

APLICACIÓN DIVIDIDA Y EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO, USO DE AGUA Y RADIACIÓN, Y RENDIMIENTO DE HABA

Nitrogen Agronomic Efficiency in the use of Water and Radiation in Faba Bean Yield, as Affected by Split Application of Nitrogen

Juan C. Pichardo-Riego¹, J. Alberto Escalante-Estrada^{1‡}, M. Teresa Rodríguez-González¹
y Prometeo Sánchez-García¹

RESUMEN

En México el haba (*Vicia faba* L.) es de gran importancia en la región de los "Valles Altos", donde se cultiva principalmente en condiciones de temporal y se requieren prácticas de manejo que conduzcan a un uso más eficiente de los recursos para mejorar su rendimiento. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación dividida de nitrógeno (N) sobre la fenología, la eficiencia agronómica del N, el uso de agua y radiación solar, la acumulación de biomasa total y el rendimiento de semilla en haba. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 66 y 132 kg ha⁻¹ de N en el momento de la siembra, comparado con la aplicación dividida (50% en la siembra y 50% 40 días después). Los cultivares de haba San Pedro y Cochinera se sembraron con una densidad de 8.3 plantas m⁻². El N, en cualquier forma de aplicación, incrementó la producción de biomasa, el índice de cosecha, el rendimiento de semilla y sus componentes (peso de 50 semillas, número de vainas y semillas m⁻²), de manera más significativa en el cultivar Cochinera. Con la aplicación fraccionada de 132 kg N, en el cultivar Cochinera, se logró la eficiencia más alta en el uso de la radiación para biomasa (1.05 g MJ⁻¹), eficiencia en el uso del agua para biomasa y rendimiento (3.49 y 1.24 g m⁻² mm⁻¹, respectivamente) y, en consecuencia, mayor biomasa y rendimiento con 1046.9 y 371.3 g m⁻², respectivamente. El cultivar Cochinera superó en rendimiento a San Pedro. Así mismo, con la aplicación fraccionada del fertilizante se elevó la eficiencia agronómica del N.

Palabras clave: *Vicia faba* L., unidades calor, evapotranspiración, índice de cosecha, biomasa, componentes de rendimiento.

SUMMARY

In Mexico the faba bean (*Vicia faba* L.) crop is very important. In the "High Valleys" region it is cultivated mainly under rainfed conditions, and it is necessary to generate better management practices that would lead to more efficient use of resources to improve yield. The objective of this study was to determine the effect of split application of nitrogen (N) on phenology, agronomic N efficiency, water and radiation use, total biomass accumulation and seed yield in faba bean. The treatments consisted of application of 0, 66 and 132 kg ha⁻¹ N at sowing as compared to split application (50% at the sowing and 50% 40 days later). The faba bean cultivars San Pedro and Cochinera were sowed at a density of 8.3 plants m⁻² on May 22, 2003, in Montecillo, Mexico. N in both forms of application significantly increased biomass production, harvest index, seed yield and components (weight of 50 seeds, number of pods and seeds per m²) in cultivar Cochinera. With split application of 132 kg N, cultivar Cochinera attained the highest radiation use efficiency for biomass (1.05 g MJ⁻¹) the highest water use efficiency for biomass and yield (3.49 and 1.24 g m⁻² mm⁻¹, respectively) and, consequently, the highest biomass and yield with 1046.9 and 371.3 g m⁻², respectively. Seed yield of Cochinera was higher than that of San Pedro. Also, divided application of the fertilizer increased N use efficiency.

Index words: *Vicia faba* L., heat units, evapotranspiration, biomass, harvest index, yield components.

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

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

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) es de gran importancia social y económica, sobre todo en

la región de los "Valles Altos"; en Puebla, Tlaxcala y el estado de México se encuentran las principales zonas productoras, con un rendimiento promedio, en verde, de 5463 kg ha⁻¹ y de grano de 866 kg ha⁻¹ en el año 2005 (FAO, 2006). Estos rendimientos se consideran bajos para satisfacer la demanda de una población en constante aumento (Sinaha, 1995). Es posible que mediante el uso de variedades mejoradas (Knudsen y Poulsen, 1983) y un manejo más adecuado del cultivo se logre un rendimiento más alto. Dentro de este último, el uso eficiente de la fertilización nitrogenada es determinante para la producción de los cultivos y reducir la pérdida de nitrógeno (N) por lixiviación, denitrificación y volatilización (Malagoli y Saccomani, 1993). Además del costo ambiental, las pérdidas del fertilizante nitrogenado por un manejo inadecuado del mismo reducen la eficiencia en el uso de N y la productividad del cultivo (Bock, 1984). Existen diversas estrategias para elevar la eficiencia en el uso de N, dentro de ellas su aplicación dividida (Dilz, 1988; Sowers *et al.*, 1994; Dinnes *et al.*, 2002). En arroz se encontró que la aplicación fraccionada de 80 y 160 kg ha⁻¹ de N (partes iguales a 35 y 70 días después de la siembra) elevó el rendimiento de grano y el porcentaje de N fertilizante recobrado por el cultivo en condiciones de invernadero (Salgado *et al.*, 1991). Estudios realizados con papa (*Solanum tuberosum* L.) demuestran que la fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento y este efecto es más significativo cuando se aplica en diferentes etapas fenológicas del cultivo (Errebhi *et al.*, 1998; Waddell *et al.*, 1999; Gathungu *et al.*, 2000). En maíz (*Zea mays* L.), Reeves *et al.* (1993) y Silva y Silva (2002) señalan que con la aplicación fraccionada (1/3 en la siembra y 2/3 seis semanas después) de 67 y 134 kg ha⁻¹ de N se logra el máximo rendimiento agronómico, por un incremento en el número de granos por mazorca y el peso de la semilla. Por otra parte, Contreras *et al.* (1996) señalan diferentes dosis de fertilización nitrogenada, las cuales varían con la zona agroecológica, y son más eficientes cuando se aplican de manera fraccionada. De la Peña *et al.* (1990) encontraron el máximo rendimiento al aplicar el N de manera sincronizada con la lluvia. En frijol, con el suministro de N en la emergencia e inicio de la floración, se logra un mayor número de granos por planta y peso de 100 semillas y, por lo tanto, un rendimiento más alto, en relación con una sola aplicación en la emergencia (Gerra *et al.*, 2000). Faria *et al.* (1996), en jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.), encontraron que con 180 kg ha⁻¹ de N aplicado de manera fraccionada en

tres etapas (1/3 al trasplante, 1/3 25 días después y el resto 50 días después del trasplante) se tiene el máximo rendimiento. Por otra parte, Ebelhar y Welch (1996), con 67 y 168 kg ha⁻¹ de N aplicado en el momento de la siembra y de manera fraccionada en algodón (*Gossypium hirsutum* L.), reportan que mediante esta última se logra el rendimiento más alto. De igual manera, Ebelhar *et al.* (1996) y Howard *et al.* (2001) señalan resultados similares. La información sobre el efecto de aplicar en forma dividida el N en haba es limitada. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar su efecto sobre la producción de biomasa, semilla y otros componentes de rendimiento en haba, así como la eficiencia agronómica del N, y el uso del agua y la radiación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante la primavera de 2003, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México (19° 29' N y 98° 53' O y altitud de 2250 m) en condiciones de temporal. El clima es de tipo BS1, que corresponde al menos seco de los áridos, con lluvias en verano y temperatura y precipitación media anual de 14.6 °C y 558.5 mm, respectivamente (García, 1987). El suelo es de textura arcillo-limosa, moderadamente alcalino (pH = 7.8), sin problemas de salinidad (1.7 dS m⁻¹), con 41.3, 8.6, 3.5 y 2.5 meq de Ca, Mg, K y Na, respectivamente. La concentración de materia orgánica en el suelo fue media (3.4%), de N total medianamente rica (0.158%) y rica la de P (método Bray-1) (45.8 mg kg⁻¹). Los cultivares criollos de haba Cochinera, proveniente de Tequexquahuac, Méx., y San Pedro, del Instituto de Investigaciones y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), se sembraron el 22 de mayo de 2003, con una densidad de 8.3 plantas m⁻² (80 x 30 cm). Los tratamientos fueron diez, resultado de la combinación de dos cultivares y la aplicación en el momento de la siembra de 0, 66 y 132 kg ha⁻¹ de N y la aplicación dividida (50% en el momento de la siembra y el resto 40 días después) de 66 (33-33) y 132 (66-66) kg ha⁻¹ de N. La fuente de fertilizante nitrogenado fue urea (46% de N). Además, todo el experimento se fertilizó con 33 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en forma de superfosfato de calcio triple (46%). El diseño experimental fue de bloques al azar con un arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones, correspondiendo a la parcela mayor el cultivar y a la parcela menor la aplicación de N. La unidad experimental fue de

4.0 x 3.0 m (cinco surcos de 3 m de largo). Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima y mínima, la precipitación diaria, la radiación global y la evaporación. Para el registro de las etapas fenológicas se utilizó y adaptó la clave para frijol (Escalante y Kohashi, 1993). La acumulación de unidades calor (UC) se determinó mediante el método residual (Snyder, 1985), el cual se describe por la ecuación:

$$UC = (T_{max} + T_{min}/2) - TB$$

donde: T_{max} = temperatura máxima diaria, T_{min} = temperatura mínima diaria y TB = temperatura base del cultivo que, para el caso de haba, se consideró en 8 °C. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se estimó a partir de la evaporación (E_v) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro (K_e) y 0.8 como coeficiente del cultivo (K_c) (Doorenbos y Pruitt, 1986), mediante la expresión siguiente: $ET_c = E_v K_e K_c$. La eficiencia del uso del agua (EUA), para la biomasa total o rendimiento de grano, se determinó mediante la ecuación (Sinclair *et al.*, 1984):

$$EUA = \text{biomasa total o rendimiento} / ET_c$$

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se estimó mediante la pendiente de la relación lineal obtenida entre la biomasa total y la radiación fotosintéticamente activa (RFA), acumulada durante el ciclo del cultivo (Sinclair y Muchow, 1999). La RFA se obtuvo multiplicando 0.45 por el valor de la radiación global incidente (R_g) (Szeicz, 1974). En el momento de la cosecha se evaluó la materia seca o biomasa total (BT , $g\ m^{-2}$), el índice de cosecha (IC) (relación entre el peso del grano y la $BT/100$), el rendimiento de semilla (Ren , peso de semilla a 10% de humedad, $g\ m^{-2}$), el peso de 50 semillas (PCS, g), el número de semillas (NS, m^{-2}), el número de vainas (NV, m^{-2}) y el número semillas vaina⁻¹ ($SV = NS/NV$). La eficiencia agronómica de N (EAN) (Neeraja *et al.*, 2001) se consideró como el incremento de rendimiento económico de un cultivo por unidad de fertilizante aplicado y se estimó mediante la relación:

$$EAN\ (kg\ de\ semilla\ kg^{-1}\ N) = R_cN - R_sN/CN$$

donde: R_cN = rendimiento de la semilla con suministro de N ($kg\ ha^{-1}$), R_sN = rendimiento de la semilla sin suministro de N ($kg\ ha^{-1}$) y CN = cantidad de N aplicado ($kg\ ha^{-1}$).

Además, se aplicó un análisis económico discreto a la variable rendimiento de semilla, para obtener la dosis óptima económica (mayor ingreso neto), utilizando la relación (Volke, 1982):

$$IN = YP_y - (\sum SiPi + CF)$$

donde: IN = ingreso neto, Y = rendimiento ($kg\ ha^{-1}$), P_y = precio por kg de semilla, $\sum SiPi$ = suma de los costos variables (aplicación y compra de fertilizante nitrogenado), CF = costo fijo (incluye costos de preparación de terreno, deshierbe y aplicación y compra de fertilizante fosfatado).

A las variables de respuesta se les aplicó un análisis de varianza, bajo el modelo estadístico de parcelas divididas. A todas aquéllas que presentaron significancia estadística se les realizó la prueba de comparación de medias (Tukey, $P = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones Ambientales

En la Figura 1 se observa que durante el periodo de siembra se registró la temperatura máxima más alta (34.9 °C), la cual coincidió con la escasa precipitación, por lo que fue necesario aplicar riego antes y después de la siembra. Posteriormente, la temperatura disminuyó conforme el desarrollo del cultivo. Así, para la aparición de los botones florales (R5), la temperatura máxima fue de 30.4 °C, en tanto que para el inicio del desarrollo de la vaina (R7) e inicio de la madurez fisiológica (R8) se presentaron 30 y 29.6 °C, respectivamente. La temperatura mínima durante el desarrollo del experimento osciló entre 5.1 y 12.1 °C, con un promedio de 8.2 °C. La precipitación ocurrida en el ciclo del cultivo fue de 577.6 mm. De ésta, 260.1 y 317.5 mm se presentaron en la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente.

Fenología

Las etapas fenológicas en los cultivares de haba no presentaron cambios significativos por efecto de cultivares y N, tanto por su aplicación unitaria como dividida. Así, la emergencia de plántulas (E) se presentó 14 días después de la siembra (DDS); la aparición de las primeras hojas verdaderas (V1) ocurrió 20 DDS; a los 45 DDS las plantas ya presentaban al menos 10 hojas compuestas (V10); la aparición de los primeros botones

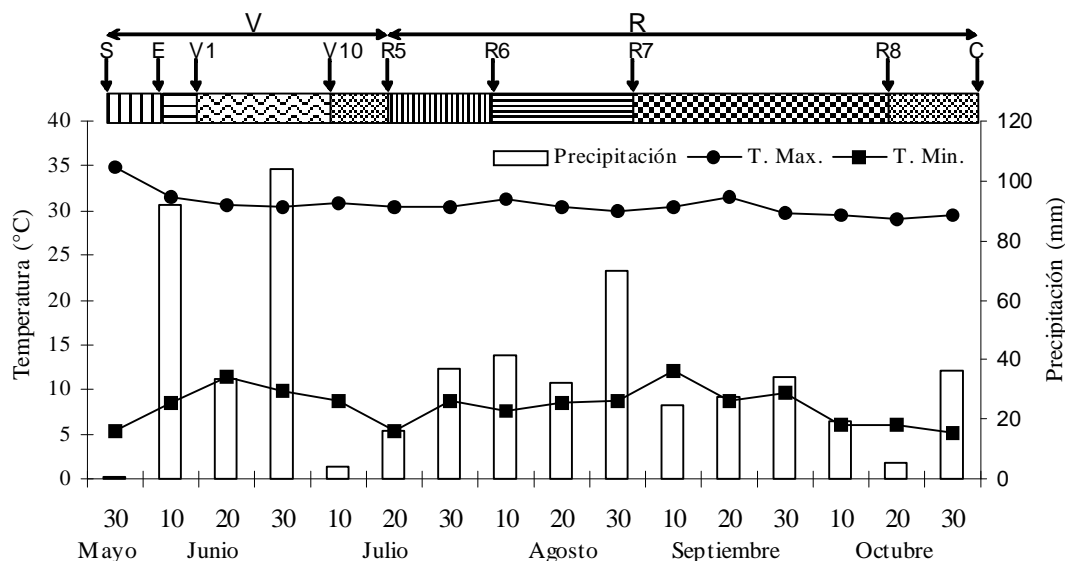


Figura 1. Distribución de la temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (pp, suma decenal) durante el ciclo del cultivo de haba. Montecillo, Méx. Temporal 2003. V = etapa vegetativa, R = etapa reproductiva, S= siembra, E= emergencia, V1 = aparición de la primeras hojas verdaderas, V10 = presencia de al menos 10 hojas compuestas, R5 = aparición de los botones florales, R6 = floración, R7 = desarrollo de vainas, R8 = comienzo de la madurez fisiológica y C = cosecha.

florales (R5) se presentó 65 DDS, seguida de la floración (R6), 9 días más tarde; el desarrollo de las vainas (R7) unido a los 100 DDS y el inicio de la madurez fisiológica se presentó 145 DDS. Así, el ciclo del cultivo concluyó con la cosecha (C), 162 DDS (Figura 1). Respuestas similares al N se han encontrado en la fenología de girasol (Escalante, 1995; Hall *et al.*, 1995; Olalde *et al.*, 2000). En contraste, Bange *et al.* (1997), en girasol; Goungla *et al.* (2003), en maíz; y Agung y McDonald (1998), en haba, encontraron que el ciclo de cada cultivo se acortaba con la aplicación del N. Posiblemente, un déficit hídrico más severo en la etapa reproductiva, inducido por un mayor tamaño del dosel vegetal con el consecuente consumo de agua durante la etapa vegetativa, fue lo que limitó la disponibilidad de este recurso posteriormente.

Unidades Calor

En la Figura 2a se presenta la acumulación de UC, con relación al tiempo. Al igual que la fenología, el requerimiento térmico del cultivo no se afectó por los tratamientos aplicados. En ese sentido, la acumulación, para el haba cultivares San Pedro y Cochinera, fue de 174, 250.8, 561.4, 768.3, 880.6, 1176.7 y 1697.4 UC para emergencia y las etapas V1, V10, R5, R6, R7 y R8, respectivamente. Así, durante el desarrollo de ambos cultivares se acumularon 1869.9 UC. Estos resultados son diferentes de los encontrados por Loss *et al.* (1997),

quienes reportan 993 UC acumuladas de la siembra a la aparición de la primera flor (R5), ya que dichos autores utilizaron una temperatura base más baja (0 °C) para el cálculo de UC y con un ciclo de crecimiento del cultivar diferente.

Evapotranspiración del Cultivo

En la ETc no se observaron cambios por efecto de los tratamientos. Así, en la Figura 2b se observa que, a la emergencia, la ETc fue de 42.6 mm; de emergencia a V1, de 14.2 mm; de V1 a R5, de 81.6 mm; de R5 a R6, de 12 mm; de R6 a R7, de 47.9 mm; y de R7 hasta la cosecha, de 101.8 mm. La ETc estacional fue de 300 mm.

Biomasa Total e Índice de Cosecha

La producción de BT y el IC presentaron cambios significativos por la aplicación de N solamente (Cuadro 1). El N, en cualquier forma de aplicación, incrementó la biomasa y el IC. El incremento en la producción de BT puede atribuirse a una mayor radiación interceptada por un mayor tamaño del dosel vegetal, estimulado por el N, como lo han reportado en otros cultivos Kitani y Hall (1990), Taylor *et al.* (1991) y Díaz *et al.* (2004). En ese sentido, en ambos cultivares, la producción de biomasa más alta se logró con la aplicación dividida de 132 kg ha⁻¹ de N (66-66): Cochinera

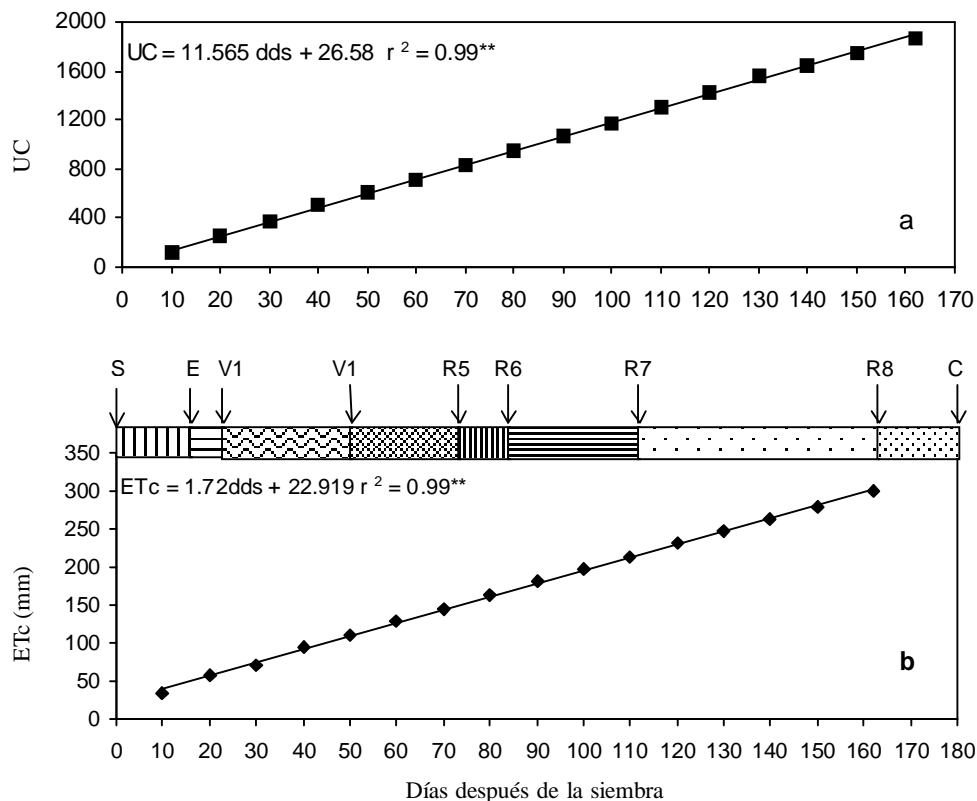


Figura 2. Unidades calor (UC) (a), y Evapotranspiración (ETc) (b) en haba cultivar San Pedro y Cochinerá, acumulada durante el desarrollo del cultivo. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

1046.9 g m⁻² y San Pedro 911.7 g m⁻² (Cuadro 1). Dicha respuesta puede deberse al manejo más eficiente del N, ya que cuando todo el N se aplica en el momento de

la siembra, parte se pierde por lixiviación o denitrificación, reduciendo su disponibilidad para el cultivo (Bock, 1984). La producción de biomasa más baja se encontró en

Cuadro 1. Rendimiento y sus componentes, biomasa e índice de cosecha en función de nitrógeno en dos cultivares de haba. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

Cultivar	N	SV	NV	NS	Ren	PCS	BT	IC
	kg ha ⁻¹		----- m ⁻² -----		g m ⁻²	g	g m ⁻²	%
San Pedro	0	1.5	74.5	112.1	91.8	42.9	604.5	16
	66	1.65	105.8	174.3	178.6	51.9	674.6	27
	33-33	1.75	116.2	202.9	224.8	57	748.9	31
	66-66	1.95	143.2	280.5	291.6	54.2	911.7	32
	132	1.7	97.5	164.8	177.2	52.6	697.6	25
Cochinerá	0	1.85	132.8	246.9	160	33.5	689.6	24
	66	1.9	172.2	328.3	280	43.4	803.7	35
	33-33	2.2	166	370.2	284.5	36.3	833.6	37
	66-66	2.05	236.6	469.8	371.3	40.2	1046.9	35
	132	2	176.4	359	203.1	29.4	675.9	30
Pro F	C	**	**	**	**	**	NS	NS
	N	NS	**	**	**	NS	**	**
	C x N	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

** = P < 0.005, NS = no significativas a P < 0.05. SV = semillas vaina⁻¹, NV = número de vainas, NS = número de semillas, Ren = rendimiento, PCS = peso de cincuenta semillas, BT = biomasa total, IC = índice de cosecha, C = cultivar, N = nitrógeno, C x N = interacción cultivar-nitrógeno.

el testigo (sin aplicación de N), de 604.5 y 689.6 g m⁻² para San Pedro y Cochinera, respectivamente (Cuadro 1). Por otra parte, el haba con N mostró un IC más alto que el testigo (Cuadro 2); con la aplicación de 33-33 y 66-66 kg ha⁻¹ de N se logró el IC más alto (33%), mientras que en el testigo fue de 19% (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que mediante la aplicación dividida de N puede lograrse una mayor acumulación de materia seca hacia el órgano de interés agronómico, el grano, respecto a la producción de BT. Lo anterior indica que el IC más alto se debe a una mayor demanda de materia seca, generada por un mayor número de vainas y semillas con relación al frijol sin N. Por otra parte, aunque las diferencias en IC no fueron significativas, se observó una tendencia del cultivar Cochinera a ser más eficiente en acumular materia seca en el grano (Cuadro 2).

Rendimiento y sus Componentes

El análisis de varianza para el rendimiento (peso seco del grano o semilla) mostró cambios significativos por efecto del cultivar y la aplicación de N solamente (Cuadros 1 y 2). Con la fertilización nitrogenada se logró el rendimiento más alto, en particular en su forma fraccionada, debido a que estimuló la producción de vainas, semillas y un IC más alto (Cuadro 2). Por otra parte, el cultivar Cochinera fue el que mostró el mayor rendimiento, con 253.8 g m⁻², el cual se asoció con un mayor número de vainas y semillas m⁻², y mayor IC (32%). El cultivar San Pedro mostró el rendimiento más bajo, con 192.7 g m⁻². Así mismo, con la aplicación dividida de 132 kg ha⁻¹ de N (66-66) se logró el rendimiento más alto, 371 g m⁻² para Cochinera y

292 g m⁻² para San Pedro (Cuadro 1). Tendencias similares encontraron Torbet *et al.* (2001) y Randall *et al.* (2003) en maíz, y Waddell *et al.* (1999) en papa, al evaluar la fertilización fraccionada de N. Cambios significativos en el PCS, solamente se observaron debido al cultivar. Así, San Pedro presentó un PCS de 51.7 g, mientras que Cochinera uno de 36.5 g (Cuadro 2).

Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR)

La RFA estacional durante el desarrollo del cultivo fue de 1349.1 MJ m⁻². Así, en las Figuras 3 y 4 se observa que en ambos cultivares la EUR para la producción de biomasa fue superior en los tratamientos con N, en relación con el testigo (0 N), esto posiblemente debido a una mayor área foliar y radiación interceptada por el dosel vegetal. Resultados similares encontraron Steer *et al.* (1993), Gimenez *et al.* (1994), Bange *et al.* (1997) y Escalante (1999), en girasol, y Wright *et al.* (1993), en cacahuete. La EUR para el cultivar San Pedro fue de 0.57, 0.62, 0.69, 0.85 y 0.64 g MJ⁻¹ (Figura 3) y para Cochinera de 0.65, 0.75, 0.78 0.94 y 0.63 g MJ⁻¹ para 0, 66, 33-33, 66-66 y 132 kg N, respectivamente (Figura 4). En ese sentido, la aplicación dividida de 132 kg N estimuló una mayor EUR en el cultivar Cochinera (Figura 4), con 0.94 g MJ⁻¹. La respuesta de este cultivar se asemeja con lo reportado por Minguez *et al.* (1993), quienes encontraron una EUR en haba de 1.10 y 1.15 g m⁻² MJ⁻¹ al fertilizar con 200 y 300 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Por otro lado, en ambos cultivares la menor EUR se encontró en los tratamientos sin fertilización (0.57 y 0.65 g MJ⁻¹ para San Pedro y Cochinera, respectivamente).

Cuadro 2. Rendimiento y sus componentes, biomasa e índice de cosecha en función de nitrógeno en dos cultivares de haba. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

Factor	SV	NV	NS	Ren	PCS	BT	IC
		----- m ⁻² -----		g m ⁻²	g	g m ⁻²	%
† S. Pedro	1.71 b	107.4 b	186.9 b	192.7 b	51.7 a	727.4 a	26 a
Cochinera	2.00 a	176.7 a	354.9 a	253.8 a	36.5 b	781.4 a	32 a
DSH _{0.05}	0.24	15.9	33.23	33.9	5.25	219.3	7.5
‡ 0	1.67 a	103.7 c	179.5 b	125.9 c	38.2 a	647.0 b	19 b
66	1.77 a	139.0 b	251.2 b	229.3 b	47.6 a	739.1 b	31 a
33-33	1.97 a	142.1 b	286.5 ab	234.6 b	46.6 a	759.4 b	33 a
66-66	2.00 a	189.8 a	375.1 a	331.4 a	47.2 a	979.2 a	33 a
132	1.85 a	136.9 b	261.8 b	190.1 bc	41.0 a	686.6 b	27 ab
DSH _{0.05}	0.58	33.5	111.1	75.8	17.3	159.2	9.4

† Valor medio de cultivar, ‡ Valor medio del nitrógeno, DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta a 5%. SV = semillas vaina⁻¹, NV = número de vainas, NS = número de semillas, Ren = rendimiento, PCS = peso de cincuenta semillas, BT = biomasa total, IC = índice de cosecha.

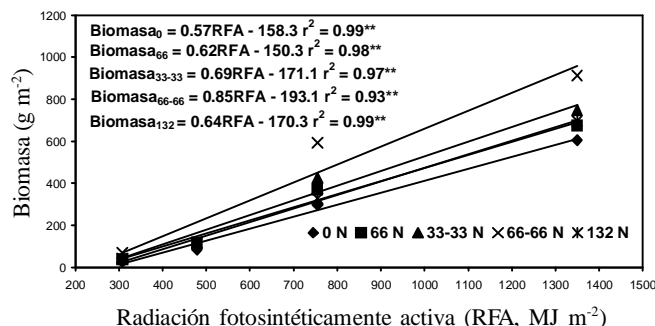


Figura 3. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en haba cultivar San Pedro en función de la aplicación dividida de nitrógeno. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

La eficiencia en el EUA, con relación a la producción de biomasa y rendimiento de semilla, presentó cambios significativos por efecto del cultivar y la fertilización nitrogenada (Cuadro 3). En ese sentido, la EUA en la producción de biomasa total y rendimiento de grano fue más alta en el cultivar Cochinera que en el cultivar San Pedro (Cuadro 4). En ambos, con la aplicación dividida de 132 kg ha⁻¹ de N, se logró una mayor EUA para biomasa y producción de semilla, en comparación cuando esta dosis se aplicó una sola vez y con el testigo (0N), que mostró la EUA más baja (Cuadros 3 y 4). Hatfield *et al.* (1988), en trigo, y Escalante (1995) y Olalde *et al.* (2000), en girasol, también encontraron que el incremento

Cuadro 3. Eficiencia en el uso del agua para biomasa (EUABio) y rendimiento (EUARen) y eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) en haba en función del nitrógeno y su aplicación dividida en dos cultivares de haba. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

Cultivar	N	EUABio	EUARen	EAN
	kg ha ⁻¹	- - - g m ⁻² mm ⁻¹ - - -	- - -	kg (kg N) ⁻¹
San Pedro	0	2.02	0.31	---
	66	2.25	0.60	13.17
	33-33	2.50	0.75	20.16
	66-66	3.04	0.97	15.14
	132	2.33	0.59	6.48
Cochinera	0	2.30	0.53	---
	66	2.60	0.85	14.32
	33-33	2.68	0.93	18.19
	66-66	3.49	1.24	16.00
	132	2.25	0.68	9.93
Pro F	C	NS	**	NS
	N	**	**	**
	C x N	NS	NS	NS

**significativo con una P ≤ 0.05, NS = diferencias no significativas. N = nitrógeno, C x N = interacción cultivar-nitrógeno.

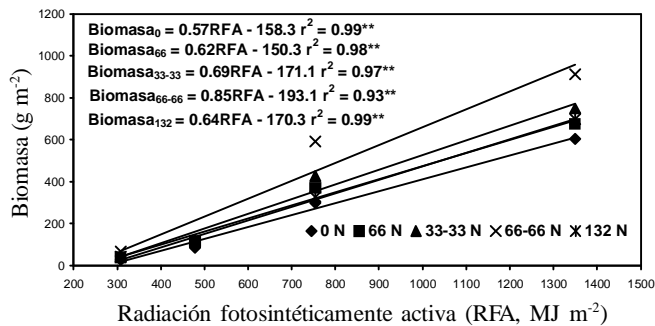


Figura 4. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en haba cultivar Cochinera en función de la aplicación dividida de nitrógeno. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

en la producción de biomasa y rendimiento de semilla fue resultado de una mayor eficiencia en el uso del agua debido al manejo de la fertilización nitrogenada.

Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN)

La EAN mostró cambios significativos por efecto del N solamente. La aplicación única de 132 kg ha⁻¹ de N presentó una EAN inferior que las demás formas y dosis de aplicación de N (Cuadros 3 y 4). Tendencias similares reportan Dilz (1988), Sowers *et al.* (1994) y Kanampiu *et al.* (1997), en trigo, y Salgado *et al.* (1991) y Contreras *et al.* (1996), en maíz.

Análisis Económico

En el Cuadro 5, que presenta el análisis económico para el rendimiento de semilla, se observa que en ambos cultivares, con la aplicación fraccionada de 132 kg ha⁻¹

Cuadro 4. Eficiencia en el uso del agua para biomasa (EUABio) y rendimiento (EUARen) y eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) en haba en función del nitrógeno y su aplicación dividida en dos cultivares de haba. Montecillo, Méx. Temporal 2003.

Factor	EUABio	EUARen	EAN
	- - - g m ⁻² mm ⁻¹ - - -	- - -	kg (kg N) ⁻¹
† S. Pedro	2.42 a	0.64 b	13.78 a
Cochinera	2.60 a	0.84 a	14.61 a
DSH _{0.05}	0.73	0.73	9.03
‡ 0	2.15 b	0.42 c	---
66	2.46 b	0.76 b	15.67 a
33-33	2.40 b	0.79 b	17.24 a
66-66	3.26 a	1.10 a	15.57 a
132	2.28 b	0.63 bc	8.57 b
DSH _{0.05}	0.53	0.25	6.71

† Valor medio de cultivar, ‡ Valor medio del nitrógeno, DSH_{0.05} = diferencia significativa honesta a 5%.

Cuadro 5. Rendimiento, costos e ingreso neto para haba en función del cultivar y la aplicación dividida de nitrógeno. Montecillo, Méx. Temporal 2003. Datos promedio de cuatro repeticiones.

Cultivar	Nitrógeno	Rendimiento	Ingreso total	Costo fijo	Costo variable	Costo total	Ingreso neto
	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	-----	-----	----- \$ -----	-----	-----
San Pedro	0	918	9180	2000	0	2000	7180
	66	1786	17860	2000	539.2	2539.2	15320.8
	33-33	2248	22480	2000	539.2	2539.2	19940.8
	66-66	2916	29160	2000	1078.4	3078.4	26081.6
	132	1712	17120	2000	1078.4	3078.4	14041.6
Cochinera	0	1600	16000	2000	0	2000	14000
	66	2800	28000	2000	539.2	2539.2	25460.8
	33-33	2845	28450	2000	539.2	2539.2	25910.8
	66-66	3713	37130	2000	1078.4	3078.4	34051.6
	132	2031	20310	2000	1078.4	3078.4	17231.6

Ingreso total = rendimiento x precio por kilogramo de semilla de haba (estimado en \$10.00), Costo fijo = incluye costos de preparación del terreno, deshierbe y la aplicación de 33 kg de P₂O₅ ha⁻¹, Costo variable = incluye el costo de nitrógeno (\$8.17 kg⁻¹), Costo total = costo fijo + costo variable, Ingreso neto = ingreso total - costo total.

de N (66-66 kg ha⁻¹ de N), se generó el mayor ingreso neto, con el cultivar Cochinera.

En resumen, estos resultados indican que con la aplicación de N, particularmente de manera fraccionada, el haba hace un uso más eficiente de los recursos necesarios para la producción (medidos a través de la EUR, EUA y EAN). Esto se reflejó en una mayor producción de biomasa, mayor número de vainas, semillas e IC y, en consecuencia, un rendimiento de semilla e ingreso económico más altos. En general, el número de semillas por vaina y el tamaño de la semilla no fueron afectados por la aplicación de N, lo cual indica que son caracteres más estables ante cambios en el nivel de N. En cuanto a los cultivares, aunque mostraron una fenología similar, Cochinera produce mayor número de semillas por vaina, vainas, semillas y, en consecuencia, un rendimiento más alto que San Pedro, aunque este último mostró mayor tamaño de semillas.

CONCLUSIONES

Los cultivares Cochinera y San Pedro muestran un rendimiento de biomasa similar. El cultivar Cochinera muestra un mayor índice de cosecha, número de semillas por vaina, número de semillas por m² y rendimiento de grano por m² más alto que el cultivar San Pedro. El nitrógeno, en cualquier forma de aplicación, no afecta la fenología, ni la acumulación de calor y radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo del cultivo. Con la aplicación dividida de nitrógeno se logra una mayor eficiencia en el uso del agua, y la radiación y eficiencia

agronómica del nitrógeno y, en consecuencia, mayor producción de biomasa, índice de cosecha y rendimiento de semilla.

LITERATURA CITADA

- Agung, S. and G. K. McDonald. 1998. Effect of size and maturity on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) Aust. J. Agric. Res. 49: 79-88.
- Bange, M. P., G. L. Hammer, and K. G. Ricken. 1997. Effect of specific leaf nitrogen on radiation-use efficiency and growth of sunflower. Crop Sci. 37: 1201-1207.
- Bock, B. R. 1984. Efficient use of nitrogen in cropping systems. pp. 273-294. In: R. D. Hauck (ed.). Nitrogen in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Contreras R., J., R. Núñez E., V. Volke H., E. Sandoval C. y A. Martínez G. 1996. Generación de tecnología agrícola para maíz de secano en la región de Serdan, Puebla. Agrociencia 30: 479-486.
- De la Peña L., J. A., R. Nuñez E., R. Fernández G. y A. Martínez G. 1990. Evaluación agronómica de un fertilizante fluido y oportunidad de su aplicación en maíz de temporal. Agrociencia serie Agua-Suelo-Planta 1: 181-200.
- Díaz O., A. C., J. A. Escalante E., A. Trinidad S., P. Sánchez G., C. Mapes S. y D. Martínez M. 2004. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. Terra Latinoamericana 22: 109-116.
- Dilz, K. 1988. Efficiency of uptake and utilization of fertilizer nitrogen by plants. pp. 1-26. In: D. S. Jenkinson and K. A. Smith (eds.). Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science. London, England.
- Dinnes, D. L., D. L. Karlen, D. B. Jaynes, T. C. Kaspar, J. L. Hatfield, T. S. Calvin, and C. A. Cambardella. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile drained Midwestern soils. Agron. J. 94: 153-172.

- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Riego y Drenaje Manual 24. Food and Agricultural Organization. Roma, Italia.
- Ebelhar, M. W. and R. A. Welch. 1996. Cotton response to multiple split applications of nitrogen. pp. 1345-1348. *In*: P. Dugger and D. Richter (eds.). National Cotton Council of America. Memphis, TN, USA.
- Ebelhar, M. W., R. A. Welch, and W. R. Meredith. 1996. Nitrogen rates and mepiquat chloride effects on cotton lint yield and quality. pp. 1377-1378. *In*: Proc. Beltwide Cotton Conf. National Cotton Council of America. Memphis, TN, USA.
- Errebhi M., C. J. Rosen, S. C. Gupta, and D. E. Birong. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J.* 90: 10-15.
- Escalante E., J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 1: 28-32.
- Escalante E., J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 144-157.
- Escalante E., J. A. y J. Kohashi. 1993. Rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 2006. Disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture> (Consulta: junio 19, 2006).
- Faria, C. M. B., J. R. Pereira, N. D. Costa, F. A. Silva, M. E. Alves, S. Nakane, J. L. Freitas, e A. H. Rodrigues. 1996. Niveis e parcelamento de nitrogenio em tomateiro rasteiro com plantio direto no submedio Sao Francisco. *Pesq. Agropec. Bras.* 31: 181-186.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a ed. Larios. México, D. F.
- Gathungu, G. K., S. I. Shibauro, S. M. Githiri, M. W. K. Mburu, and P. S. Ojiambo. 2000. Effect of source, time and method of nitrogen application on growth and yield components of potato in Kenya. *African Crops Sci. J.* 8: 387-402.
- Gerra, F. A., D. J. Da Silva, e G. C. Rodrigues. 2000. Manejo de irigacao e fertilizacao nitrogenada para o feijoeiro na regio dos cerrados. *Pesq. Agropec. Bras.* 35: 1229-1236.
- Jimenez, C., D. J. Connor, and F. Rueda. 1994. Canopy development, photosynthesis and radiation - use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Res.* 38: 15-27.
- Goungla, D. T., J. G. Kling, and A. O. Togun. 2003. CERES - Maize predictions of maize phenology under nitrogen - stressed conditions in Nigeria. *Agron. J.* 95: 892-899.
- Hall, A. J., D. J. Connor, and V. O. Sadras. 1995. Radiation use efficiency of sunflower crops: effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. *Field Crops Res.* 41: 65-77.
- Hatfield, J. L., A. Boer, E. T. Kanomasu, D. J. Major, B. L. Bland, R. J. Reginato, and K. G. Habband. 1988. Yield and water use of winter wheat, in relation to latitude, nitrogen and water. *Agric. For. Meteorol.* 49: 187-195.
- Howard, D. D., C. O. Gwathmey, M. E. Essington, R. K. Roberts, and M. D. Mullen. 2001. Nitrogen fertilization of no-till cotton and loess-derived soils. *Agron. J.* 93: 157-163.
- Kanamptu, F. K., W. R. Raun, and J. V. Gordon. 1997. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. *J. Plant Nutr.* 20: 389-404.
- Kitani, O. and C. W. Hall. 1990. Biomass handbook. Gordon and Breach Science. New York, NY, USA.
- Knudsen, J. C. and M. H. Poulsen. 1983. Pollination studies on the closed flower mutant of *Vicia faba* L. *Z. Pflanzenzücht.* 90: 106-115.
- Loss, S. P., K. H. M. Siddique, and L. D. Martin. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environments. II. Phenology, canopy development, radiation absorption and biomass partitioning. *Field Crops Res.* 52: 29-41.
- Malagoli, M. G. and M. Saccomani. 1993. Assessment of a selection pressure for improved nitrate and sulfate recovery by maize. *J. Plant Nutr.* 16: 713-722.
- Minguez, M. I., B. Ruiz-Nogueira, and F. Sau. 1993. Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field Crops Res.* 33: 435-447.
- Neeraja, G. K., R. Malla, M. Suryanarayana, and V. Praveen. 2001. Influence of irrigation and nitrogen levels on bulb yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiency in onion. *Indian J. Agric. Sci.* 71: 109-112.
- Olalde G., V. M., J. A. Escalante, P. Sánchez, L. Tijerina, E. M. Engleman y A. M. Mastache. 2000. Eficiencia en el uso del agua, nitrógeno y rendimiento del girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18: 51-59.
- Randall, G. W., J. A. Vetsch, and J. R. Huffman. 2003. Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by time of nitrogen application and nitrpyrin. *Agron. J.* 1213-1219.
- Reeves, D. W., C. W. Wood, and J. T. Touchton. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation tillage system. *Agron. J.* 85: 98-106.
- Salgado G., S., R. Núñez E. y J. D. Etchevers B. 1991. Manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de temporal en la Chontalpa, Tabasco. *Agrociencia serie Agua-Suelo-Clima* 2: 177-197.
- Silva, P. S. L. e P. I. B. Silva. 2002. Efeitos de épocas de aplicacao de nitrogenio no rendimento de graos do milho. *Pesq. Agropec. Bras.* 37: 1057-1064.
- Sinaha, S. K. 1995. Las leguminosas alimenticias. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215-265.
- Sinclair, T. R., C. B. Tanner, and J. M. Bennett. 1984. Water use efficiency in crop production. *BioScience* 34: 36-40.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Sowers, K. E., W. L. Pamn, B. C. Miller, and J. C. Smith. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron J.* 86: 942-948.
- Steer, B. T., S. P. Milroy, and R. M. Kamona. 1993. A model to simulate the development, growth and yield of irrigated sunflower. *Field Crops Res.* 32: 83-99.
- Szeicz, G. 1974. Solar radiation for plant growth. *J. Appl. Ecol.* 11: 617-636.
- Taylor, A. J., C. J. Smith, and I. B. Wilson. 1991. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). *Fert. Res.* 29: 249-260.
- Torbet, A. H., K. N. Potter, and J. E. Morrison. 2001. Tillage system, fertilizer nitrogen rate and timing effect on corn yields in the Texas Blackland Prairie. *Agron. J.* 93: 1119-1124.

- Volke H., V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Waddell, J. T., S. C. Gupta, J. F. Moncrief, C. J. Rosen, and D. D. Steele. 1999. Irrigation and nitrogen management effects on potato yield, tuber quality and nitrogen uptake. *Agron. J.* 91: 991-997.
- Wright, G. C., M. J. Bell, and G. L. Hammer. 1993. Leaf nitrogen content and minimum temperature interactions affect radiation-use efficiency in peanut. *Crop Sci.* 33: 476-481.