

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

Agronomic Efficiency of Nitrogen, Phosphorus and Cowpea Production Using Trellis Maize

Patricio Apáez Barrios¹, José Alberto Salvador Escalante Estrada^{1‡}, Porfirio Ramírez Vallejo¹, Stephen Douglas Koch Olt¹, Eliseo Sosa Montes³ y Víctor Manuel Olalde Gutiérrez²

RESUMEN

El frijol chino (FCH), por su alto contenido de proteínas, carbohidratos, grasas y fibra, 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 que genere la mayor rentabilidad económica. 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 de N y P ha⁻¹. A la cosecha se determinó la biomasa total (BT), rendimiento de grano (RG), eficiencia en el uso del agua para grano (EUAG), biomasa (EUAB), eficiencia agronómica para N (EAN), eficiencia agronómica de P (EAP) y rentabilidad económica. La temperatura máxima (T_{máx}) y la temperatura mínima (T_{mín}) en promedio fueron de 33 y 20 °C respectivamente, con una precipitación de 809 mm. El N y P, incrementaron la producción de BT, RG, EUAG y EUAB. El agregado de P estimuló una mayor respuesta a la aplicación de N. En estas condiciones ambientales, la mayor producción, eficiencia en el uso del agua y rentabilidad económica en FCH en espaldera

viva de maíz se logró con 150 kg de N y P ha⁻¹. La EAN y EAP más alta, se lograron con aplicación de 75 kg N y P ha⁻¹.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*, eficiencia en el uso del agua, rentabilidad económica.

SUMMARY

Cowpea (FCH), because of its high content of proteins carbohydrates, fats and fiber, is important for human diets. Increases in profitability using a trellis maize system have been observed. However, in this system the requirements of mainly nitrogen (N) and phosphorus (P) are greater. The objectives were a) to determine the effect of N and P on total biomass of FCH in trellis maize, grain yield, water use efficiency and agronomic efficiency, and b) to determine the combination of doses of N and P to generate greater profitability. In hot climate, under conditions of seasonal rainfall, cowpea was intercropped with trellis maize on July, 2011. Treatments consisted of application of 0, 75 and 150 kg of N and P ha⁻¹. Maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) temperature 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 economic profitability were determined. The average T_{max} and T_{min} were 33 and 20 °C, respectively, and precipitation was 809 mm. N and P increased production of TB, GY, WUEG and WUEB. Addition of P stimulated a greater response to the application of N. In these environmental conditions, higher production, water use efficiency and profitability of FCH in trellis maize was achieved with 150 kg N and P ha⁻¹. However, the greatest AEN and AEP were achieved with application of 75 kg N and P ha⁻¹.

Index words: *Vigna unguiculata*, economic profitability, water use efficiency.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor responsable (jasee@colpos.mx)

² Departamento de Fitotecnia, CEP-CSAEGRO. Ave. Guerrero N° 81. 4000 Iguala, Guerrero, México.

³ Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

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 (Singh *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 proteína, 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 tutores, 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 N y 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.*, 2012). 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⁻¹ 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⁻¹ se ha logrado incrementar la BT y RG en 65 y 71% respectivamente, con eficiencia agronómica de N (EAN) de 3.8 kg kg⁻¹ (Chowdhury y Elpidio, 1992). Por otra parte, en la asociación maíz - quinchoncho (*Cajanus cajan* L.) con 120 y 30 kg ha⁻¹ de N y P respectivamente, se incrementó el RG de la leguminosa en 7%, con EAN y EAP de 11 y 81 kg kg⁻¹ respectivamente (Quiroz y Marin, 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 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 que genere la mayor rentabilidad económica.

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 altitud de 640 m), el clima es AW₀ (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⁻² (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 nitrógeno total (N total), y de medio a alto en fósforo (P). Esto de acuerdo con los criterios descritos por Vázquez y Bautista (1993) (Cuadro 1).

Los tratamientos consistieron en nueve combinaciones de N y P, a partir de tres dosis de 0, 75 y 150 kg ha⁻¹ de cada elemento, estos 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⁻¹ de potasio (K). 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, K y la mitad de N a los 15 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds.

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_{máx.}, °C), mínima (T_{mín.}, °C) y precipitación diaria (PP, mm). En promedio las T_{máx} y T_{mín} promedio fueron de 33 y 20 °C respectivamente, con PP acumulada de 809 mm (Cuadro 2).

A la cosecha se registró la biomasa aérea total (BT, g m⁻²), índice de cosecha (IC = RG/BT, %), rendimiento de grano (RG, peso de granos al 10% de humedad, g m⁻²) y componentes del rendimiento como: número de granos por m² (NG), peso de cien granos (P100G, g), número de vainas normales por m² (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⁻² mm⁻¹) y RG (EUAG, g m⁻² mm⁻¹) se calculó considerando las ecuaciones: EUA = BT, RG/ETc (Escalante, 1995).

La eficiencia agronómica del N (EAN, kg kg⁻¹ de N aplicado) y P (EAP, kg kg⁻¹ de P aplicado), que es el incremento en el rendimiento por unidad de nutrimento aplicado, se estimó con la siguiente 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 de rentabilidad económica a las variables RG en FCH y maíz para determinar el ingreso neto, utilizando la ecuación: IN = YPy - (ΣXiPi + CF), donde IN = ingreso neto, Y = rendimiento (kg ha⁻¹), Py = precio por kilogramo de grano, ΣXiPi = 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 entre tratamientos por la aplicación de N, interacción N * P y significativos por aplicación de P (Cuadro 3). En parte, esto último se atribuye a que el contenido de P inicial (14 mg kg⁻¹ de suelo) fue de medio-alto (Vázquez y Bautista, 1993).

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, 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.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo experimental.

Profundidad	Textura	Densidad aparente	pH	Conductividad eléctrica	Materia orgánica	Nitrógeno total	P Olsen
cm		g cm ⁻³		dS m ⁻¹	----- % -----	-----	mg kg ⁻¹
0-30	Arcilloso	1.20	7.1	0.248	1.30	0.065	6.0
30-60	Arcilloso	1.40	7.1	0.217	2.08	0.104	22.0
Promedio	Arcilloso	1.30	7.1	0.232	1.69	0.080	14.0

Profundidad = profundidad de muestreo; P = fósforo.

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, Guerrero, verano de 2012.

Mes	Decena	Temperatura		Precipitación	Mes	Decena	Temperatura		Precipitación
		Máxima	Mínima				Máxima	Mínima	
		- - - - °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					

La BT en función del N * P, se ajustó a modelos de regresión cuadrática. Con P150 la respuesta al N fue más alta, con producción de 4.3 g m⁻² por kg de N, seguido de P75 con 2.3 g m⁻² por kg de N aplicado. 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 evaluada.

Índice de Cosecha

El 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 (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 (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 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).

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 y significativos por P. 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

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. Cocula, Guerrero, verano de 2011.

Factor	BT	IC	RG	P100G	NG	NV	NGV	EUAG
	g m ⁻²	%	g m ⁻²	g	- - - No. m ⁻²	- - -	No.	g m ⁻² mm ⁻¹
Nitrógeno	**	*	**	NS	**	**	NS	**
Fósforo	*	NS	*	NS	*	*	NS	*
Nitrógeno * Fósforo	**	NS	**	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; EUAB = eficiencia en el uso del agua para biomasa.

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 aplicadas. Cocola, Guerrero, verano de 2011.

Nitrógeno	Fósforo	BT	IC	RG	P100G	NG	NV	NGV	EUAG	EUAB
		g m ⁻²	%	g m ⁻²	G	No. m ⁻²		No.	g m ⁻² mm ⁻¹	
0	0	293 c [†]	31.1 a	88 d	20.3 a	430 c	25 d	17.0 a	0.194 d	0.65 c
	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
75	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	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
150	0	521 ab	26.3 b	139 ab	20.0 a	756 a	48 ab	17.0 a	0.306 ab	1.15 ab
	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
DMS		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

[†] 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. DMS = diferencia mínima significativa 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.

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, 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 P.

El RG en función de la interacción N * P, se ajustó a modelos de regresión cuadrática (Figura 1). La aplicación de P150 favoreció más el efecto del N, al producir 0.96 g m⁻² 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 ($R^2 = 0.98^{**}$) y NV ($R^2 = 0.98^{**}$) (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 ($R^2 = 0.98^{**}$) y NV ($R^2 = 0.85^{*}$).

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

La EUA para RG y BT mostró modificaciones altamente significativas por N, interacción N * P y significativos por P (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

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).

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 (**).

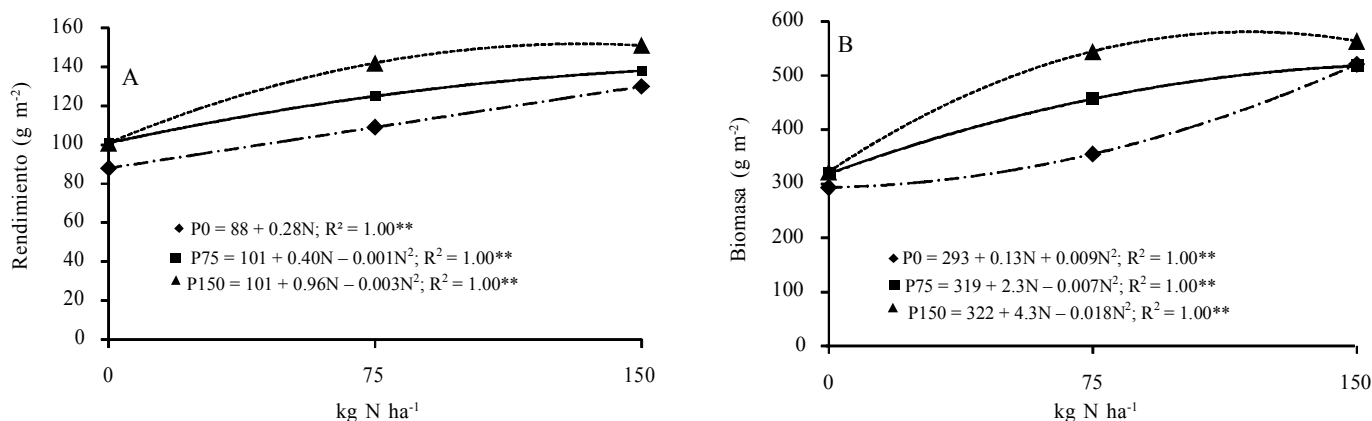


Figura 1. Rendimiento de grano (A) y biomasa total (B) de frijol chino en espaldera de maíz, en función de la dosis de N y P. ** = $P \leq 0.01$. Cocula, Guerrero, verano de 2011.

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 se ajustó a modelos de regresión cuadrática (Figura 2). Con el suministro de P150 se observó una mayor respuesta al N, al incrementar en $0.002 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ y $0.009 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ la EUAG y EUAB respectivamente, por cada kg de N aplicado.

Eficiencia Agronómica del N y P (EAN y EAP)

Los tratamientos mostraron efectos significativos sobre la EAN y 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^{-1} de P. La mayor EAP (6.6 kg kg^{-1} de P) se logró con N150-P75, siendo la EAN de 3.3 kg kg^{-1} 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

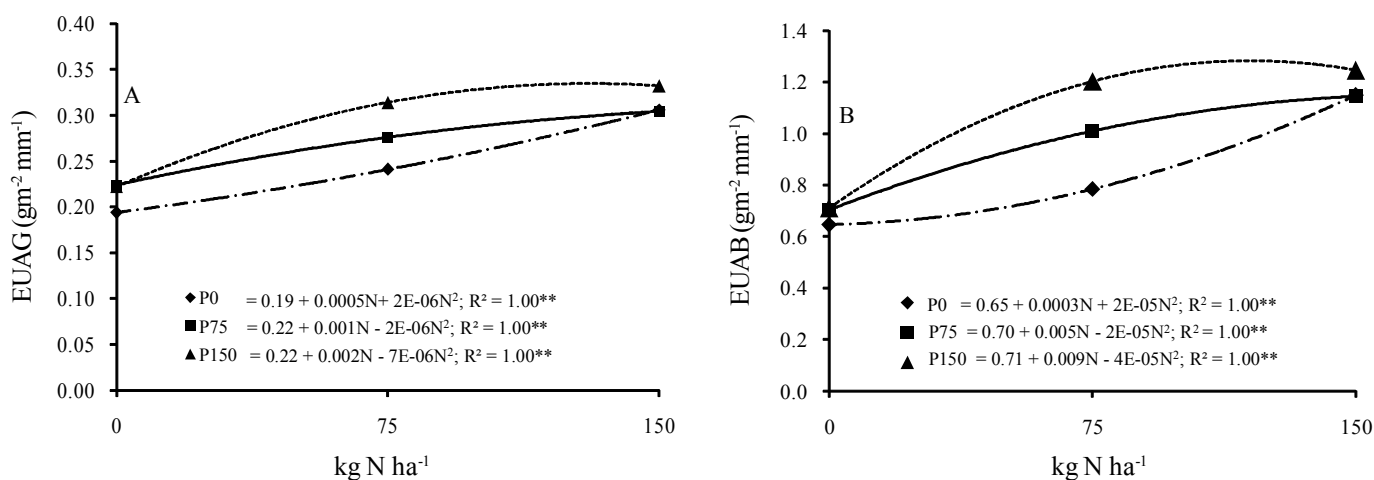


Figura 2. Eficiencia en el uso del agua para grano (EUAG) y biomasa (EUAB) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P. ** = $P \leq 0.01$. Cocula, Guerrero, verano de 2011.

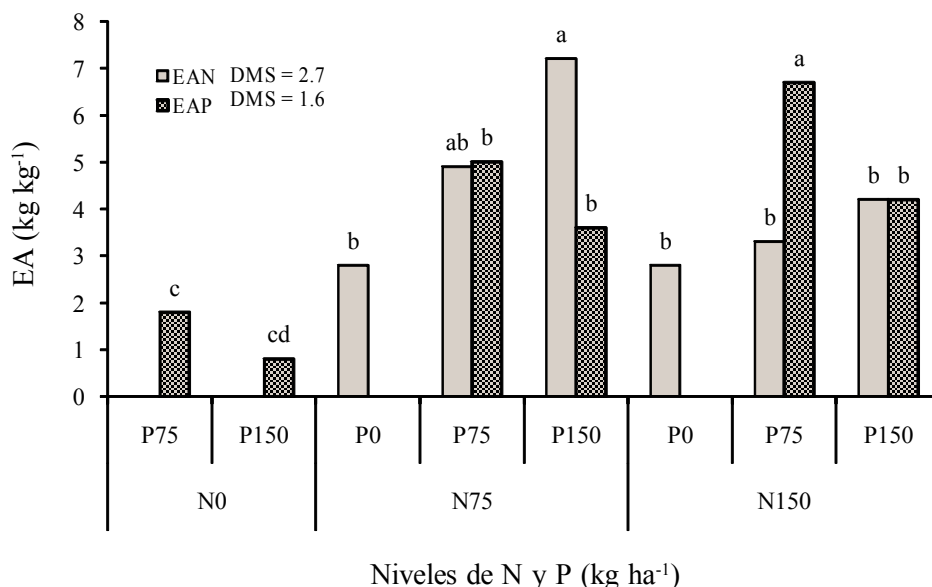


Figura 3. Eficiencia agronómica del N y P (EAN y EAP) de frijol chino en espaldera viva de maíz en función de la dosis de N y P. Cocula, Guerrero, verano de 2011.

4.9 kg kg⁻¹ de N y 5 kg kg⁻¹ de P 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).

El incremento en la dosis de P aumentó la EAN y viceversa, es decir, se observó 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.

Rentabilidad Económica

El mayor RGF y RGM se presentó con la aplicación de N150-P150 (1510 y 6410 kg ha⁻¹ 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

\$3579.18 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.

Finalmente, estos resultados indican que con N y P 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 y se atribuye en parte, al más bajo nivel inicial de N en el suelo (0.08%) y al contenido medio-alto de P (14 mg kg⁻¹). La mejor combinación de N y P, en términos productivos fue N150-P150. Además, con dicha combinación se logró la mayor ganancia económica (IN = \$43 053.75). 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 N y P (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, 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.

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. Cocula, Guerrero, verano de 2011.

Nitrógeno	Fósforo	RGF	RGM	IT	CF	CV	CT	IN
kg ha ⁻¹		\$						
0	0	880	2840	28 820.00	4200	2126.80	6326.80	22 493.20
	75	1010	3250	33 025.00	4200	4115.36	8315.36	24 709.64
	150	1010	3690	35 445.00	4200	5761.01	9961.01	25 483.99
75	0	1090	4220	39 560.00	4200	4725.33	8925.33	30 634.67
	75	1250	5590	49 495.00	4200	7072.09	11 272.09	38 222.91
	150	1420	6260	55 730.00	4200	8978.84	13 178.84	42 551.16
150	0	1390	5960	53 630.00	4200	7334.06	11 534.06	42 095.94
	75	1380	6400	55 900.00	4200	9090.72	13 290.72	42 609.28
	150	1510	6410	57 905.00	4200	10 651.27	14 851.27	43 053.73

Ingreso total = rendimiento * precio de grano de maíz (\$ 5.50) y 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.

CONCLUSIONES

- En espaldera viva de maíz, la fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P) 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 P ha⁻¹, 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 ha⁻¹ se logra la más alta eficiencia agronómica del nitrógeno y fósforo en frijol chino.
- Este estudio aporta al conocimiento del manejo de los nutrimentos para lograr mayor producción y eficiencia agronómica del agrosistema frijol chino-maíz.

LITERATURA CITADA

- Abayomi, Y. A., T. V. Ajibade, O. F. Samuel, and B. F. Saadudeen. 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: 170-176.
- Apáez B., P., J. Escalante, M. T. Rodríguez, V. M. Olalde y P. Ramírez. 2009. Frijol chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) su cultivo, importancia económica y medicinal. *Alternativa* 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: 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: 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/mungbean intercropping. *Field Crops Res.* 30: 41-51.
- Díaz-Romeu, R. y A. Hunter. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernaderos. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Domínguez, G. F., G. A. Studdert, H. E. Echeverría y F. H. Andrade. 2001. Sistemas de cultivos y nutrición nitrogenada en maíz. *Cienc. 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, Estado de México.
- 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 en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Cienc. Agríc. Inf.* 20: 16-25.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 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: 2167-2181.
- García, E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- 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. University of Hamburg. Germany.
- 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. Hortic.* 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. *Cienc. Ergo Sum* 14: 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, Guatemala.
- Olaleye, O., F. Olajire, R. C. Abaidoo, and I. Nnenna. 2012. 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 D. Marin. 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: 61-68.
- Ramos-Lara, C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spinola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002. Eficiencia en el uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra*. 20: 465-469.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Singh, B. B., H. A. Ajeigbe, S. A. Tarawali, S. Fernandez-Rivera, and M. Abubakar. 2003. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. *Field Crops Res.* 84: 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. Chapingo, Estado de México.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.