}^2$  en FCH, el número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF), duración del área foliar e índice de verdor (IV) mediante lecturas SPAD. A madurez fisiológica se evaluó el rendimiento de grano del FCH, maíz y frijol común.

La calidad nutricional del grano de FCH (minerales, carbohidratos solubles, proteínas, grasas, fibra bruta, fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), hemicelulosa, lignina y sílice, todas en %) se determinó mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979). Previamente las muestras fueron trituradas en un molino eléctrico (Janke and Kunkel Inka Modelo Kb 5/10®, Germany) con criba de 50  $\mu\text{m}$ .

Con los datos obtenidos de cada variable se hizo un análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2003).

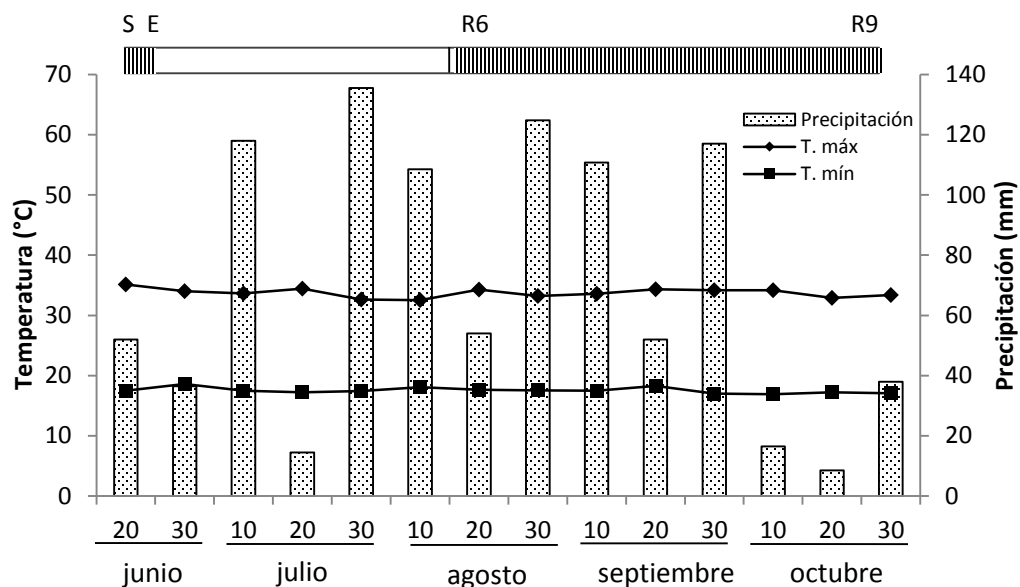
Al RG del FCH, maíz y frijol común se aplicó un análisis económico para determinar el ingreso neto, mediante la ecuación:  $IN = YPy - (\sum XiPi + CF)$ , donde IN = ingreso neto, Y = rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ ), Py = precio por kilogramo de grano,  $\sum XiPi$  = suma de costos variables, CF = costo fijo (Volke, 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clima y fenología

En la Figura 1, que presenta la temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), temperatura mínima (T<sub>mín</sub>) (media decenal) y precipitación estaciona (suma decenal), se observa que durante el ciclo de cultivo la T<sub>máx</sub> osciló entre 29 y 36.5 °C y T<sub>mín</sub> entre 15.5 a 20 °C. La T<sub>máx</sub> más elevada ocurrió en la primera decena después de la emergencia (E), mientras que la T<sub>mín</sub> más baja se presentó en la decena 12 (primera decena de octubre). La precipitación total acumulada de siembra (S) a madurez fisiológica (R9) fue de 987 mm, de la cual, 467 mm (47 %) ocurrieron de S a inicio de floración (R6). De acuerdo con Dugje *et al.* (2009), tanto las temperaturas como la precipitación fueron apropiadas para el cultivo de esta leguminosa.

Los días a ocurrencia de las etapas fenológicas no se modificaron por efecto de los tratamientos. Así, la E se presentó a los 6 días después de la siembra (dds), R6 a los 58 dds y a los 135 dds R9. Esto concuerda con lo reportado por Escalante y Rodríguez (2011), quienes en haba no encontraron efecto por las prácticas de manejo como densidad de población y fertilización. Sin embargo, en frijol común se reporta incremento de seis días en el ciclo del cultivo por aumento en la distancia entre hileras (Abubaker, 2008). Por lo que la respuesta puede variar de acuerdo a la especie.



**Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo del cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz y ocurrencia de las etapas fenológicas del frijol chino. S = siembra, E = emergencia, R6 = inicio de floración y R9 = madurez fisiológica. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

### Número de hojas, ramas, índice de área foliar e índice de verdor

La distancia entre hileras (D) provocó cambios significativos en el NR e IAF, la biofertilización (BIO) en el IAF e IV. El NHV, NR, IAF e IV se modificaron significativamente por efecto de la fertilización foliar (FF) e interacción D \* BIO \* FF, mientras que la interacción D \* FF modificó el NHV (Cuadro 1).

Con D8-CB-F se incrementó en 30, 21, 40 y 32 % respectivamente, el NHV, NR, IAF e IV en relación a D8-SB-NF. Aunque con D16 el tamaño del dosel vegetal fue menor que con D8, la aplicación de BIO y FF también aumentó el tamaño e IV del dosel vegetal del FCH (Cuadro 2).

**Cuadro 1. Análisis de varianza del número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF), índice de verdor (IV) y rendimiento de grano (RG) del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.**

Factor	NHV	NR	IAF	IV	RG
D	NS	**	**	NS	*
BIO	NS	NS	*	**	*
FF	**	**	**	**	**
D*BIO	NS	NS	NS	NS	*
D*FF	*	NS	NS	NS	NS
BIO*FF	NS	NS	NS	NS	NS
D*BIO*FF	**	**	**	**	**

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilizante foliar.

El mayor tamaño del dosel vegetal en siembra D8 puede ser consecuencia de una más elevada densidad de población. Aunque el tamaño y duración del aparato fotosintético por planta se reduce en altas densidades de siembra, como consecuencia de la competencia por espacio, agua, luz y nutrimentos, pero al considerarlo por superficie este resulta mayor (Jolliffe y Gaye, 1995). Además, con la incorporación de nutrimentos a través del follaje y la actividad biológica de las bacterias y hongos inoculados, favorecieron el contenido de clorofilas y la absorción de N, evaluadas indirectamente con el SPAD, lo cual generó un mayor tamaño del dosel vegetal. Estos resultados son similares a los encontrados en frijol común por Trejo-Téllez *et al.* (2003).

**Cuadro 2. Número de hojas verdes (NHV), ramas (NR), índice de área foliar (IAF) y de verdor (IV) a los 80 días después de la siembra en frijol chino con espaldera viva de maíz, en función de la distancia entre hileras (D), biofertilizante (BIO) y fertilización foliar (FF). Huitzuco, Gro. Verano de 2012.**

D	BIO	FF	NHV	NR	IAF	IV
			---- No. m <sup>-2</sup> ----		-	Lecturas SPAD
0.8 m	CB	F	116 a <sup>¶</sup>	15.2 a	1.0 a	53 a
		NF	96 ab	12.5 ab	0.8 bc	42 cd
	SB	F	108 a	13.8 ab	0.9 ab	49 ab
		NF	81b c	12.0 bc	0.6 cd	36 e
1.6 m	CB	F	77 bc	9.8 cd	0.6 d	53 a
		NF	66 c	7.8 e	0.4 de	45 bc
	SB	F	77 c	9.6 de	0.5 de	51 a
		NF	66 c	7.9 e	0.4 e	40 de
Media general			85	11.1	0.66	46.2
Prob. F (DSH <sub>0.05</sub> )			23	3	0.19	4.8
CV			11.4	11.0	12.2	4.3

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta, CV = coeficiente de variación. CB = con biofertilizante, SB = sin biofertilizante, F = con fertilización foliar y NF = sin fertilización foliar.

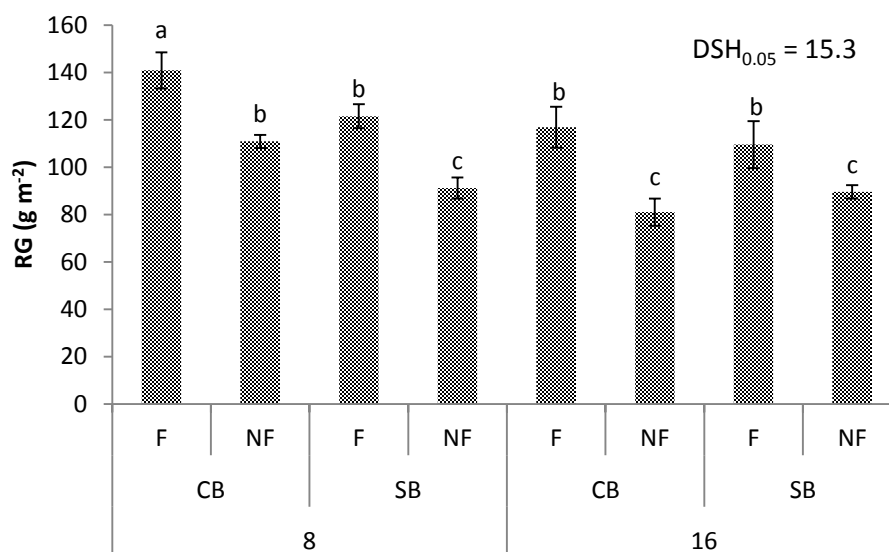
### Rendimiento de grano

El rendimiento de grano (RG) presentó cambios significativos por efecto de D, BIO, FF y por las interacciones D \* BIO y D \* BIO \* FF (Cuadro 1).

El mayor RG se logró con D8-CB-F, seguido de D8-SB-F, los cuales permitieron aumentar en 54 y 31 % el RG en relación a D8-SB-NF. Con D16-CB-F y D16-SB-F el RG se incrementó en 30 y 22 % respecto a D16-SB-NF (Figura 2).

El mayor RG con D8 se atribuye a que la densidad de población es el doble que con D16, con lo cual se logra un mejor aprovechamiento del agua por la planta, esto es importante bajo

condiciones de lluvia estacional en donde este recurso es limitante. Además, con alta densidad es más eficiente el uso de nutrientes del suelo y radiación solar (García *et al.*, 2002). Resultados similares son encontrados en frijol común, el cual aumentó en 58 % el RG al cultivarlo a distancia entre hileras de 30 cm en relación a 60 cm. Sin embargo, por planta fue 15 % menor (Abubaker, 2008). Mientras que el haba aumenta su producción 22 % a 20 cm de distancia entre hileras respecto a 40 cm, pero por planta se reduce 63 % (Bakry, 2011).



**Figura 2. Rendimiento de grano (RG) del frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. D8 = distancia entre hilera de 0.8 m, D16 = distancia entre hilera de 1.6 m, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar.  $DSH_{0.05}$  = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

El efecto positivo de FF y BIO puede relacionarse en parte al bajo nivel inicial de N-inorgánico (0.11 %) y P (14 ppm) en el suelo, además solo se aplicaron 50 y 50 kg ha<sup>-1</sup> de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente. Por lo que al suministrar fertilización foliar se adicionaron nutrientes a través del dosel y con el biofertilizante (*R. etli* y *G. intraradices*) N atmosférico. También se

pudo haber incrementado el área radical y en consecuencia la absorción de agua y nutrimentos de la solución del suelo (Hernández, 2008). Esto provocó mayor tamaño del dosel vegetal medido a través del NHV e IAF y contenido de clorofila (IV), que de acuerdo con Apáez *et al.* (2014) pudo permitir incrementar la intercepción de radiación solar, actividad fotosintética y en consecuencia un RG más elevado. Respuestas similares son encontradas por Azarpour *et al.* (2011) con aplicación vía foliar de nutrimentos en FCH en unicultivo y en solanáceas y cucurbitáceas por Trejo-Téllez (2003). En relación a la biofertilización, Dekhane, (2011) reportan incrementos significativos en el RG de FCH a causa de la inoculación a la semilla con cepas de *Rhizobium*. En haba dicho incremento es de 23 %, sin embargo, al combinar *Rhizobium* + *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum* aumenta al 37 % (Galal, 2010).

### **Calidad nutrimental del grano de frijol chino**

La D provocó cambios significativas en el contenido de grasas, carbohidratos solubles (CS), fibra detergente neutro (FDN) y hemicelulosa, BIO en FDN, fibra detergente ácido (FDA), sílice, hemicelulosa y fibra cruda (FC). La FF en minerales, proteínas, grasas, CS, FDN, FDA, sílice, hemicelulosa y lignina, la interacción D \* BIO en FC, CS, FDA y FC. D \* FF en grasas, FC y FDA, BIO \* FF en minerales, proteínas, FC, CS, grasas y hemicelulosas. La interacción D \* BIO \* FF en minerales, proteínas, grasas, CS, FDN, FDA, FC, sílice y hemicelulosa (Cuadro 3).

En promedio 100 g de grano aportan 3.7 % de minerales, 1.6 % de grasas, 5.5 % de fibra cruda, 59.9 % de carbohidratos solubles, 20.5 % de FDN, 8.3 % de FDA y 29.3 % de proteínas (Cuadros 4 y 5). Estos valores son similares a los encontrados por Ajeigbe *et al.* (2008). Por lo que es un alimento rico en proteínas superior al frijol común, el cual presenta rangos de 18 a 22.3 % (Abubaker, 2008). El contenido energético es de 371 kcal por 100 g de grano seco.



**Cuadro 3. Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para grano del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzucó, Gro. Verano, 2012.**

Factor	Minerales	Proteínas	Grasas	Fibra cruda	CS
D	NS	NS	**	NS	**
BIO	NS	NS	NS	*	NS
FF	**	**	**	NS	**
D*BIO	NS	NS	NS	*	*
D*FF	NS	NS	**	NS	NS
BIO*FF	*	*	**	*	*
D*BIO*FF	*	**	**	*	**
Factor	FDN	FDA	Lignina	Sílice	Hemicelulosa
D	**	NS	NS	NS	**
BIO	**	**	NS	**	**
FF	**	**	*	**	**
D*BIO	NS	*	NS	*	NS
D*FF	NS	*	NS	**	NS
BIO*FF	NS	NS	NS	NS	*
D*BIO*FF	*	**	NS	**	*

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilizante foliar. CS = carbohidratos solubles, FDN = fibra detergente neutro y FDA = fibra detergente ácido.

Con la siembra a D8 se presentaron los valores más altos de proteínas, grasas, FDN y hemicelulosa en relación a D16 (Cuadros 4 y 5). Respuesta similar se han encontrado en frijol común, con variación de 4.1 % en el contenido de proteínas por modificación en la D (Abubaker, 2008). Bakry *et al.* (2011) en frijol común reportan aumento en la concentración de proteínas a medida que se reduce la D. Por otra parte, Russo (2006) no encuentran respuesta.

La inoculación con BIO aumentó la digestibilidad del grano, al disminuir el contenido de FC, FDA y sílice (Cuadros 4 y 5). Tendencias similares se reportan en haba, ya que la

inoculación con *Rhizobium* disminuyó el contenido de FC en 0.48 % (Galal *et al.*, 2010). Aunque en el presente estudio no se encontró efecto del BIO en el contenido de proteínas, existe evidencia que en unicultivo se incrementa su concentración (Dekhane *et al.*, 2011).

**Cuadro 4. Análisis nutrimental (% de peso seco) de grano seco de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.**

D	BIO	FF	Minerales	Proteína	Grasas	Fibra cruda	CS
0.8 m	CB	F	4.0a <sup>†</sup>	30.3a	1.8b	5.6bc	58.5ef
		NF	3.6bc	28.8bc	1.8b	5.4cd	60.3bcd
	SB	F	3.8ab	30.2a	2.0a	6.0a	57.9f
		NF	3.7ab	29.7ab	1.5c	6.0a	59.1def
1.6 m	CB	F	4.0a	29.8ab	1.3d	5.4cd	59.5cde
		NF	3.5cd	28.5c	1.4cd	5.2cd	61.3ab
	SB	F	3.9ab	28.9bc	1.3d	5.1d	60.7abc
		NF	3.5d	28.2c	1.4cd	5.1d	61.8a
Media genera			3.7	29.3	1.6	5.5	59.9
DSH <sub>0.05</sub>			0.34	1.2	0.12	0.44	1.4
CV			3.83	1.73	3.3	3.35	0.99

<sup>†</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error, CV = coeficiente de variación. DH = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. CS = carbohidratos solubles.

Con FF se mejoró el contenido de minerales, proteínas, grasas, FDA y hemicelulosa, en detrimento de carbohidratos, FDA, lignina y sílice (Cuadros 4 y 5). En este sentido, el fertilizante foliar además de contener macronutrientes, también aportan micronutrientes como boro y manganeso, los cuales estimulan la absorción de nitrógeno y síntesis de proteínas (Kozera *et al.*, 2013).

Con la combinación D8-CB-F, D8-SB-F y D16-CB-F se logró el mayor contenido de minerales, FDN y proteínas y la más baja concentración de FDA y sílice (Cuadros 4 y 5). Así, con estos tratamientos, además de generarse el mayor RG también se tiene mejor calidad nutricional. Con estos, la producción de proteínas fue de 427, 368 y 349 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

**Cuadro 5. Análisis nutrimental (% de peso seco) del grano seco de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

D	BIO	FF	FDN	FDA	Lignina	Sílice	Hemicelulosa
0.8 m	CB	F	22.2a <sup>¶</sup>	7.4e	8.1a	1.0f	14.8a
		NF	21.5ab	8.5c	8.8a	1.7cd	13.0b
	SB	F	21.2ab	8.2d	8.4a	1.4e	13.0b
		NF	20.5bc	9.4a	8.7a	2.1a	11.1c
1.6 m	CB	F	20.1bc	7.6e	8.0a	1.5de	12.6b
		NF	20.5bc	8.3cd	8.5a	1.7bc	12.2bc
	SB	F	19.8c	8.1d	8.5a	1.7cd	11.7bc
		NF	18.3d	9.0b	8.6a	1.9ab	9.3d
Media genera			20.5	8.3	8.5	1.6	12.2
DSH <sub>0.05</sub>			1.43	0.32	0.9	0.23	1.44
CV			2.94	1.64	4.51	4.01	4.95

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. CV = coeficiente de variación. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. FDN = fibra detergente neutro y FDA = fibra detergente ácido.

### Análisis económico

El mayor rendimiento de FCH (RF) y maíz (RM) se presentó con D8-CB-F. Sin embargo, el ingreso total (IT) fue \$3,350.00 menor a lo logrado con D16-CB-F, esto como consecuencia

de que en la siembra D16 se consideró el rendimiento de grano de frijol común (RFC), de tal manera que el ingreso neto (IN) fue superior a los otros tratamientos. En promedio con este tratamiento se incrementó el IN en \$13,812.00 respecto a D8-SB-NF y en \$3,312.00 en relación a D8-CB-F. Además del mayor IN generado con D16, en este sistema de producción la diversidad de productos cosechados aumenta, al tener también producción de frijol común.

**Cuadro 6. Rendimiento, ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), ingreso neto (IN) del FCH, frijol común y maíz, en función de la distancia entre hileras, fertilización foliar y biofertilización. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

DH	BIO	FF	RF	RM	RFC	IT	CF	CV	CT	IN
			---- kg ha <sup>-1</sup> ----			----- \$MXN -----				
0.8 m	CB	F	1410	2930	0	45780.00	7296.50	5080.00	12,376.50	33,403.50
		NF	1110	2290	0	35940.00	7296.50	1480.00	8,776.50	27,163.50
	SB	F	1220	2220	0	37720.00	7296.50	4800.00	12,096.50	25,623.50
		NF	910	2200	0	31400.00	7296.50	1200.00	8,496.50	22,903.50
1.6 m	CB	F	1170	1710	910	49130.00	7296.50	5118.00	12,414.50	36,715.50
		NF	810	1430	870	37950.00	7296.50	1518.00	8,814.50	29,135.50
	SB	F	1090	1490	879	43503.00	7296.50	4838.00	12,134.50	31,368.50
		NF	900	1080	705	34665.00	7296.50	1518.00	8,814.50	25,850.50

Ingreso total = rendimiento \* precio por kg de grano de maíz (\$6.00), kg de frijol chino (\$20.00) y kg frijol común (\$18.00). DH = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, FF = fertilización foliar, RF = rendimiento del frijol, RM = rendimiento del maíz, RFC = rendimiento del frijol común, CB = con biofertilizante, SB = sin biofertilizante, F = con fertilización foliar y NF = sin fertilización foliar.

Independientemente de la D, la aplicación de biofertilizante y fertilizante foliar mejoraron la rentabilidad económica de estos cultivos. Con la aplicación de estos, en promedio se mejoró el IN en \$10,682 (Cuadro 6).

## CONCLUSIONES

La distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, pero sí el tamaño del dosel vegetal, rendimiento de grano y contenido nutrimental. El mayor rendimiento de grano se logra con la siembra a distancia entre hileras de 0.8 m, con biofertilización y fertilización foliar, resultado del incremento en el número de hojas verdes, índice de área foliar, índice de verdor y número de ramas. La biofertilización y fertilización foliar aumentaron la calidad nutrimental del grano de frijol chino, al incrementar el contenido de proteínas y bajar el de fibras y sílice. El mayor ingreso neto se presenta con la siembra a distancia entre hileras de 1.6 m con biofertilización y fertilización foliar.

## LITERATURA CITADA

- Abubaker, S. 2008. Effect of plant density on flowering date, yield and quality attribute of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under center pivot irrigation system. *Am. J. Agri. Biol. Sci.* 3: 666-668.
- Ajeigbe, H. A., D. Ihedioha and D. Chikoye. 2008. Variation in physico-chemical properties of seed of selected improved varieties of cowpeas as it relates to industrial utilization of the crop. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 3642-3647.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E. y M. T. Rodríguez G. 2013. Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Rev. Ser. Hort.* 19: 120-140.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G., M. C. González C. and M. Apáez B. 2014. Analysis of growth and production in maize trellis with nitrogen and phosphorous. *Int. J. Agriscience* 4: 102-108.

- Arya, A. and H. Buch. 2013. Response of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and chlorophyll content of three varieties of *Gossypium herbaceum* L. *Plant Pathol. Quar.* 3: 54-57.
- Azarpour, E., R. Khosravi D., S. Mohammadi, H. Reza, B. and M. Moraditochae. 2011. Effects of nitrogen fertilizer under foliar spraying of humic acid on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata*). *World Appl. Sci. J.* 13: 1445-1449.
- Bakry, B. A., T. A. Elewa, M. F. El Karamany, M. S. Zeidan and M. M. Tawfik. 2011. Effect of row spacing on yield and its component of some faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. *World J. Agr. Sci.* 7: 68-72.
- Dekhane, S. S., H. R. Khafi, A. D. Raj and R. M. Parmar. 2011. Effect of biofertilizer and fertility levels on yield, protein content and nutrient uptake of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Legume Research-An International Journal* 31: 51-54.
- Dugje, I. Y., L. O. Omoigui, F. Ekeleme, A. Y. Kamara and H. Ajeigbe. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 16-25
- Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. In: Alexander, A. (ed). Proceeding of first international symposium on foliar fertilization. Schering Agrochemical División. Boston, M. A. pp: 205-213
- Galal, O. A., F. Izzeldin, A. and G. A. ElHassan. 2010. Effects of biological and mineral fertilization on yield, chemical composition and physical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar Seleim. *Pakistan J. Nutr.* 9: 703-708.

- García, M., P. Herrera, B. Birbe, O. Colmenares y N. Martínez. 2002. Efecto de dos densidades de siembra y cinco edades de cosecha sobre el rendimiento y calidad del heno de follaje de frijol bayo (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Rev. Cient.* 12: 584-586.
- Grey, R. C. 1977. Foliar fertilization with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. *Proc. Fert. Soc.* 164: 23.
- Hernández, A. F. 2008. La inoculación *Glomus* y *Bradirhizobium japonicum* en la producción de soya. *Cultrop.* 29: 41-45.
- Irizar, G. M. B., P. Vargas V., D. Garza G., C. Tut C., I. Rojas M., A. Trujillo C., R. García S., D. Aguirre M. y J. Martínez G. 2003. Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agri. Téc. Méx.* 29: 213-225.
- Jolliffe, P. A. and M. M. Gaye. 1995. Dynamic of growth and yield components of bell pepper (*Capsicum annum* L.) to row cover and population density. *Scientia Hort.* 62: 153-164.
- Kozera, W., B. Barczak, T. Knapowski and M. Ralcewicz. 2013. Total and fractional contents of proteins in bean seeds under the conditions of varied fertilization with microelements. *J. Cent. Eur. Agr.* 14: 319-327.
- Mejía, B. Y., M. Álvarez A. y G. Luna B. 2011. Efectividad de un biofertilizante foliar sobre el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), bluefields. *Ciencia e interculturalidad.* 8: 128-140.
- Rodríguez, B. y M. López. 2009. Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de *Rhizobium* aisladas de un ultisol de la planicie del estado de Guárico. *Agronomía Trop.* 59: 381-386.

- Russo, V. M. 2006. Mineral nutrient and protein content in tissue, and yield of navy bean, in response to nitrogen fertilization and row spacing. *J. Food Agri. Environ.* 4(2): 168-171.
- SAS Institute (2003) SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Sosa, P. E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Trejo-Téllez, L. I., M. N. Rodríguez-Mendoza, G. Alcántar-González y A. Vázquez-Alarcón. 2003. Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra* 21: 365-372.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61 p.



## **CAPÍTULO VI**

### **PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE VAINA DEL FRIJOL CHINO EN FUNCIÓN DEL ARREGLO TOPOLOGICO Y TIPO DE FERTILIZACIÓN**

# **PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE VAINA DEL FRIJOL CHINO EN FUNCIÓN DEL ARREGLO TOPOLOGICO Y TIPO DE FERTILIZACIÓN**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

## **RESUMEN**

El frijol chino es de importancia en la alimentación humana por ser fuente importante de proteínas, dentro de sus formas de consumo destaca el de vaina verde. Se ha observado adecuada complementación al cultivarse en espaldera viva de maíz. Sin embargo, son escasos los estudios sobre arreglos topológicos. En este sistema, la nutrición podría ser complementada con formas eficientes y amigables con el ambiente como la biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la distancia entre hileras (DH), BIO y FF sobre el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, rendimiento y calidad nutrimental de vainas de frijol chino. En Huitzuco, Gro. México, durante el periodo lluvioso se sembró FCH tipo guía en espaldera viva de maíz a 0.8 (D8) y 1.6 m (D16) de DH, con y sin BIO (CB y SB respectivamente) y con y sin FF (F y NF respectivamente). La temperatura máxima promedio durante el cultivo fue de 33.9 °C, mínima de 17.6 °C y precipitación pluvial total de 940 mm. Los días a ocurrencia de las etapas fenológicas no se modificaron por los tratamientos. Así, la emergencia se presentó a los 6 días después de la siembra (dds), el inicio de floración a los 58 dds, el primer corte de vaina a los 70 dds y el último a los 110 dds. El mayor rendimiento de vaina se logró con D8-CB-FF (851 g m<sup>-2</sup>), seguido por D8-SB-F (758 g m<sup>-2</sup>) y D16-CB-F (657 g m<sup>-2</sup>). Además, con este tratamiento también se genera la más alta concentración de minerales (6.5 %) y proteínas (28.1

%), pero menos carbohidratos y fibras. El mayor rendimiento y calidad nutricional de vaina verde se obtiene con D8-CB-F.

**Palabras clave:** *Vigna unguiculata*, biofertilización, espaldera viva de maíz, fertilización foliar.

## **PRODUCTION AND NUTRIMENTAL QUALITY OF COWPEA PODS IN FUNCTION OF TOPOLOGICAL ARRANGEMENT AND FERTILIZATION TYPE**

Patricio Apáez Barrios

Colegio de Postgraduados, 2014

### **ABSTRACT**

The Cowpea is of importance in the human diet because is important source of proteins, within its forms of consumption stands out from the green pod. It has been observed proper supplementation to be grown on living trellis of maize. However, there are few studies on topological arrangements. In this system, nutrition could be complemented with efficient and environmentally friendly ways as biofertilization (BIO) and foliar fertilization (FF). The objective of this study was to determine the effect of distance between rows (DH), BIO and FF on time occurrence of phenological stages, yield and nutritional quality of cowpea pods. In Huitzuco, Gro. Mexico, during the rainy season was planted FCH guide type in trellis maize to 0.8 (D8) and 1.6 m (D16) of DH, with and without BIO (CB and SB respectively) and with and without FF (F and NF respectively). The average maximum temperature during cultivation was 33.9 °C, minimum of 17.6 °C and total rainfall 940 mm. The days of

occurrence of the phenological stages were not modified by the treatments. As well, the emergency occurred to the 6 days after planting (dds), the start of flowering at the 58 dds, the first cut pod to 70 dds and the last cut pod to the 110 dds. The higher yield of pod was achieved with D8-CB-FF (851 g m<sup>-2</sup>), followed by D8-SB-F (758 g m<sup>-2</sup>) and D16-CB-F (657 g m<sup>-2</sup>). In addition, with this treatment is also generated the highest concentration of minerals (6.5 %) and proteins (28.1 %), but less carbohydrates and fiber. The highest yield and quality of green pod is obtained with D8-CB-F.

**Key words:** *Vigna unguiculata*, biofertilization, trellis maize, foliar fertilization.

## INTRODUCCIÓN

El frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está adaptado a condiciones de altas temperaturas, resistente a plagas y enfermedades y es una de las leguminosas más tolerantes al estrés hídrico (Dadson *et al.*, 2005). Los genotipos ejoteros son cultivado en países de Asia, Europa, Oceanía y Norteamérica. En México, en los estados de Tamaulipas, Yucatán, Tabasco, Campeche y Guerrero. Produce vainas con longitudes de 28 a 79 cm, las cuales en estado inmaduro se utilizan como verdura en la alimentación humana. Son ricas en proteínas, carbohidratos, vitaminas (A y C) y minerales (Coker *et al.*, 2007). Contiene además importantes cantidades de fibras, cuyo consumo ayuda a prevenir enfermedades como: hemorroides, cáncer colorectal, diabetes y obesidad (Valencia y Román, 2004).

Los cultivares de crecimiento indeterminado (guía) son los más utilizados para la producción de vainas, en estos se ha encontrado adecuada complementación al establecerse asociados con maíz, el cual les sirve como soporte o tutor. En este sistema de producción se

incrementa el uso equivalente de la tierra, la diversidad de productos cosechados y la rentabilidad económica, esto último, debido a que se evita el gasto de la adquisición de postes de madera o concreto y malla plástica usados como espaldera convencional (Apáez *et al.*, 2013). Comúnmente, la siembra se realiza a distancias entre surcos de 0.8 m (Apáez *et al.*, 2014), sin embargo, por el tamaño del dosel vegetal del FCH y maíz, podría mejorarse la respuesta productiva con mayor distanciamiento entre plantas al disminuir el autosombreado. La variación en los arreglos topológicos además de modificar la producción, también el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en los cultivos (Abubaker, 2008).

Por otra parte, al incluir una gramínea en el sistema de producción, se demanda una mayor cantidad de nutrimentos, los cuales son suministrados mediante fertilizantes químico, estos, además de aumentar los costos de producción, también provocan graves daños ambientales (Sabate, 2001). Actualmente no es posible sustituir por completo su uso, debido a la gran demanda de alimentos, pero sí complementar la nutrición de la planta mediante otras tecnológicas. En este sentido, la fertilización foliar se utiliza principalmente para suministrar micronutrimentos vía hojas, pero también, pueden aportar cantidades considerables de macronutrimentos. Se ha encontrado que es mayor la efectividad de cada unidad de nutrimento aplicado en relación a la fertilización edáfica (Trejo-Tellez *et al.*, 2003).

Mientras que la biofertilización (inoculantes a base de microorganismos generalmente bacterias y hongos) puede contribuir a mejorar la nutrición de la planta mediante la fijación de N-atmosférico y aumento en el volumen del sistema radical (Rodríguez y López, 2009). El incremento en el rendimiento con la aplicación de biofertilizantes y fertilizantes foliares, se atribuye a que la planta dispone de mayor cantidad de nutrimentos, con lo cual puede hacer un uso más eficiente de recursos naturales como el agua y radiación solar. Por otra parte, se ha encontrado que cuando las plantas están bien nutridas son más resistentes al ataque de plagas y

enfermedades, y consecuentemente tendrán mayor éxito reproductivo en flores, frutos y rendimientos más elevados (Mejía *et al.*, 2011).

El uso de estos tipos de tecnologías, además de conservar el ambiente también pueden contribuir a mejorar la calidad nutrimental. En este sentido, Irizar *et al.* (2003) observaron que en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), la aplicación de *Rhizobium etli* + *glomus intraradices* aumentó en 28 % el rendimiento. Grageda-Cabrera *et al.* (2002) encontraron que la mayor fijación de N ocurre al inicio de la etapa reproductiva, lo cual ayuda a mejorar el rendimiento pero también la calidad nutrimental, debido a que hay mayor acumulación de N en forma de proteínas. En este sentido, Salinas *et al.* (2011) con la combinación *R. etli* + *G. intraradices* reportan aumento en la concentración de proteínas, fibra detergente ácido y minerales como calcio y fósforo, con la consecuente disminución de carbohidratos en vainas de frijol ejotero. Mientras que Kozera (2013) encontraron que la aplicación vía foliar de micronutrientes como el Mn, Zn, Cu, Mo y B incrementan el contenido de proteínas, pero también el rendimiento agronómico. Respuestas similares son reportadas por Galal *et al.* (2010) y Dekhane *et al.* (2011).

En FCH en espaldera de maíz son escasos este tipo de estudios, por lo que el objetivo fue determinar el efecto de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar sobre el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, el rendimiento y calidad del rendimiento de vainas de FCH.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se llevó a cabo en Huitzucó, Gro. (18° 15'N; 99° 12'O y 1154 m de altitud), de clima Aw<sub>1</sub> que corresponde a cálido subhúmedo (García, 2005). En suelo de textura arcillosa, pH de 7.4, contenido inicial de N de 0.11 % y 14 ppm de P.

El 17 de junio de 2012 se sembró FCH en espaldera viva de maíz a distancias entre matas de 0.5 m (una planta de cada especie por mata). Los tratamientos consistieron en la siembra a distancias entre hileras de 0.8 m (D8) y 1.6 m (D16), con y sin biofertilización (CB y SB respectivamente) y con y sin fertilización foliar (F y NF respectivamente). La combinación generó ocho tratamientos (D8-CB-F, D8-CB-NF, D8-SB-F, D8-SB-NF, D16-CB-F, D16-CB-NF, D16-SB-F, D16-SB-NF). El biofertilizante se inoculó a la semilla de las dos especies de acuerdo con el tratamiento. Para ello se disolvieron 13 g de adherente (carboximetilcelulosa) en 0.15 L de agua y se mezcló con 2 kg de semilla. Posteriormente se aplicaron 38 g de *R. etli* (500 millones de bacterias  $g^{-1}$ ) y 0.1 kg de *G. intraradices* (30000 esporas  $kg^{-1}$ ), se dejó reposar 12 horas antes de la siembra. La fertilización foliar se inició 30 días después de la siembra (dds), cada 15 días, con una mezcla de micronutrientes, macronutrientes, fitohormonas y ácidos húmicos a dosis de 2 a 3 L  $ha^{-1}$ . Fueron seis aplicaciones en total.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La fertilización al suelo fue con 50 y 50 kg  $ha^{-1}$  de N y  $P_2O_5$  respectivamente. Se aplicó todo el  $P_2O_5$  y la mitad de N a los 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ), mínima ( $^{\circ}C$ ) y precipitación pluvial diaria (mm). También el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en FCH de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993): días a emergencia (E), a inicio de antesis (R6), primer corte (C1) y a último corte de vaina (C7). En total se realizaron siete cortes de vaina, uno por semana, para su cosecha debían medir más de 35 cm de longitud, con esto se determinó el rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV), longitud (LV) y diámetro de vainas (DV).

Para conocer el requerimiento térmico e hídrico y la eficiencia en el uso del agua del FCH con relación a su desarrollo fenológico y los tratamientos, se calcularon las unidades calor acumuladas (UC) mediante el método residual (Snyder, 1985), la ecuación es:  $UC = [T_{max} + T_{min} / 2] - T_b$ , donde  $T_{max}$  = temperatura máxima,  $T_{mín}$  = temperatura mínima y  $T_b$  = temperatura base que es de 10 °C de acuerdo con Barrios y López, (2009). La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó a partir de los datos de evaporación (Ev) del tanque tipo A, usando 0.75 como coeficiente del evaporímetro (Ke) y valores de Kc en función al desarrollo del cultivo, a partir de la ecuación:  $ETc = Ev * Ke * Kc$  (Allen *et al.*, 2006).

Mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979) se determinó la calidad nutrimental de las vainas verdes del FCH (minerales, carbohidratos solubles, proteínas, grasas, fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), hemicelulosa y lignina, todas en %). Para lo cual, las muestras fueron previamente trituradas en un molino eléctrico (Janke and Kunkel Inka Modelo Kb 5/10®, Germany) con criba de 50 µm.

Los datos obtenidos de cada variable se analizaron estadísticamente con el paquete SAS versión 9.1 y la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad (SAS, 2003).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Rendimiento de vaina y componentes**

El rendimiento de vaina verde (RVV) y número de vainas (NV), mostraron cambios altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) por efecto de la distancia entre hileras (D), biofertilización (BIO) y fertilización foliar (FF), la interacción D \* FF provocó modificaciones altamente



significativas en el NV, mientras que D \* BIO y BIO \* FF modificaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el RVV (Cuadro1).

**Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

Factor	RVV	NV	DV	LV
D	**	**	NS	NS
BIO	**	**	NS	NS
FF	**	**	NS	NS
D*BIO	*	NS	NS	NS
D*FF	NS	**	NS	NS
BIO*FF	*	NS	NS	NS
D*BIO*FF	*	*	NS	NS

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilizante foliar. RVV = rendimiento de vaina en verde, NV = número de vainas, DV = diámetro de vaina y LV = longitud de vaina.

Con la siembra a distancia ente hileras de 80 cm (D8) se logró aumenta en 20 % de RVV y en 35 % el NV, mientras que la inoculación con BIO mejoró estas variables en 14 y 10 % respectivamente. El mayor efecto benéfico fue provocado por la FF, la cual contribuyó con incrementos de 35 % en el RVV y 35 % en NV. De tal manera que con la combinación D8-CB-F, el FCH en espaldera viva de maíz presentó el mayor RVV, resultado de una más alta producción de vainas, seguido de D8-SB-F y D16-CB-F (Cuadro 2). A pesar que con D16 el RVV fue menor que a D8, sin embargo, al quedar un mayor espaciamiento entre surcos, este podría ser aprovechado para intercalar especies de crecimiento determinado (mata). El RVV logrado con D80-CB-F es ligeramente inferior a los 960 g m<sup>-2</sup> reportado por Nwofia (2012)

bajo condiciones de Nigeria en unicultivo y suelo con pH de 4.8, 1.9 % de materia orgánica, 0.05 % de N y 27 ppm de fósforo y sin aplicación de fertilizantes. Esto como consecuencia de que en el presente trabajo la densidad de población del FCH es menor, debido a que se cultivó asociado con maíz, con la ventaja de aumentar la diversidad de productos cosechados. En cuanto a la longitud de vaina (LV) y diámetro de vaina (DV) no hubo variación significativa a causa de los tratamientos y en promedio presentaron valores promedio de 39.8 y 0.85 cm respectivamente (Cuadro 2), resultados similares a los reportados por Apáez *et al.* (2014). Esto se atribuye a que los cortes de vaina estuvieron dirigidos a aquellas con tamaño superior a 35 cm de longitud.

La mayor respuesta productiva del FCH sembrado a D8 se atribuye en parte a una mayor densidad de población en comparación con D16, con lo cual se puede hacer un uso más eficiente de nutrimentos del suelo y radiación solar, y debido a que hay una mayor y más temprana cobertura del suelo por el dosel vegetal, se hace más eficiente el uso del agua, esto es importante debido a que este recurso es limitante (García *et al.*, 2002). Respuesta similar es encontrada en frijol común, el cual, al cultivarse a distancias entre hilera de 30 cm produce 50 % más en relación a 60 cm, mientras que el haba (*Vicia faba* L.) aumenta su rendimiento en 22 % en distanciamientos de 20 cm respecto al cultivado a 40 cm. En ambos estudios, con el mayor distanciamiento la producción por planta es superior, 15 % en frijol común y 63 % en haba (Abubaker, 2008, Bakry, 2011).

El bajo nivel de fertilidad inicial del suelo donde se estableció el cultivo (N-inorgánico de 0.11 % y 14 ppm de P), aunado a la poca cantidad de fertilización edáfica aplicada (50 y 50 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) pudo haber favorecido la respuesta a la aplicación de BIO y FF en el cultivo. Con la FF se suministraron nutrimentos, tanto macronutrimentos como micronutrimentos vía foliar, que de acuerdo con Trejo-Tellez *et al.* (2003) es mayor la

efectividad en relación a la fertilización edáfica. Con BIO se reporta aumento de la fijación de nitrógeno atmosférico, mayor área de exploración radical y consecuentemente más absorción de agua y nutrimentos de la solución del suelo (Hernández, 2008). Respuestas similares a las encontradas en este estudio son reportadas en FCH en unicultivo por Dekhane (2011) y en haba por Galal (2010) al inocular cepas de *Rhizobium* y la combinación *Rhizobium* + *Bacillum megaterium* var. *Phosphaticum*.

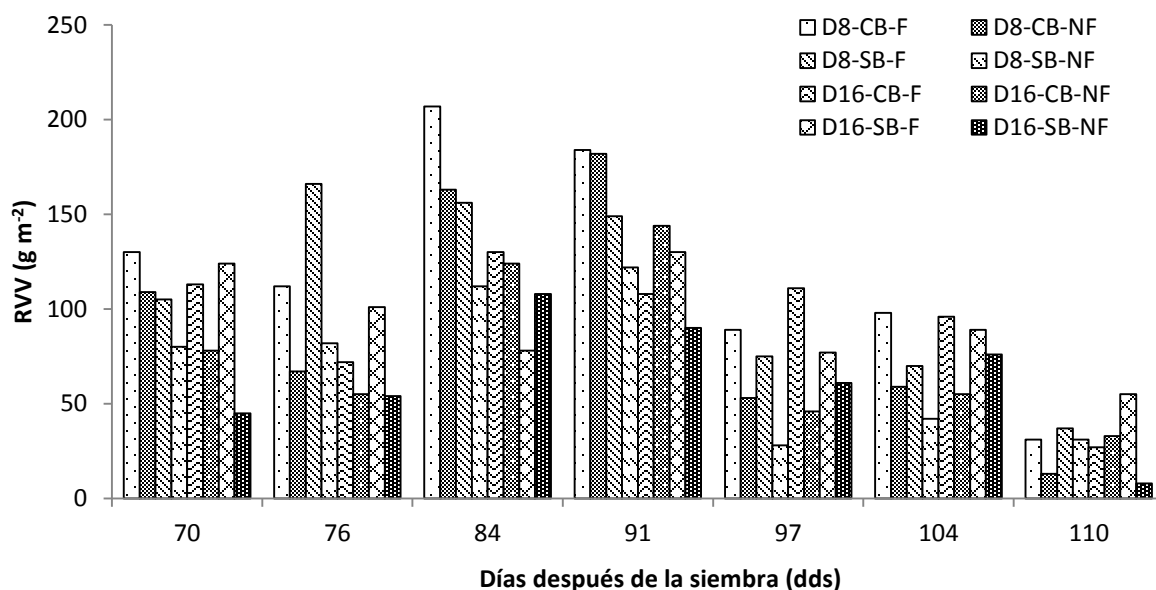
**Cuadro 2. Rendimiento de vaina verde (RVV en peso fresco), número de vainas (NV), diámetro de vainas (DV) y longitud de vaina (LV) del frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.**

D	BIO	FF	RVV	NV	DV	LV
			g m <sup>-2</sup>	No. m <sup>-2</sup>	----- cm -----	
D8	CB	F	851a <sup>¶</sup>	86a	0.87a	40.9a
		NF	645c	64c	0.85a	40.2a
	SB	F	758b	78b	0.86a	40.2a
		NF	497d	53e	0.81a	38.4a
D16	CB	F	657c	61cd	0.87a	40.5a
		NF	535d	47ef	0.83a	39.8a
	SB	F	654c	55de	0.85a	39.4a
		NF	444d	45f	0.83a	38.9a
	Media genera		630	61	0.85	39.8
	DSH <sub>0.05</sub>		91.8	7.8	0.06	2.83
	CV		7.2	5.7	6.4	7.1

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta, CV = coeficiente de variación. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. D8 = DH de 80 cm, D16 = DH de 160 cm.

## Rendimiento de vaina verde por corte

En la Figura 1 que presenta la dinámica de producción de vaina verde, se observa que la mayor producción se presentó en los cortes tres y cuatro, es decir, a los 84 y 91 dds. Estos representaron en promedio el 21 y 22 % respectivamente del rendimiento total. En la mayoría de los cortes se observa que los tratamientos con BIO y FF presentaron mayor producción. Tendencia similar es reportada por Rodas (2001), quien al evaluar 16 cultivares de FCH en unicultivo, encontró el mayor RVV en el 5° corte (80 dds).



**Figura 1.** Dinámica de la producción por corte de vaina del frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la distancia entre hileras (DH), biofertilización y fertilización foliar. D8 = DH de 80 cm, D16 = DH de 160 cm CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.

## Calidad nutrimental del rendimiento de vaina

El contenido de minerales, proteínas, carbohidratos solubles (CS), fibra detergente neutro (FDN) y hemicelulosa, presentaron cambios significativos por efecto de la distancia entre

hileras (D). La biofertilización (BIO) modificó la concentración de minerales, CS, fibra detergente ácido (FDA), FDN y hemicelulosa. Mientras que la fertilización foliar (FF) afectó la cantidad de proteínas, CS, FDA, FDN y hemicelulosa. Las interacciones D \* BIO y D \* FF a las proteínas, CS, FDA, FDN y ligninas, D \* BIO a minerales y D \* FF a hemicelulosa. BIO \* FF a minerales, FDA y hemicelulosa. La interacción D \* BIO \* FF afectó a todos los componentes determinados a excepción de grasas (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para vaina verde del frijol chino en espaldera de maíz en función de la distancia entre hileras, biofertilizante y fertilización foliar. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

Factor	Minerales	Proteínas	Grasas	CS
D	**	**	NS	**
BIO	*	NS	NS	**
FF	NS	**	NS	**
D*BIO	**	**	NS	**
D*FF	NS	*	NS	*
BIO*FF	**	NS	NS	NS
D*BIO*FF	**	**	NS	**
Factor	FDA	FDN	Lignina	Hemicelulosa
D	NS	**	NS	**
BIO	*	**	NS	**
FF	**	**	NS	**
D*BIO	**	**	**	NS
D*FF	**	**	**	*
BIO*FF	**	NS	NS	**
D*BIO*FF	**	**	**	**

\*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente. NS = no significativo. D = distancia entre hileras, BIO = biofertilización y FF = fertilizante foliar. CS = carbohidratos solubles, FDN = fibra detergente neutro y FDA = fibra detergente ácido.

El FCH en espaldera de maíz cultivado a D8 incrementó en 7, 3, 3 y 40 % respectivamente el contenido de minerales, proteínas, FDN y hemicelulosa en las vainas, sin embargo el contenido de CS bajó en 3 %. Efectos similares son reportados en frijol común por Abubaker (2008) y Bakry *et al.* (2011), sin embargo Russo (2006) no encontró efecto.

La inoculación con BIO aumentó la concentración de minerales y mejoró la digestibilidad de las vainas al bajar la FDN, FDA y hemicelulosa. Esto concuerda con lo reportado en haba, la cual disminuyó en 0.5 % la concentración de fibras a causa de la inoculación con *R. etli*. La más alta calidad nutricional provocada por BIO puede ser relacionada con la fijación de N-atmosférico de *R. etli* y mayor crecimiento radical por *G. intraradices*, posiblemente esto causó incremento en la absorción de nutrimentos hacia la vaina (Salinas *et al.*, 2012).

Con FF se mejoró la concentración de minerales y sobre todo proteínas, sin embargo disminuyó el contenido de CS y fibras. El efecto positivo de FF en la calidad nutrimental de las vainas pueden atribuirse a que además de aportar macronutrimentos, también es fuente de boro y magnesio, los cuales de acuerdo con Kozera *et al.* (2013) contribuyen de manera significativa en la síntesis de proteínas.

Las combinaciones D8-CB-F, D8-SB-F y D16-CB-F aumentaron la calidad nutrimental del FCH, al incrementar la concentración de minerales y proteínas, y disminuir los CS y fibras (Cuadro 4). Con la aplicación de estos tratamientos además de aumentar el RVV, también se mejoró la calidad nutrimental.

De acuerdo al análisis nutrimental del FCH, en promedio 100 g de materia seca de vainas aportan 6.2 g de minerales, 27.5 g de proteínas, 8.9 g de grasas, 49.3 g de carbohidratos solubles, 22.3 g de FDA, 26.2 g de FDN, 2.8 g de hemicelulosa y 4.0 g de lignina (Cuadro 4). Por lo que es un alimento de alta concentración proteica, que lo hacen una alternativa para incrementar su consumo y por ser rico en fibra contribuir a reducir enfermedades del colon

como diverticulosis, constipación, hemorroides, cáncer colorectal, obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Valencia y Román, 2004). Aunque con D8-CB-F, D8-SB-F y D16-CB-F, D8-CB-F disminuyó el contenido de fibras, la concentración de estas puede considerarse alta (> 20 % en FDA y 23 % en FDN).

**Cuadro 4. Análisis nutrimental (% de peso seco) de vainas verdes de frijol chino en función de la distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar. Huitzuco, Gro. Verano de 2012.**

DH	BIO	FF	Minerales	Proteínas	Grasas	CS
D8	CB	F	6.52a <sup>¶</sup>	28.08a	1.86a	47.86d
		NF	6.47ab	27.66ab	1.78a	48.24cd
	SB	F	6.61a	28.42a	1.96a	48.54cd
		NF	6.01cd	27.05bc	1.79a	49.72b
D16	CB	F	6.01cd	28.25a	1.81a	48.96bc
		NF	5.89d	26.1d	1.70a	50.64a
	SB	F	6.24bc	27.85ab	1.75a	49.68b
		NF	5.62e	26.41cd	1.71a	50.84a
	Media general		6.17	27.48	1.80	49.31
DSH <sub>0.05</sub>			0.26	0.91	0.34	0.83
C.V			1.90	1.29	8.9	0.73
	BIO	FF	FDA	FDN	Hemicelulosa	Lignina
D8	CB	F	22.37b	23.92d	1.55e	4.24d
		NF	23.46a	25.89b	2.49d	4.75bc
	SB	F	20.04d	25.15c	5.10a	3.59e
		NF	22.68b	27.04a	4.36b	5.68a
D16	CB	F	21.58c	23.35e	1.69e	4.37cd
		NF	22.36b	24.18d	1.82e	5.01b
	SB	F	22.44b	25.67b	3.22c	4.77bc
		NF	23.35b	26.15b	2.80cd	4.02de
	Media general		22.29	25.17		2.88
DSH <sub>0.05</sub>			0.51	0.51	0.52	0.50
CV			1.07	0.73	6.5	3.4

<sup>¶</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$  respectivamente. DSH<sub>0.05</sub> = diferencia significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. CV = coeficiente de variación. DH = distancia entre hileras, BIO = biofertilización, CB = con biofertilización, SB = sin biofertilización, FF = fertilización foliar, F = con fertilización foliar, NF = sin fertilización foliar. D8 = DH de 80 cm, D16 = DH de 160 cm. CS = carbohidratos solubles, FDN = fibra detergente neutro y FDA = fibra detergente ácido.

Al comparar los datos nutrimentales de vainas de frijol común presentados por Salinas *et al.* (2012), podemos decir que el frijol chino es superior 40 % en proteína, 12 % en carbohidratos solubles, 84 % en grasa, 8 % de FDA y 95 % de lignina. Sin embargo, presenta 20 % menos de minerales, 3.3 % menos de FDN y 57 % menos de hemicelulosa, por lo que nutrimentalmente el FCH presenta más ventajas.

### **Clima, fenología unidades calor y evapotranspiración**

En el Cuadro 5, que presenta la temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ), temperatura mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) (media decenal) y la precipitación pluvial estacional (suma decenal), se observa que durante el ciclo del cultivo en promedio la  $T_{\text{máx}}$  osciló entre 32.5 y 35.5 °C y la  $T_{\text{mín}}$  entre 16.9 y 18.6 °C. La más alta temperatura se presentó en la primera decena de desarrollo del cultivo, es decir, de siembra (S) a emergencia (E), posteriormente tendieron a disminuir. La precipitación acumulada durante la estación de crecimiento fue de 940 mm, de la cual, el 49 % (465 mm) ocurrió en la etapa vegetativa, que corresponde al periodo entre S a inicio de floración (R6). De acuerdo con Dugje *et al.* (2009), tanto la temperatura como la precipitación ocurridas durante el estudio, fueron adecuadas para una buena expresión del rendimiento del FCH.

El tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en FCH no se modificó por efecto de los tratamientos, así, la E se presentó a los 6 días después de la siembra (dds), R6 a los 58 dds, el primer corte de vaina (C1) a los 70 dds y el último corte (C7) a los 110 dds (Cuadro 5). Al respecto Peksen y Peksen (2012) en líneas avanzadas de FCH cultivadas en clima cálido reportan que estas llegaron a floración entre los 52 y 64 dds, similar a lo encontrado en este estudio. En haba Escalante y Rodríguez (2011) encontraron que el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas no se modificó a causa de prácticas agronómicas como arreglos topológicos y fertilización. Sin embargo, en frijol común Abubaker, (2008) registró aumento en seis días



en el ciclo del cultivo al aumentar la densidad de población. Las variaciones en respuesta podrían atribuirse a que se trata de diferentes cultivos.

**Cuadro 5. Temperatura máxima, mínima (media decenal), unidades calor (UC), evapotranspiración (ETc) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del frijol chino en espaldera viva de maíz. Huitzucó, Gro. Verano de 2012.**

Mes	Decena	T. máx	T. mín	Precipitación	UC	ETc	Etapa fenológica
		---- °C ----		-- mm --	- °C d -	mm	
<i>Junio</i>	20	35.5	17.5	52.0	65.3	7.4	S-E
<i>Junio</i>	30	34.0	18.6	36.5	163.0	23.9	
<i>Julio</i>	10	33.6	17.5	118.0	155.8	14.4	
<i>Julio</i>	20	34.4	17.2	14.5	158.5	29.9	
<i>Julio</i>	30	32.6	17.4	135.5	165.5	28.4	
<i>Agosto</i>	10	32.5	18.1	108.5	153.3	33.6	
<i>Agosto</i>	20	34.3	17.6	54.0	159.8	43.3	R6
<i>Agosto</i>	30	33.2	17.5	124.8	169.3	36.2	C1
<i>Septiembre</i>	10	33.6	17.5	110.8	155.5	30.0	
<i>Septiembre</i>	20	34.3	18.3	52.0	163.3	27.5	
<i>Septiembre</i>	30	34.2	17.0	117.0	156.0	25.5	
<i>Octubre</i>	10	34.2	16.9	16.5	63.0	9.6	C7

S = siembra, E = emergencia, R6 = inicio de floración, C1 = primer corte de vaina y C7 = último corte de vaina.

La acumulación unidades calor del FCH de S a C7 fue de 1728 °C d, 876 °C d en la etapa vegetativa (E a R6) y 852 °C d en la etapa reproductiva (C1 a C7). Mientras que la evapotranspiración total fue de 310 mm, de la cual, 46 % ocurrió en la etapa vegetativa. Valores similares son reportados por Guangyao *et al.* (2006) y Apáez *et al.* (2013) en condiciones ambientales similares.

## CONCLUSIONES

La distancia entre hileras, biofertilización y fertilización foliar no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas en frijol chino, pero sí el rendimiento y calidad nutrimental de vaina verde. La mayor producción se logra con la siembra a 80 cm entre hileras, con biofertilización y fertilización foliar. Con este se tiene la mayor calidad nutrimental con aumentos en la concentración de minerales y proteínas, en detrimento de carbohidratos y fibras.

## LITERATURA CITADA

- Abubaker, S. 2008. Effect of plant density on flowering date, yield and quality attribute of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under center pivot irrigation system. *Am. J. Agri. Biol. Sci.* 3: 666-668.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y drenaje. Manual. 56. FAO. Roma.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E. y M. T. Rodríguez G. 2013. Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Rev. Ser. Hort.* 19: 120-140.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G., M. C. González C. and M. Apáez B. 2014. Analysis of growth and production in maize trellis with nitrogen and phosphorous. *Int. J. Agriscience* 4: 102-108.
- Bakry, B. A., T. A. Elewa, M. F. El Karamany, M. S. Zeidan and M. M. Tawfik. 2011. Effect of row spacing on yield and its component of some faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. *World J. Agr. Sci.* 7: 68-72.

- Barrios, G. E. J. y C. López C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencias* 43: 29-35.
- Coker, C., M. Ely and T. Freeman. 2007. Evaluation of yardlog bean as a potential new crop for grower in the southeastern United States. *HortTechnology* 17(4): 592-594.
- Dadson, R. B., F. M. Hashem, I. Javaid, J. Joshi, A. L. Allen and T. E. Devine. 2005. Effect of water stress on yield of cowpea genotypes in the Delmarva region of the United States. *J. Agron. Crop Sci.* 191: 210-217.
- Dekhane, S. S., H. R. Khafi, A. D. Raj and R. M. Parmar. 2011. Effect of biofertilizer and fertility levels on yield, protein content and nutrient uptake of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Legume Research-An International Journal* 31: 51-54.
- Dugje, I. Y., L. O. Omoigui, F. Ekeleme, A. Y. Kamara and H. Ajeigbe. 2009. Farmers' guide to cowpea production in West Africa. IITA, Ibadan, Nigeria. 19 p.
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 16-25.
- Galal, O. A., F. Izzeldin A. and G. A. ElHassan. 2010. Effects of biological and mineral fertilization on yield, chemical composition and physical characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar Seleim. *Pakistan J. Nutr.* 9: 703-708.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García, M., P. Herrera, B. Birbe, O. Colmenares y N. Martínez. 2002. Efecto de dos densidades de siembra y cinco edades de cosecha sobre el rendimiento y calidad del heno de follaje de frijol bayo (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Rev. Cient.* 12: 584-586.

- Grageda-Cabrera, O. A., A. Vermoesen, O. Van Cleemput y J. J. Peña-Cabriales. 2000. Efecto del tipo de suelo, humedad y fuentes de nitrógeno en las emisiones de N<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. *Terra* 18: 1-9.
- Guangyao, W., E. M. Milton, D. E. Jeff, and E. C. S. Marchis. 2006. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. *Weed Science* 54(4): 775-782.
- Hernández, A. F. 2008. La inoculación *Glomus* y *Bradirhizobium japonicum* en la producción de soya. *Cultrop*. 29: 41-45.
- Irizar, G. M. B., P. Vargas V., D. Garza G., C. Tut C., I. Rojas M., A. Trujillo C., R. García S., D. Aguirre M. y J. Martínez G. 2003. Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agri. Téc. Méx.* 29: 213-225.
- Kozera, W., B. Barczak, T. Knapowski and M. Ralcewicz. 2013. Total and fractional contents of proteins in bean seeds under the conditions of varied fertilization with microelements. *J. Cent. Eur. Agr.* 14: 319-327.
- Mejía, B. Y., M. Álvarez A. y G. Luna B. 2011. Efectividad de un biofertilizante foliar sobre el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), bluefields. *Ciencia e interculturalidad*. 8: 128-140.
- Nwofia, G. E. 2012. Yield and yield components in vegetable cowpea on an ultisol. *Afr. J. Agric. Res.* 7(28): 4097-4103.
- Peksen, E. and A. Peksen. 2012. Evaluation of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) breeding lines for cultivar development. *Univ. J. Inst. Sci. and Tech.* 2(4): 9-18.
- Rodas, R. 2001. Determinación del número y periodo óptimo de cortes de ejote en fresco de 16 cultivares de frijol rienda (*Vigna unguiculata* L. Fruwirth), bajo condiciones de granja Zahori, Cuyotenango, Suchitepéquez, GT, USAC-CONSUROC. pp:25-26.

- Rodríguez, B. y M. López. 2009. Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de *Rhizobium* aisladas de un ultisol de la planicie del estado de Guárico. *Agronomía Trop.* 59: 381-386.
- Russo, V. M. 2006. Mineral nutrient and protein content in tissue, and yield of navy bean, in response to nitrogen fertilization and row spacing. *J Food Agri Environ* 4(2): 168-171.
- Sabate, P. P. 2001. Efectos medios ambientales de las prácticas agrícolas y su contabilización. *Revista Tecnica Contable.* 849-860.
- Salinas, R. N., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. and E. Sosa M. 2011. Yield and nutritional quality of snap bean in terms of biofertilization. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13(3): 347-355.
- Salinas, R. N., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. y E. Sosa M. 2012. Rendimiento y calidad nutrimental del frijol ejotero en dos ambientes. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(4): 317-323.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agri. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Sosa, P. E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Trejo-Téllez, L. I., M. N. Rodríguez-Mendoza, G. Alcántar-González y A. Vázquez-Alarcón. 2003. Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra* 21: 365-372.
- Valencia, G. F. E. y M. O. Román, M. 2004. La fibra dietaría como alimento funcional. *Vitae.* 11(2): 12-17.