

RESPUESTA DEL PAPAYO A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN UN LUVISOL

Response of Papaya Tree to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization in a Luvisol

J. Emilio Bueno-Jáquez^{1,2}, Alejandro Alonso-López¹, Víctor Volke-Haller², Felipe Gallardo-López³, M. Miguel Ojeda-Ramírez⁴ y Raúl Mosqueda-Vázquez¹

RESUMEN

En condiciones de campo, se evaluaron tratamientos de fertilización con N, P y K, para determinar la respuesta del papayo (*Carica papaya* L.) en términos de crecimiento, rendimiento y dosis óptima económica en un Luvisol de la región Central Costera del estado de Veracruz, México. Los factores y dosis de estudio fueron: nitrógeno (N), 0, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹; fósforo (P₂O₅), 0, 65, 130 y 195 kg ha⁻¹; y potasio (K₂O), 0, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹. Los factores y sus dosis se combinaron en un diseño de tratamientos San Cristóbal, que comprende 12 tratamientos distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Las variables en estudio fueron: altura de planta, ancho del dosel, circunferencia de tallo y rendimiento de fruto con valor comercial acumulado de 23 cosechas. Los análisis de varianza para las variables de crecimiento, indican efecto significativo de tratamientos para altura de planta, ancho del dosel y circunferencia de tallo a 142 días, para ancho del dosel y circunferencia de tallo a 262 días, y para circunferencia de tallo a 382 días después del trasplante. La respuesta anterior se debió a que las aplicaciones de fósforo (P₂O₅), en general, superaron las variables de crecimiento en comparación con aquellos tratamientos que no recibieron fertilización fosfatada. El análisis de regresión determinó una función de respuesta con efecto del nitrógeno y fósforo sobre el rendimiento de fruto. Se concluyó que

el rendimiento óptimo económico fue de 91.787 t ha⁻¹, con una fertilización de 220 kg ha⁻¹ de N y 145 kg ha⁻¹ de P₂O₅, que generó un ingreso neto de \$ 112 853.10 ha⁻¹ y una tasa de retorno al capital total de 454%.

Palabras clave: Carica papaya L., fertilizantes, función de producción.

SUMMARY

Under field conditions, fertilization treatments with N, P, and K were evaluated to determine the response of papaya tree (*Carica papaya* L.) in terms of growth, yield, and optimum economic dose in a Luvisol in the central coastal region of Veracruz, Mexico. In this study, the factors with their respective levels were nitrogen (N), 0, 150, 300, and 450 kg ha⁻¹; phosphorus (P₂O₅), 0, 65, 130, and 195 kg ha⁻¹; and potassium (K₂O), 0, 150, 300, and 450 kg ha⁻¹. The factors and their respective levels were combined in a design of San Cristobal treatments, which comprised 12 treatments distributed at random in an experimental design of blocks with three replicates. The variables under study were plant height, canopy width, stem circumference, and fruit yield with accumulated commercial value of 23 harvests. The variance analyses for growth variables showed significant treatment effect for plant height, canopy width and stem circumference in 142 days after transplant; for canopy width and stem circumference in 262 days after transplant, and for stem circumference in 382 days after transplant. Such a response was due to the fact that phosphorus applications (P₂O₅) in general were above the growth variables in comparison to those treatments which did not include phosphorus fertilization. The regression analysis determined a response function with nitrogen and phosphorus effect on fruit yield. It was concluded that 91.787 t ha⁻¹ was the optimum economic yield obtained with a fertilization of 220 kg ha⁻¹ N and 145 kg ha⁻¹ P₂O₅, generating \$112 853.10 ha⁻¹ as net income and 454% as total capital rate of return.

¹ Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. Veracruz, Veracruz, México.

² Autor responsable (bujemx@yahoo.com.mx)

³ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México.

⁴ Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Cárdenas, Tabasco, México.

⁵ Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana. Jalapa, Veracruz, México.

Recibido: Abril de 2003. Aceptado: Octubre de 2004.

Publicado como nota de investigación en

Terra Latinoamericana 23: 409-415.

Index words: *Carica papaya L., fertilizers, yield functions.*

INTRODUCCIÓN

En México, el papayo (*Carica papaya L.*) ocupa el vigésimo tercer lugar entre los cultivos perennes con una superficie cosechada de 17 156 ha y una producción de 672 377 t. El estado de Veracruz es el productor más importante con una superficie cosechada de 5194 ha y una producción de 160 454 t, lo que da un promedio de 30.892 t ha⁻¹, rendimiento que es inferior a la media nacional, con un valor de 33.319 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2000). El papayo se produce en Veracruz en condiciones principalmente de temporal (91.3%), en las cuales se tiene una producción promedio de 30.387 t ha⁻¹, que puede considerarse baja. Para incrementar esta producción se requiere mejorar el manejo en número de plantas, fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica, entre otros factores.

El N es esencial para la utilización de los carbohidratos, además de estimular el desarrollo y crecimiento de la planta; el P tiene su efecto más importante en la fotosíntesis, floración, fructificación, formación de semilla, maduración del fruto y desarrollo de raíces; el K es un activador de las enzimas responsables de la síntesis de almidón, reducción de nitratos y degradación de azúcares, también incrementa la resistencia del cultivo a las enfermedades y aumenta el número de frutos (Brady, 1990).

Muchos trabajos se han realizado para determinar cómo afecta el N, P y K al cultivo del papayo. Con relación a N, Reddy *et al.* (1990) encontraron que este elemento adelanta la floración e incrementa, de una manera significativa, la producción de frutos y concluyeron que 250 g planta⁻¹ año⁻¹ de N es la dosis óptima para tener una producción de 56.640 t ha⁻¹ en un período de 12 meses. En cambio, Werner (1992), en un intervalo de aplicación de 50 a 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, encontró un incremento en la producción del cultivo de papayo en forma lineal. Por su parte, Purohit (1977), en un suelo limo-arenoso, encontró que 191 y 382 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P₂O₅ aumentaron significativamente la producción en comparación con las plantas testigo. En cambio, Awada *et al.* (1975) encontraron, en un suelo ácido en Poamoho, Hawai, que la fertilización con P incrementó la velocidad de crecimiento de la circunferencia de los tallos en la etapa inicial de crecimiento; sin embargo,

el incremento en producción de frutos comerciales no fue significativo por el aporte de los fertilizantes fosfatados. En relación con K, una aplicación de 72 kg ha⁻¹ de K₂O dio una producción de 100 kg planta⁻¹ en Puna, Hawai (Awada, 1977).

La cantidad y el tipo más adecuado de fertilizante por utilizar depende del cultivo, del clima, de los factores económicos y de las prácticas agronómicas (Thompson y Troeh, 1980). Un plan de fertilización para plantaciones de papayo de 2000 plantas ha⁻¹ entre seis y 12 meses es entre 40-60, 80-120 y 30-60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (Chirinos, 1999). En tanto que De los Santos-de la Rosa *et al.* (2000), en plantaciones de temporal para el estado de Veracruz, recomendaron aplicar al suelo el tratamiento de fertilización 115-65-100 (kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O). Sin embargo, debido a las condiciones agronómicas variables en las cuales debe desarrollarse el cultivo del papayo, es necesario determinar para cada condición, la dosis óptima de fertilización que maximice el rendimiento del cultivo.

Por lo anterior, y ante la falta de una dosis óptima económica para papayo Maradol cuya superficie cultivada se ha incrementado, es necesario determinar la dosis óptima, pues las recomendaciones sobre fertilización para la región central costera del estado de Veracruz se han realizado básicamente para la variedad de papayo tipo Cera.

El objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del papayo a N, P y K, en términos de crecimiento, rendimiento y dosis óptima económica, en un Luvisol de la región central costera del estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en una parcela del ejido Paso San Juan, Veracruz, México, ubicada en el km 20 de la carretera nacional libre Veracruz-Jalapa, en la región central costera del estado de Veracruz, localizada a 19° 11' N y 96° 17' O, con una altitud de 18 m.

El suelo es un Luvisol (INEGI, 1988) y el clima, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1987), es del tipo Aw₁(w)(i)g, que corresponde a un clima cálido húmedo, con una relación P/T que varía de 43.2 a 55.3, un porcentaje de lluvia invernal menor que 5, oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de 5 a 7 °C, el mes más caliente se presenta en mayo, con lluvias anuales del orden de 1050 a 1200 mm. Los valores medios

anuales para temperatura, evaporación y humedad relativa son del orden de 27.8 °C, 1600 mm y 82%, respectivamente. En el sitio experimental, del trasplante a la última cosecha, se tuvo una temperatura promedio de 22.1 °C con una precipitación y evaporación de 1226 y 1543 mm, respectivamente.

Después de la preparación del terreno y antes del trasplante, se realizó el muestreo del suelo a una profundidad de 30 cm en cinco puntos del área experimental, para posteriormente obtener una muestra compuesta. En el Cuadro 1, se encuentran los resultados del análisis físico-químico del suelo. De acuerdo con lo señalado por Vázquez (1996), se trata de un suelo con textura arena migajosa, ligeramente ácido, medianamente pobre en materia orgánica y N total, alto en P y K, sin problemas de sales. De acuerdo con Viets y Lindsay (1973), el Fe y Mn resultaron altos, Zn adecuado y Cu deficiente.

La variedad de papayo utilizada fue Maradol Roja, sembrada para germinación el 19 de diciembre de 2000 en invernadero en vasos de plástico Número 14, utilizando como sustrato germinaza y lombricomposta en proporción de 75 y 25%, respectivamente. Antes de iniciar la emergencia y durante el desarrollo de las plántulas, se proporcionaron riegos diarios. Cuando la mayoría de las plántulas tuvieron dos o más hojas se iniciaron aplicaciones de Captan cada siete días y del fertilizante foliar Gro-Green a razón de 1 y 0.5 g L⁻¹ de agua, respectivamente. Para el control de hormigas, gusanos y otros insectos, se realizaron en el almáximo aspersiones de Malation cada 15 días, utilizando 1.5 mL L⁻¹ de agua.

Los factores en estudio y sus dosis fueron: nitrógeno, 0, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹; fósforo, 0, 65, 130 y 195 kg ha⁻¹ de P₂O₅; y potasio, 0, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹ de K₂O, los cuales se definieron considerando las recomendaciones de fertilización, reportadas por De los Santos *et al.* (2000), para papayo tipo Cera y, además, como referencia, los valores de extracción de N y K indicados por Cunha y Haag (1980), que correspondieron a 150 kg ha⁻¹ de N y 140 kg ha⁻¹ de K₂O, realizando los ajustes por el número de plantas ha⁻¹, definiendo así los niveles de los factores para determinar una superficie de respuesta en función de NPK. Los factores y sus dosis se combinaron en un diseño de tratamientos San Cristóbal (Rojas, 1981; Martínez-Garza, 1988), con 12 tratamientos (Cuadro 2). En el sitio experimental, los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones.

Cuadro 1. Resultados del análisis físico-químico del suelo del sitio experimental.

Determinación	Valor	Método de análisis
pH	6.07	Potenciómetro (Jackson, 1964) (relación suelo-agua 1:2)
MO [†] (%)	1.56	Walkley-Black (Jackson, 1964)
N total (%)	0.073	Macrokjeldahl (Bremner, 1965)
P (mg kg ⁻¹)	25.0	Morgan (Jackson, 1964)
K (mg kg ⁻¹)	112.5	Morgan (Jackson, 1964)
Fe (mg kg ⁻¹)	21.7	DTPA (Lindsay y Norvell, 1978)
Cu (mg kg ⁻¹)	0.19	DTPA (Lindsay y Norvell, 1978)
Zn (mg kg ⁻¹)	0.70	DTPA (Lindsay y Norvell, 1978)
Mn (mg kg ⁻¹)	21.51	DTPA (Lindsay y Norvell, 1978)
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.01	Puente de Wheatstone (Richards, 1990) (relación suelo-agua 1:2)
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.42	Método del petróleo (Anaya, 1978)
CC [‡] (%)	11.88	Olla de presión (Aguilera-Contreras y Martínez-Elizondo, 1996)
PMP [§] (%)	8.55	Membrana de presión (Aguilera-Contreras y Martínez-Elizondo, 1996)
Arena (%)	85.66	Bouyoucos (Bouyoucos, 1936)
Arcilla (%)	8.16	Bouyoucos (Bouyoucos, 1936)
Limo (%)	6.18	Bouyoucos (Bouyoucos, 1936)

[†]MO = materia orgánica, [‡]CC = capacidad de campo, [§]PMP = punto de marchitez permanente.

El experimento se estableció mediante trasplante el 19 de abril de 2001. El marco de plantación fue de 2.8 m entre hileras y de 1.6 m entre matas para tener una densidad de población de 2232 plantas ha⁻¹. La unidad experimental estuvo conformada por tres hileras de 11.2 m de longitud, generando un área de 94.08 m² con 21 plantas; la parcela útil consistió de una hilera con cinco plantas y una superficie de 22.4 m².

Cuadro 2. Tratamientos considerando los factores y niveles de estudio.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		
1	0	0	0
2	0	0	300
3	0	130	0
4	0	130	300
5	300	0	0
6	300	0	300
7	300	130	0
8	300	130	300
9	150	65	150
10	450	65	150
11	150	195	150
12	150	65	450

La aplicación de los fertilizantes se realizó en forma fraccionada: la urea y el sulfato de potasio fueron aplicados 37.5, 37.5 y 25%, el 9 de mayo, 19 de julio y 29 de agosto de 2001, respectivamente, a 21, 92 y 133 días después del trasplante (DDT); el superfosfato triple de calcio, se aplicó 50 y 50%, el 9 de mayo y 19 de julio de 2001, a 21 y 92 DDT, respectivamente.

Como variables de respuesta, se consideraron el crecimiento de la planta y el rendimiento de fruto comercial. El crecimiento del cultivo se expresó en términos de la altura de planta (ALTP), medida desde la base del tallo hasta la parte terminal de las hojas superiores; el ancho del dosel (ADOS), midiendo la máxima amplitud del follaje perpendicular a las hileras de las plantas de papayo; y la circunferencia de tallo (CIRT), medida 10 a 15 cm arriba de la superficie del suelo; todas estas variables se evaluaron a 142, 262 y 382 DDT. La cosecha de fruto con valor comercial (rendimiento) se realizó semanalmente, del 5 de noviembre de 2001 al 8 de abril de 2002, durante un periodo de 157 días, acumulando 23 cortes.

Para determinar el efecto del N, P y K sobre las variables de respuesta, se practicó el análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Para el rendimiento de fruto, también se estimó una función de producción mediante análisis de regresión (Draper y Smith, 1998), considerando un modelo cuadrático como lo señaló Rojas (1981), para un diseño San Cristóbal. Con esta función de producción, se determinaron las dosis óptimas económicas de N, P y K, y el rendimiento óptimo

económico, el máximo ingreso neto y la tasa de retorno considerando el criterio económico de capita¹ ilimitado. Para esto, se utilizó la ecuación de ingreso neto (Martínez y Martínez, 1999), la cual considera la diferencia entre los beneficios brutos y los costos fijos y variables de producción, y se expresa con la función multivariada:

$$IN = YP_Y - (P_1X_1 + P_2X_2 + P_3X_3 + C_0)$$

donde: IN es el ingreso neto; Y es el rendimiento de fruto; P_Y es el precio medio de mercado durante el periodo de cosecha; P_1X_1 , P_2X_2 y P_3X_3 son los precios unitarios de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, los cuales incluyen costo, transporte y aplicación; C_0 son los costos fijos de producción.

La tasa de retorno del capital total se determinó con la ecuación:

$$TRC = IN/(CV + C_0)$$

donde: TRC es la tasa de retorno al capital; CV son los costos variables dados por las aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio y C_0 son los costos fijos los cuales consideran preparación del terreno, trasplante, prevención de enfermedades y control de plagas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3, se presentan los resultados de los tratamientos para las variables de crecimiento y

Cuadro 3. Efecto de tratamientos sobre las variables de crecimiento y rendimiento de papayo Maradol Roja.

Tratamiento	Variables de crecimiento ¹									Rendimiento t ha ⁻¹
	142 ²			262			382			
	ALTP	ADOS	CIRT	ALTP	ADOS	CIRT	ALTP	ADOS	CIRT	
	----- cm -----									
1	155.1 b [§]	227.9 bc	26.0 cd	178.6 a	167.0 ab	28.5 cd	184.8 a	87.8 a	29.4 b	36.086 de
2	154.5 b	234.4 abc	27.7 bcd	179.5 a	183.2 ab	29.6 bcd	185.2 a	90.0 a	29.9 b	40.825 cde
3	175.7 ab	247.7 abc	33.9 ab	205.1 a	203.7 ab	35.7 abc	209.1 a	93.2 a	39.1 a	56.618 abcde
4	172.5 ab	253.7 abc	33.7 ab	196.9 a	189.5 ab	35.0 abcd	185.7 a	77.0 a	35.1 ab	48.474 bcde
5	162.7 ab	228.8 bc	29.4 abcd	189.9 a	200.2 ab	32.6 abcd	189.1 a	80.3 a	33.0 ab	42.232 cde
6	150.1 b	215.9 c	24.9 d	162.2 a	152.7 b	26.7 d	174.1 a	87.8 a	29.8 b	32.641 c
7	180.1 ab	266.8 abc	35.2 a	201.3 a	187.1 ab	37.5 ab	202.3 a	78.1 a	37.4 ab	87.764 a
8	191.1 ab	281.0 ab	36.4 a	212.7 a	213.7 a	40.5 a	210.7 a	76.6 a	39.2 a	86.778 ab
9	201.7 a	288.2 a	35.5 a	214.7 a	201.4 ab	38.0 ab	196.9 a	78.4 a	35.2 ab	68.396 abcde
10	183.9 ab	271.3 ab	32.3 abc	203.3 a	192.9 ab	36.3 abc	185.4 a	68.2 a	33.6 ab	68.712 abcde
11	180.9 ab	269.5 abc	34.9 ab	198.0 a	203.2 ab	36.8 abc	197.4 a	85.4 a	37.2 ab	78.433 abc
12	191.2 ab	269.8 abc	33.0 abc	212.1 a	205.1 ab	36.9 abc	218.0 a	94.1 a	36.3 ab	73.180 abcd

¹ ALTP = altura de planta, ADOS = ancho del dosel, CIRT = circunferencia de tallo. ² Días después del trasplante.

[§] Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

rendimiento de papaya, incluyendo la prueba de comparación de medias de Tukey.

Para altura de planta (ALTP), se encontró efecto significativo de tratamientos sólo a 142 días; efecto que fue debido a que el Tratamiento 9 superó la altura de planta de los Tratamientos 1, 2 y 6 sin aplicación de P, con excepción del Tratamiento 5, el cual presentó igual altura que los Tratamientos 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 fertilizados con P (Cuadro 3).

En relación con el ancho del dosel (ADOS), se encontró efecto significativo de tratamientos a 142 y 262 días. El efecto a 142 días es debido a que los Tratamientos 1, 5 y 6, sin aplicación de P, presentaron menor ancho del dosel que el Tratamiento 9 con aplicación de P, siendo los demás tratamientos iguales a este último. El efecto a 262 días es debido a que el Tratamiento 6 sin P, presentó menor ancho del dosel que el Tratamiento 8 con P (Cuadro 3).

En cuanto a la circunferencia de tallo (CIRT), se encontró efecto significativo de los tratamientos a 142, 262 y 382 días. El efecto a 142 días es debido a que los Tratamientos 1, 2, y 6 sin P, presentaron menor circunferencia de tallo que los Tratamientos 7, 8 y 9, con aplicación de P. El efecto a 262 días es debido a que los Tratamientos 1, 2 y 6 sin aplicación de P, presentaron menor circunferencia de tallo que el Tratamiento 8. El efecto a 382 días es debido a que los Tratamientos 1, 2 y 6 sin aplicación de P presentaron menor circunferencia de tallo que los Tratamientos 3 y 8 con aplicación de P (Cuadro 3).

De las comparaciones anteriores, puede señalarse que el efecto de los tratamientos sobre las variables ALTP, ADOS y CIRT está relacionado con los tratamientos que no recibieron P, en comparación con aquellos tratamientos con fertilización fosfatada. Singh y Sharma (1996) encontraron respuestas similares con aplicaciones de N y P en dosis de 0, 200, 250 y 300 g planta⁻¹ año⁻¹, para ambos nutrientes. En tanto que Purohit (1977), en un suelo limo arenoso, encontró que las aplicaciones de N y P influyeron significativamente sobre la altura y diámetro del tallo, mientras que el K sólo lo hizo sobre el diámetro de tallo.

Para el rendimiento de fruto, si bien se tiene la comparación de medias, el análisis se realizó mediante regresión. En la Figura 1, de manera aproximada, se presentan las curvas de respuesta para el rendimiento del fruto del papayo al N, P y K para el diseño de tratamientos San Cristóbal, suponiendo que las respuestas son cuadráticas, como lo indicó Rojas (1981).

El modelo de regresión para el rendimiento como función del N, P y K obtenido es:

$$RF = 38.456 + 6.880 R_1 - 2.208 R_2 - 0.101 N + 0.481 P + 0.000327422 N^2 - 0.002870747 P^2 + 0.003398389 NP - 0.000008273 N^2P$$

$$(\text{Prob. } F = 0.0001, R^2 = 0.771, \text{ CME} = 147.912749532, \text{ CV} = 20.3\%)$$

donde: RF es el rendimiento de fruto con valor comercial (kg ha⁻¹), R₁ y R₂ son variables auxiliares para repeticiones, N y P son N y P₂O₅ aplicados en kg ha⁻¹.

Del modelo de regresión obtenido se observa la siguiente respuesta: para N, lineal negativa y cuadrática positiva; para P, lineal positiva y cuadrática negativa; y una mayor respuesta lineal y cuadrática a N en presencia de P (interacción).

Con base en el modelo de regresión, se determinaron las dosis óptimas económicas, el rendimiento óptimo, el ingreso neto y la tasa de retorno. Para la determinación de las dosis óptimas económicas se consideraron: costo por unidad de fertilizantes: N, \$ 7.35; P₂O₅, \$ 8.02; y K₂O, \$ 9.34; costo fijo, \$ 22 048.85 ha⁻¹; y el precio del fruto (papaya), \$1.50 kg⁻¹.

Las dosis óptimas económicas de N, P y K que maximizan los ingresos netos, el rendimiento óptimo económico, el ingreso neto y la tasa de retorno del capital total se presentan a continuación:

Dosis óptimas económicas: N, 220 kg ha⁻¹; P₂O₅, 145 kg ha⁻¹; y K₂O, 0 kg ha⁻¹.

Rendimiento óptimo económico: 91.787 t ha⁻¹

Ingreso neto: 112 853.10 pesos ha⁻¹

Tasa de retorno del capital total: 454%

El valor de la tasa de retorno resulta superior a lo indicado por De la Cruz y Santiago (1990), quienes establecieron un valor mínimo de 40%; por lo tanto, de acuerdo con la tasa de retorno obtenida, resulta económica la aplicación de nitrógeno y fósforo sin el aporte de potasio.

Por lo tanto, para rendimiento de fruto y en las condiciones de estudio, se encontró respuesta a N y P, pero no a K. Para el caso del N y P, otros investigadores han reportado respuestas similares. Así, Awada y Long (1978), en Puna, Hawai, detectaron buena respuesta al evaluar niveles bajos, medios y altos de fertilización nitrogenada y fosfórica en papaya "Solo" y que la aplicación de estos fertilizantes incrementaron el rendimiento de fruto. La mejor respuesta la obtuvieron con 686 kg ha⁻¹ de N

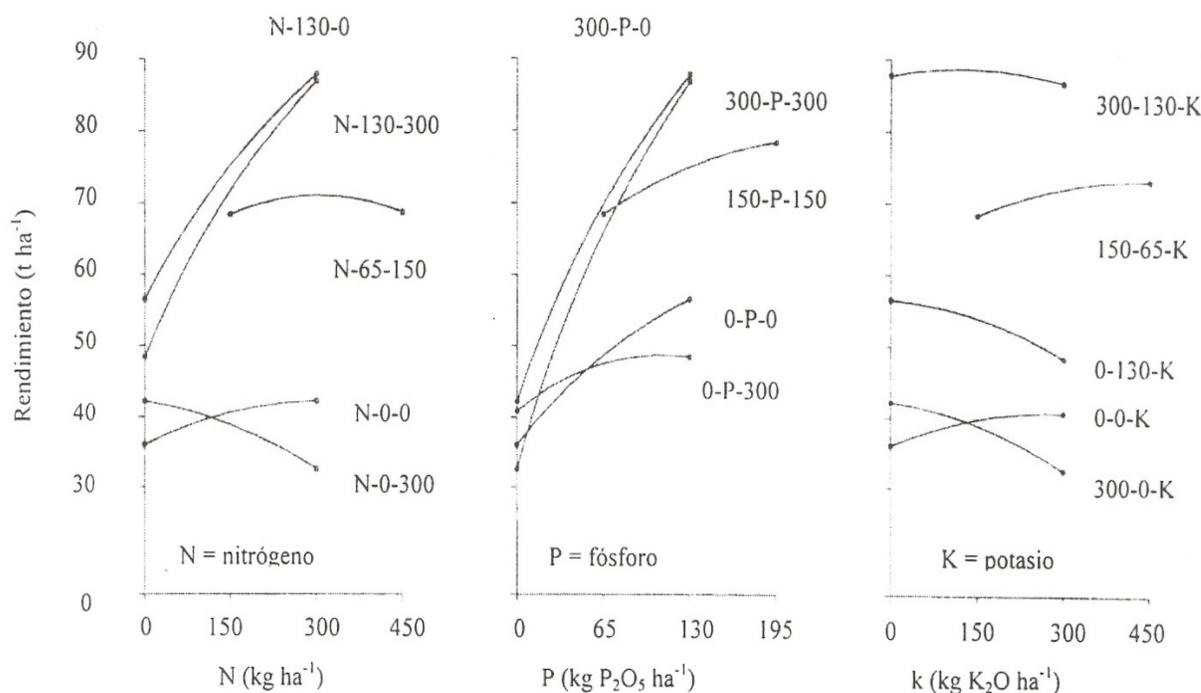


Figura 1. Respuesta del papayo a nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento de fruto.

y con valores entre 41 y 186 kg ha⁻¹ para las aplicaciones de P₂O₅. En cambio, la no-respuesta a K, no concuerda con lo reportado por otros investigadores. Por ejemplo, Awada y Long (1971), Awada (1977), Chirinos (1999) y De los Santos *et al.* (2000) han detectado respuesta positiva para las aplicaciones de K.

En general, para el cultivo del papayo De los Santos *et al.* (2000) recomendaron las aplicaciones de K. Sin embargo, la no-respuesta obtenida en este ensayo para dicho elemento, probablemente sea debido al contenido alto de K en el suelo (112 mg kg⁻¹).

CONCLUSIONES

- Con relación a las variables de crecimiento, se encontró que el fósforo incrementó la altura de planta a 142 días, el ancho del dosel a 142 y 262 días, y la circunferencia del tallo a 142, 262 y 382 días del trasplante, en comparación con aquellos tratamientos que no recibieron fertilización fosfatada.

- Con base en la función respuesta, se determinaron óptimos económicos de 220 kg ha⁻¹ de N y 145 kg ha⁻¹ de P₂O₅, rendimiento óptimo de 91.787 t ha⁻¹, ingreso neto de 112 853 pesos ha⁻¹ y una tasa de retorno al capital total de 454%.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Contreras, M. y R. Martínez-Elizondo. 1996. Relación agua-suelo-planta-atmósfera. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Anaya-Garduño, M. 1978. Manual de prácticas de física de suelos. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, estado de México.
- Awada, M. 1977. Relations of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102: 413-418.
- Awada, M. y C. Long. 1971. The selection of the potassium index in papaya tissue analysis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 74-77.
- Awada, M. y C. Long. 1978. Relation of nitrogen and phosphorus fertilization to fruiting and petiole composition of 'Solo' papaya. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 103: 217-291.
- Awada, M., R. Suehisa y Y. Kanehiro. 1975. Effects of lime and phosphorus on yield, growth, and petiole composition of papaya. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100: 294-298.
- Bouyoucos, G.L. 1936. Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Sci.* 42: 3.
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. MacMillan. New York.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. In: Black, C.A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Chirinos-Urbina, H. 1999. Fertilización de papayo (*Carica papaya* L.). *Info Agro* 1(5): 1-4.
- Cunha, R.J.P. y H.P. Haag. 1980. Mineral nutrition of papaya (*Carica papaya* L.). Nutrient uptake under field conditions: Abstracts on Tropical Agric. 8(4): 86.

- De la Cruz-Isidro, V. y M.J. Santiago-Cruz. 1990. La microempresa agropecuaria como instrumento de la modernización del agro. *Comercio Exterior* 42: 653-858.
- De los Santos-de la Rosa, F., E.N. Becerra-Leor, R. Mosqueda-Vázquez, A. Vásquez-Hernández y A.B. Vargas-García. 2000. Manual de producción de papaya en el estado de Veracruz. Campo Experimental Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz. Veracruz, México.
- Draper, N.R. y H. Smith. 1998. Applied regression analysis. John Wiley. New York.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1988. Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Veracruz. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Trad. al español por J. Beltrán M. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Lindsay, W.L. y W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- Martínez-Garza, M.A. 1988. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D.F.
- Martínez-Garza, M.A. y M.A. Martínez-Damián. 1999. Optimización: análisis marginal. Departamento de Economía, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Purohit, A.G. 1977. Response of papaya (*Carica papaya* L.) to nitrogen, phosphorus and potassium. *Indian J. Hort.* 34: 350-353.
- Reddy, Y.T.N., R.R. Kohli y B.S. Bhargava. 1990. Growth, yield and petiole nutrient composition of papaya as influenced by different levels of nitrogen. *Abstracts on Tropical Agric.* 16(4-6): 80.
- Richards, T.L. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa. México, D.F.
- Rojas-Martínez, B.A. 1981. Planeación y análisis de los experimentos de fertilizantes. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2000. pp. 670-775. *In: Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera.* México, D.F.
- Singh, I.P. y C.K. Sharma. 1996. Response of papaya to N and P applications on tilla land in Tripura India. *J. Hill Res.* 9: 96-98.
- Thompson, L.M. y F.R. Troeh. 1980. Los suelos y su fertilidad. Trad. al español por J. Puigdefábregas. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Vázquez-Alarcón, A. 1996. Guía para interpretar el análisis químico del agua y del suelo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Viets, F.G. y W.L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. pp. 153-172. *In: Walsh, L.M. y J.D. Beaton (eds.). Soil testing and plant analysis.* Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Werner, H. 1992. Response of papaya cv Tainung 2 at different sources, levels and application intervals of nitrogen. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 37: 94-98.