

NITRÓGENO Y HUMEDAD DEL SUELO, CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE MELÓN CANTALOUPE

Effect of Nitrogen and Soil Moisture on Cantaloupe Leaf Nitrate Concentration, Yield and Quality

Octavio Pérez Zamora^{1*}, Ma. R. Cigales Rivero² y Katia G. Pérez Castro³

RESUMEN

El melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.) es la hortaliza más importante en el estado de Colima, sin embargo, no existe información de la concentración nutrimental en hojas y de nitratos (NO_3) en pecíolos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de dosis de N y tensiones de humedad del suelo en la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Cu, en hojas de melón; la concentración de NO_3 en pecíolos, a los 40 días después del trasplante; el rendimiento; y la calidad de fruta. Los tratamientos de fertilización consistieron en cuatro dosis de N (0, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ aplicados al suelo) como NH_4NO_3 , más 90 kg suministrados en el agua de riego, combinados con tres niveles de tensión de humedad del suelo (10, 25 y 45 kPa); el diseño experimental fue de bloques divididos con arreglo en cuadro latino, donde cada tratamiento se repitió cuatro veces. En los resultados no se observó efecto de N en la concentración de elementos en el follaje, pero sí en la de NO_3 en el pecíolo. La tensión de humedad del suelo incrementó la concentración de N en el follaje y disminuyó la de NO_3 en los pecíolos. Las concentraciones de N, P, K y Cu se encontraron dentro del intervalo de suficiencia; las de Mg, Mn y Fe, en el intervalo de alto a excesivo. El Ca fue deficiente (< 2.3%). De acuerdo con la función de respuesta obtenida, dosis de N de 50 kg ha⁻¹ o mayores, a tensiones de humedad de 10 kPa, incrementaron el cociente K/Ca + Mg, de 0.23 a 0.31. El rendimiento de fruta de exportación tuvo relación con el grado Brix en fruto, el NO_3 en pecíolo y la concentración de K en

hoja. La concentración de NO_3 en pecíolo podría utilizarse como indicador del rendimiento y el estado nutricional del melón ($R^2 = 0.90$); una concentración de 2085 mg kg⁻¹ de NO_3 produjo el rendimiento máximo. La estimación de rendimiento se mejoró al incluir, además de NO_3 , en el modelo estadístico a la concentración de K ($R^2 = 0.96$). La interacción N x tensión de humedad del suelo mostró efecto positivo en el rendimiento de fruta; la mayor producción (80 Mg ha⁻¹) se obtuvo con una tensión de humedad del suelo de 10 kPa y 120-140 kg ha⁻¹ de N aplicado al suelo (más 100 kg de N suministrado en el riego).

Palabras clave: *Cucumis melo* L., NO_3 en pecíolo, °Brix, tensión de humedad del suelo.

SUMMARY

Cantaloupe (*Cucumis melo* L.) is the most important horticultural crop in the state of Colima; however, there is no information on nutrient concentration in leaves or nitrates (NO_3) in petioles. The objective was to determine the effect of N dosages and soil moisture tension on the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu in leaves and concentrations of NO_3 nitrogen in the petioles, yield and fruit quality 40 days after planting. Treatments consisted of four N dosages (0, 80, 120, and 160 kg ha⁻¹ applied to the soil) as NH_4NO_3 combined with soil moisture tension (10, 25, and 45 kPa); the experimental design was split block in Latin square, where each treatment was replicated four times. There was no effect of N on the nutrient concentration in leaves, but there was an effect on NO_3 in the petiole. Soil moisture tension significantly increased N concentration in the leaves and decreased NO_3 in the petiole. The concentrations of N, P, K, and Cu were within the range of sufficient to high, while those of Mg, Mn and Fe were high to excessive, and Ca was deficient (< 2.3%). Nitrogen dosages of 50 kg ha⁻¹ or higher, at 10 kPa of soil moisture, increased K/Ca + Mg ratio from 0.23 to 0.31. Yield of exportable fruit was related ($R^2 = 0.90$) with °Brix of fruit, petiole

¹ Programa de Hortalizas Campo Experimental Tecomán. IINIFAP-Colima. km 34.5 Carr. Colima-Manzanillo. Tecomán, Colima, México.

* Autor responsable (perez.octavio@inifap.gob.mx)

² Investigador Universidad de Colima, km. 40 carr. Colima-Manzanillo.

³ Investigador CUSUR, Universidad de Guadalajara, km 1.5 Carr. Cd. Guzmán-Guadalajara.

NO₃ and K concentration in the leaf. The NO₃ concentration in petiole might be a good indicator of fruit yield and the N nutritional status of the crop; a concentration of 2085 mg kg⁻¹ NO₃ produced the highest fruit yield. When K concentration was included, besides the NO₃ in the petioles, fruit yield prediction improved (R² = 0.96). The interaction N x soil moisture tension had a positive effect on fruit yield; the highest yield (80 Mg ha⁻¹) was obtained with the treatment 10 kPa soil moisture and 120-140 kg ha⁻¹ N (plus 100 kg N supplied in the irrigation water).

Index words: *Cucumis melo L.*, *petiole NO₃*, °Brix, *soil moisture tension*.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento comercial de fruta de melón cantaloupe (*Cucumis melo L.*) en Colima es de 28 a 30 Mg ha⁻¹ (Pérez y Cigales, 2001), sin embargo, podría incrementarse a 80 Mg ha⁻¹ con el uso eficiente de nitrógeno (N) y el adecuado manejo de las tensiones de humedad del suelo, sin detrimento de la calidad de fruta (°Brix), ni daños secundarios al ambiente ni a la salud (Pérez *et al.*, 2003). Al respecto, Hochmuth (1992) demostró que el melón Cantaloupe requiere, en riego por goteo, de concentraciones de 150 mg L⁻¹ de N durante las etapas vegetativa y reproductiva.

El N y el potasio (K) son los nutrimentos más importantes para el crecimiento del melón; sin embargo, el N es el elemento más difícil de optimizar, debido a la susceptibilidad a lixiviarse, desnitrificarse y volatilizarse; Locascio *et al.* (1997), Andersen *et al.* (1999) y

Thompson *et al.* (2003) señalan eficiencias de utilización menores de 30%.

El análisis químico de N en hoja es una herramienta útil para conocer el estado nutricional del melón, sin embargo, el resultado del análisis de N del laboratorio tarda una semana o más, lo cual es demasiado tiempo para que puedan hacerse ajustes en la fertilización. Como alternativa para varias hortalizas, entre ellas el melón, se ha probado con éxito la cuantificación de los nitratos (NO₃) en el pecíolo de la planta (Hochmuth y Hochmuth, 1991; MacKerron *et al.*, 1995; Rhoads *et al.*, 1996). En este sentido, se ha demostrado que se obtienen rendimientos de melón superiores a la media regional si la concentración de NO₃ en el pecíolo es de 2085 mg kg⁻¹ durante las etapas iniciales de crecimiento, entre los 30 a 35 días después del trasplante (Geraldson y Tyler, 1990; Pier y Doerge, 1995; Pérez *et al.*, 2003). En etapas posteriores (enmallado a redado y de sazón a maduro), la concentración de NO₃ en el pecíolo decrece a valores de 1200 a 780 mg kg⁻¹ sin afectar el rendimiento (Geraldson y Tyler, 1990; Pérez *et al.*, 2003).

El melón cantaloupe, como otras hortalizas, tiene alta demanda de nutrimentos en un período corto, por lo que las concentraciones nutrimentales en el follaje son superiores a las observadas en otros cultivos. Geraldson y Tyler (1990) señalan que, en la hoja, los intervalos de suficiencia son: 2.0 a 2.3%, para N; 0.2 a 0.4%, para P; 1.8 a 2.5%, para K; 5 a 7%, para Ca; 1.0 a 1.5%, para Mg; y 30 a 50 mg kg⁻¹, para Zn. En los casos de Fe, Cu y Mn, los valores no son confiables. Por otra parte, Hochmuth (1992) señala intervalos que difieren, para algunos nutrimentos, de los indicados por Geraldson y Tyler (1990); dichos valores se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores críticos para análisis químico de hojas de melón cantaloupe durante dos etapas de crecimiento (Hochmuth, 1992).

Estado nutricional	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
	----- % -----			----- mg kg ⁻¹ -----				
Etapa 1				Longitud guía principal 30 cm †				
Deficiente	< 4.0	< 0.4	< 5.0	< 3.0	< 0.35	< 40	< 20	< 5
Adecuado	3.5 a 4.5	0.4 a 0.7	5 a 7.0	3 a 5	0.35 a 0.45	20 a 100	20 a 100	5 a 10
Alto	> 5.0	> 0.7	> 7.0	> 5	> 0.45	> 100	> 100	> 10
Etapa 2				Amarre de fruto (30 a 35 días después del trasplante)				
Deficiente	< 3.5	< 0.25	< 1.8	1.8	< 0.3	< 20	< 20	< 5.0
Adecuado	3.5 a 4.5	0.25 a 0.4	1.8 a 5.0	2.3 a 3.0	0.3 a 3.5	20 a 100	20 a 100	5 a 10
Alto	4.5 a 5.5	0.4 a 0.8	5.0 a 8.0	3.0 a 8.0	0.35 a 0.8	100 a 250	100 a 250	10 a 30
Exceso	5.5 a 6.0	0.8 a 1.2	8 a 9.9	8 a 9.9	0.8 a 3.0	> 500	> 500	200

† Se muestreó la hoja recientemente madura (totalmente expandida).

Los anteriores valores de concentración nutrimental son únicamente guías de referencia, ya que el rendimiento y la calidad del melón se alteran con variaciones en el ambiente donde crecen las raíces, como la cantidad de materia orgánica, la aplicación de fertilizantes, la humedad del suelo y la composición del ambiente iónico radicular, la cual depende de los complejos de intercambio catiónico. Cualquier variación en cantidad, colocación, oportunidad o fuente de fertilizante produce cambios en el ambiente iónico de las raíces. El riego y las diferentes tensiones de humedad alteran la concentración y el movimiento iónico de elementos que se mueven con el flujo de masas (Ca) o por difusión, como el K, y en consecuencia de la concentración en la hoja (Geraldson y Tyler, 1990; Righetti *et al.*, 1990; Engels y Marschner, 1995).

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de dosis de N y tensiones de humedad del suelo en la concentración nutrimental en hojas y en pecíolo, a 40 días después del trasplante, así como en el rendimiento y la calidad de fruta de melón cantaloupe.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en 2002, en la localidad de Tepames, en el estado de Colima, región occidental de México (19° 14' 72" N y 103° 63' 88" O; altitud de 535 m), en un suelo franco arcilloso (textura franca, isohipertérmico, Argiustoll Típico). A una profundidad de 0 a 0.4 m, sus características son: pH, 6.68; materia orgánica, 1.78%; conductividad eléctrica, 0.51 dS m⁻¹; arena, 51%; limo, 1%; arcilla, 48%; capacidad de campo 24%; punto de marchitez permanente, 12.6%. Se utilizó el híbrido de melón cantaloupe Ovation, mediante trasplante en hileras de 1.8 m de ancho y camas cubiertas con polietileno negro a una distancia de 0.2 m; la distancia entre plantas fue de 0.25 m. Previo al establecimiento del cultivo, se aplicó una lámina de riego de 6 mm. La tensión de humedad del suelo, registrada diariamente a las 7:00 h a.m. por 48 tensiómetros colocados a profundidades del suelo de 30 y 60 cm, se mantuvo constante a 25 kPa durante los primeros días después del trasplante.

El riego fue por goteo, con goteros espaciados a 0.5 m y con un gasto autocompensable de 2.3 L h⁻¹. Los tratamientos de riego se iniciaron en la etapa de floración (cuando la planta incrementa su demanda de agua) y se terminaron en el momento de la primera cosecha de fruta. La cantidad de agua aplicada se basó

en la tensión propuesta (tratamientos de humedad). La lámina total de riego fue de 390, 350 y 320 mm para las tensiones de 10, 25 y 45 kPa, respectivamente.

En el Cuadro 2 se muestran los tratamientos de fertilización de N (0, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ aplicados al suelo) como NH₄NO₃ y las tensiones de humedad del suelo (10, 25 y 45 kPa). Los tratamientos de fertilización se aplicaron en banda, 5 cm a un lado y 2.5 cm debajo de la hilera de siembra, antes de colocar mangueras y cubrir las camas con plástico. Todas las unidades experimentales recibieron una fertilización complementaria de 90 kg ha⁻¹ de N, a través del sistema de riego, del inicio de floración al primer corte de fruta. En todos los casos se aplicaron 150 y 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, respectivamente, como complemento de fertilización fosfatada y potásica basal.

En mayo de 2002, 40 días después del trasplante, se realizó un muestreo foliar y de pecíolos en cada uno de los tratamientos; la muestra consistió de 25 hojas y pecíolos; las hojas se lavaron con agua destilada y ácido clorhídrico diluido, se secaron a peso constante, a 70 °C durante 72 h, y se molieron en molino equipado con hojas de acero inoxidable, pasando a través de malla de 2 mm; las muestras se volvieron a moler en molino de ciclón, cerniéndose por malla de 1 mm y se almacenaron en bolsas de plástico a 4 °C. Para el análisis químico se incineraron muestras de 1 g en crisoles de porcelana a 600 °C por 3 h, luego se solubilizaron en HCl caliente (2 N). Para remover interferencias aniónicas, se agregó óxido de lantano, en una concentración de 1.08 g L⁻¹, tal que su concentración final fuera 0.5% (Kidambi *et al.*, 1993).

Las muestras se analizaron por duplicado para Ca, Mg, K, Cu, Mn, Zn y Fe, por espectrofotometría de

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización y humedad aplicados al suelo.

Tratamiento	N	Tensión humedad	Tratamiento	N	Tensión humedad
	kg ha ⁻¹	kPa		kg ha ⁻¹	kPa
1	0	10	7	120	10
2	0	25	8	120	25
3	0	45	9	120	45
4	80	10	10	160	10
5	80	25	11	160	25
6	80	45	12	160	45

N = nitrógeno.

absorción atómica (AOAC, 1990). El P se determinó por el procedimiento de Rodríguez *et al.* (1994). El N se evaluó con el procedimiento convencional Kjeldahl, adaptado para plantas (Purcell y King, 1996). La concentración nutrimental observada se comparó con las concentraciones nutricionales de referencia (Cuadro 1). El extracto celular se obtuvo en campo, macerando los pecíolos y se almacenó en frío (4 °C). Cuatro horas después de efectuado el muestreo, se determinó la concentración de NO₃, con un medidor "Cardy" para NO₃ equipado con pantalla digital (Cardy ion meter; Horiba Inc., Horiba, Japón).

Se calculó el cociente K/Ca+Mg, como un indicador de la suficiencia de K; los valores empleados fueron la conversión de concentración (%) de dichos nutrimentos a cmol_c kg⁻¹ (Kidambi *et al.*, 1993).

El rendimiento se cuantificó cosechando dos hileras de 10 m en cada una de las 48 unidades experimentales; se contaron y clasificaron en seis categorías o calibres, los cuales fueron 6, 9, 12, 15, 18 y 23 frutos por cartón de 18 kg para el mercado de exportación. Se registró el peso de los frutos y el rendimiento de cada una de las categorías, también se separó la fruta para el mercado nacional y la de rezaga, esta última sin valor comercial. La actividad se realizó diariamente en un período no mayor de 6 h, para conservar la calidad del fruto, durante los 15 días que duró la cosecha (iniciada a los 59 días después del trasplante). Además, se determinaron los grados Brix en frutas de exportación de las Categorías 9 y 12, con un refractómetro manual; debido a su alto valor comercial, sólo se tomaron muestras de dos frutos por unidad experimental, en 7 de los 15 cortes efectuados; los cortes seleccionados para muestreo fueron el 3, 6, 9, 11, 13, 14 y 15.

Se usó una variante del diseño experimental parcelas divididas, que fue de bloques divididos, el cual se emplea para experimentos factoriales donde la naturaleza del material experimental o las operaciones involucradas hacen difícil el manejo de todas las combinaciones factoriales (Little y Hills, 1978). En la variante de bloques divididos, el factor B (subparcelas) fue tensión de humedad, que se aplicó en línea a través de un bloque completo del factor A. El factor A (dosis de N), que comprendió a las parcelas grandes, tuvo arreglo en cuadro latino 4 x 4; entonces, las parcelas del factor B se colocaron a través de cada columna; esto es, la columna de la parcela principal se convirtió en "bloque dividido", con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental constó de 36 m² (dos hileras de

1.8 m de ancho y 10 m de longitud). Con los datos registrados se efectuaron análisis de varianza y de regresión lineal múltiple; esto con el propósito de efectuar las comparaciones estadísticas de tratamientos y estimar el rendimiento (variable dependiente) en función de las concentraciones de NO₃ y de K, así como de grados Brix (variables independientes).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del Nitrógeno

En el Cuadro 3 se muestra el efecto de dosis de N (promedio de tres tensiones de humedad del suelo) en los grados Brix, NO₃ en pecíolo y concentración nutrimental en hojas de melón cantaloupe. No hubo efecto significativo de las dosis de N sobre los grados Brix del fruto y las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Cu. Se observó que las concentraciones de N, P, K y Cu se encontraron dentro del intervalo de suficiencia nutricional, mientras que la concentración de Ca estuvo en la categoría de deficiente y, en contraste, Mg, Mn y Fe tuvieron valores de concentración excesivos (Cuadro 1).

Geraldson y Tyler (1990) muestran evidencias de que el N total en hoja, particularmente en las primeras etapas de crecimiento, es un mal indicador de la disponibilidad de N; en este estudio se encontraron resultados similares.

En contraste con el contenido de N total en hoja, la concentración de NO₃ en pecíolos se incrementó

Cuadro 3. Efecto de nitrógeno y tensión de humedad en grados Brix (°Brix), concentración de nitratos (NO₃) en el pecíolo y concentración nutrimental en hojas de melón cantaloupe.

Dosis de N	°Brix	Nitratos [†]	N	Rendimiento
kg ha ⁻¹		mg kg ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹
0	9.59 a [‡]	1694 c	5.18 a	57.84 b
80	9.54 a	1769 b	5.06 a	62.94 a
120	9.73 a	1875 a	5.25 a	70.22 a
160	9.74 a	1837 a	5.00 a	70.86 a
DMS	0.35	62	0.30	6.52
Tensión de humedad del suelo (kPa)				
10	9.63 a	1989 a	4.83 b	74.54 a
25	9.70 a	1784 b	5.21 a	66.42 b
45	9.61 a	1611 b	5.30 a	61.05 b
DMS	0.30	177	0.30	5.64

[†] Concentración a 35 días después del trasplante.

[‡] Valores con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (DMS, diferencia mínima significativa a 0.05).

significativamente con el aumento en la dosis de N aplicado al suelo; el incremento fue de 4.4 y 10.7%, con 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, con respecto al testigo. La aplicación de N tuvo relación con la concentración de NO₃ y el valor obtenido con 120 kg ha⁻¹ de N fue cercano a los 2085 mg kg⁻¹ reportados por Geraldson y Tyler (1990) y Pérez y Cigales (2001), valor que se considera adecuado para incrementar el rendimiento a 80 Mg ha⁻¹ (Hochmuth, 1992; Andersen *et al.*, 1999).

Righetti *et al.* (1990) reportan que en los pecíolos se presenta mayor variación en la concentración de nutrimentos entre plantas con deficiencias que entre plantas con un suministro adecuado. Sin embargo, en el presente estudio no fue el caso, ya que el tratamiento testigo (0 kg ha⁻¹ de N al suelo) recibió 90 kg ha⁻¹ de N en fertirriego, por lo que no estaban en situación de deficiencia nutricional absoluta. Los resultados obtenidos refuerzan el concepto de que la concentración de NO₃ en el pecíolo puede utilizarse como indicador nutricional y de rendimiento en plantas de hortalizas, como se ha observado en otros estudios (Hochmuth y Hochmuth, 1991; MacKerron *et al.*, 1995; Andersen *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2003).

En el suelo estudiado, una concentración suficiente de N en la planta correspondió con una adecuada concentración de micronutrimentos. Concentraciones de Mn por arriba del valor de suficiencia se asocian con muestras contaminadas por la aplicación de funguicidas con Mn (Righetti *et al.*, 1990).

Efecto de Humedad del Suelo

La humedad del suelo tuvo efecto significativo ($P < 0.01$) en el NO₃ de pecíolos y el N total de la hoja (Cuadro 3). La mayor cantidad de N en los tratamientos de menor humedad del suelo se explica por un proceso de cantidad nutricional en la hoja.

El Ca se absorbe por un mecanismo de flujo de masas, por lo que sería de esperar que los tratamientos con mayor humedad del suelo (10 kPa) mostraran la mayor concentración (Righetti *et al.*, 1990), sin embargo, no se observó significancia estadística entre tratamientos en respuesta a la tensión de humedad del suelo. Al respecto, Serrano *et al.* (2002) mencionan que el suelo no proporciona el Ca a la velocidad con la que la planta lo requiere; en consecuencia, la concentración de Ca en el follaje tiende a disminuir con la aplicación de N al suelo (Righetti *et al.*, 1990; Pérez *et al.*, 2003).

Las mayores concentraciones de NO₃ en los pecíolos se observaron en el tratamiento con mayor humedad del suelo (10 kPa) y fue 11.5% y 23.5% mayor que en los tratamientos de 25 y 45 kPa, respectivamente. Esto indica que el estado nutricional del melón se altera por factores como prácticas de fertilización, riego, manejo del cultivo e interacciones resultantes (Bernadac *et al.*, 1996; Serrano *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2003, 2004).

Por otra parte, para obtener una alta concentración de NO₃ en pecíolos para maximizar rendimiento y calidad de fruta se requiere, además de aplicar N al suelo, que las plantas de melón no estén sometidas a estrés de humedad en las etapas críticas de crecimiento (Pérez *et al.*, 2003).

Interacción Nitrógeno x Humedad

Rendimiento. Aunque los efectos independientes de los tratamientos de N y de tensión de humedad del suelo fueron significativos sobre el rendimiento de fruta de melón ($P < 0.05$), la combinación de ambos (Figura 1) produjo incrementos mayores en la producción de fruta que cuando se consideraron únicamente los efectos principales (Cuadro 3).

La tensión de humedad del suelo no incrementó el rendimiento cuando no se aplicó N, sin embargo, al utilizar 80 kg, el tratamiento de 10 kPa produjo 15% y 27% más fruta que las tensiones de 25 y 45 kPa, respectivamente, mientras que con 120 kg N y 10 kPa éste fue 13.5% y 24.6% mayor que el obtenido con 25 y 45 kPa ($P < 0.05$). La combinación de N en cantidades equivalentes, por ejemplo, 100 kg N a tensiones de humedad apropiadas (25 y 10 kPa), aumentó el rendimiento con respecto a la tensión de 45 kPa (Figura 1); este manejo de agua y N podría contribuir a atenuar los riesgos de contaminación ambiental con nitratos que permanecen en el suelo cuando se utilizan dosis altas de N y tensiones de humedad menores de 10 kPa (IFA, 1998, 2000; Pérez *et al.*, 2003).

Concentración de NO₃ en pecíolos. La función de respuesta de nitratos se muestra en la Figura 2; en ésta se observa la influencia de la humedad del suelo en la concentración de NO₃. En condiciones restrictivas de humedad (más seco), la concentración de NO₃ en el pecíolo disminuyó; en contraste con aplicaciones al suelo de 50 a 150 kg ha⁻¹, la concentración de NO₃ aumentó a 2100 mg kg⁻¹ (Figura 2). El valor de 2100 mg kg⁻¹ resultó

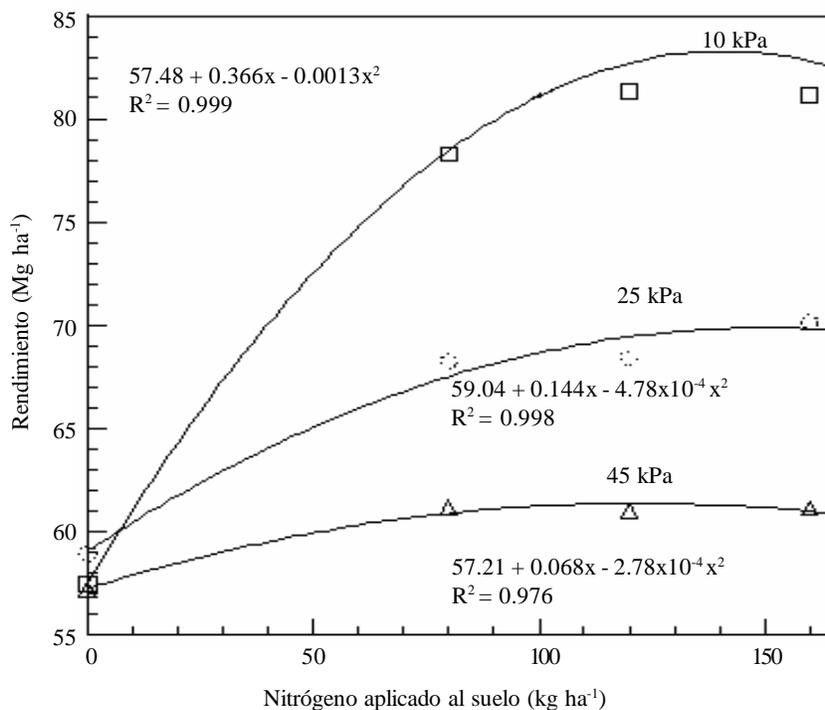


Figura 1. Rendimiento de melón cantaloupe en respuesta a la fertilización nitrogenada a tres tensiones de humedad del suelo.

similar al reportado en otros estudios para maximizar rendimiento (Andersen *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2003). En el presente trabajo se estimó, mediante regresión lineal, que existe relación entre la concentración de NO_3 en pecíolo, a 35 días después del trasplante, y el rendimiento total de fruta de exportación. La ecuación fue:

$$Y = 3.00 + 0.039X_1, \text{ con } R^2 = 0.77$$

donde Y = rendimiento (Mg ha^{-1}) y X_1 = concentración de NO_3 (mg kg^{-1}).

El rendimiento predicho fue de 77.2 Mg ha^{-1} , cuando la concentración de NO_3 era de 2055 mg kg^{-1} , de 63.1 Mg ha^{-1} , con una concentración de 1694 mg kg^{-1} . Con esas concentraciones de NO_3 , los resultados observados en el experimento fueron de 81.1 y 58.9 Mg ha^{-1} , respectivamente. La predicción resultó bastante cercana, ya que las diferencias entre los resultados experimentales y los predichos fueron de 3.9 y 4.2 Mg ha^{-1} , para 2055 y $1694 \text{ mg NO}_3 \text{ kg}^{-1}$, respectivamente.

Concentración de sólidos solubles. Los grados Brix en fruta de melón mostraron un comportamiento similar

al de la concentración de NO_3 en el extracto celular de los pecíolos, ya que ambos decrecieron al disminuir la humedad del suelo, con los tratamientos de 80 , 120 y 160 kg ha^{-1} de N (Figura 3). Lo opuesto se observó cuando el N fue restrictivo (0 kg ha^{-1} de N) para el rendimiento de fruta (Figura 1). Esto último se relacionó con la concentración de sólidos solubles en el fruto por efecto de humedad (más seco) en el suelo (Andersen *et al.*, 1999; Perez y Cigales, 2001).

Con tensiones de humedad baja (10 kPa) los grados Brix se incrementaron en 4 , 6 y 5% , con 80 , 120 y 160 kg ha^{-1} de N, respectivamente, en comparación con el testigo. Esto muestra que mediante el manejo apropiado del N aplicado y la tensión de humedad del suelo es factible obtener rendimientos satisfactorios (75 a 80 Mg ha^{-1}) y frutas con alto contenido de grados Brix (mayor de 9%). Similar a la relación entre concentración de NO_3 en el pecíolo y el rendimiento de fruta de exportación, los grados Brix y la concentración de K en hoja también resultaron buenos estimadores de predicción ($P \leq 0.001$ y 0.01 , respectivamente); de esta manera se podría predecir el rendimiento con una confiabilidad de $R^2 = 0.96$. La ecuación que lo expresa es:

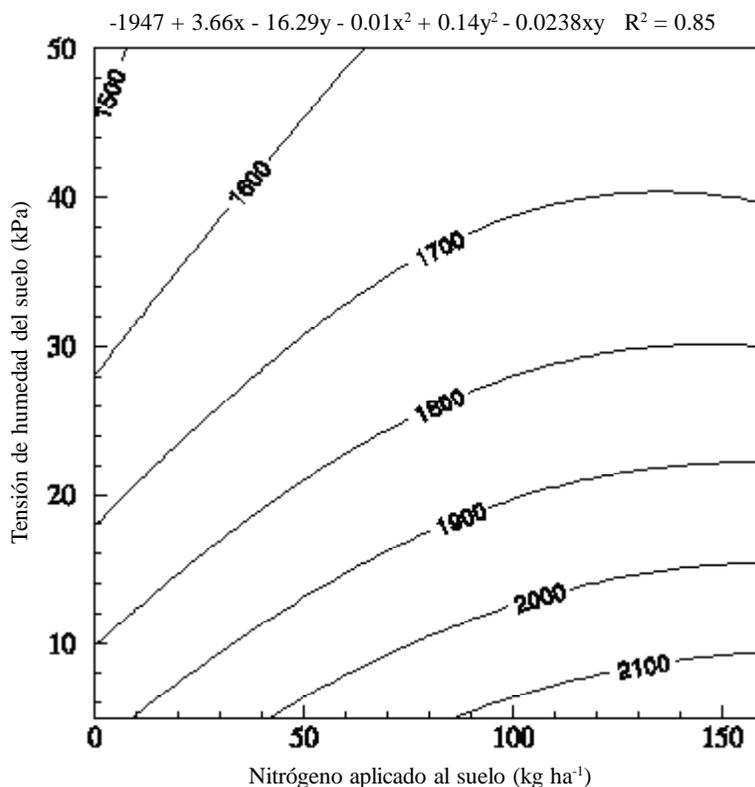


Figura 2. Concentración de nitratos (NO_3) en pecíolo de hojas de melón en función de nitrógeno y tensión de humedad del suelo. Las isolíneas son concentraciones de NO_3 (mg kg^{-1}).

$$Y = 131.12 + 19.12 X_1 + 0.030 X_2 - 18.65 X_3$$

donde: Y = rendimiento de fruta (Mg ha^{-1}); X_1 = grados Brix del fruto, $X_2 = \text{NO}_3$ en pecíolo, 35 días después del trasplante, y $X_3 = \text{K}$ (%) en hoja, 40 días después del trasplante.

Relación K/Ca+Mg. En la Figura 4 se muestra la relación entre K, Ca y Mg calculada en hojas de melón. El cociente muestra un mínimo (0.23) a 40 kPa y 70 kg ha^{-1} de N y aumenta a 0.31, conforme se incrementa la cantidad de N aplicado al suelo y la tensión de humedad del suelo disminuye; esto significa que se requiere de menor esfuerzo de tensión para absorber agua (de 20 a 10 kPa). El cociente K/Ca+Mg es un indicador de la suficiencia de K en función de la concentración de Ca y Mg (Kidambi *et al.*, 1993) y en este estudio se relacionó con la cantidad de N aplicado y la tensión de humedad del suelo (Figura 4). Sin embargo, es de resaltar que la concentración de Ca estuvo en el nivel de deficiencia para melón (Cuadros 1 y 3).

El incremento en valor del cociente K/Ca+Mg se ha relacionado con una disminución del Ca en la hoja causada por la interacción del N aplicado al suelo (Bernadac *et al.*, 1996; Serrano *et al.*, 2002). Con algunos nutrientes una simple dilución explica los resultados, sin embargo, en el caso de Ca, el efecto es mucho mayor de lo que uno esperaría del efecto de dilución, ya que para incrementar el desarrollo vegetativo es frecuente la aplicación de dosis altas de N, lo cual produce concentraciones bajas de Ca en la hoja (Righetti *et al.*, 1990; IFA, 2000 y 2002; Serrano *et al.*, 2002).

La interacción que los incrementos de N tienen con otros nutrientes se conoce de tiempo atrás (IFA, 2002); en futuros trabajos con melón podría ser importante considerar la interacción del N con el Ca (probando también dosis de este nutriente), ya que este cultivo requiere de altas cantidades de N para generar una cobertura vegetativa abundante, especialmente en etapas tempranas, para optimizar el rendimiento y el tamaño del fruto (Pérez y Cigales, 2001; Pérez *et al.*, 2003), pero también requiere del Ca para mejorar la firmeza

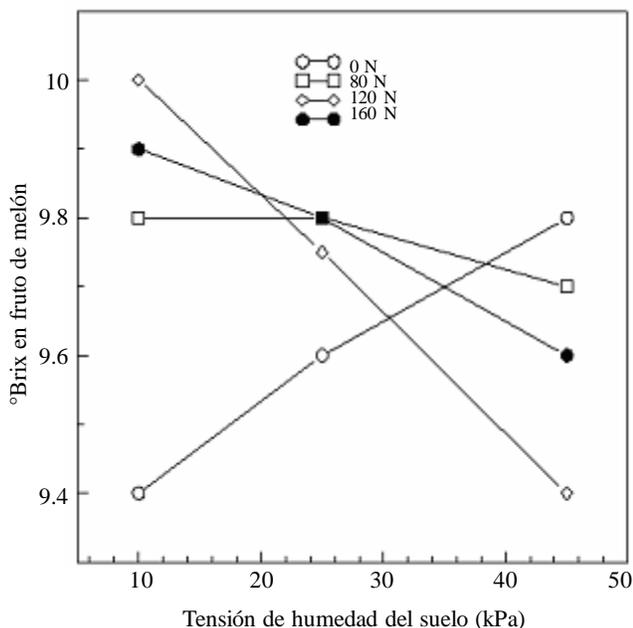


Figura 3. Concentración de sólidos solubles en frutos de melón Cantaloupe en función de tensión de humedad del suelo y dosis de nitrógeno aplicados.

de la fruta y atenuar la producción de etileno durante la maduración del fruto (Martínez *et al.*, 1999; Serrano *et al.*, 2002).

Por otra parte, concentraciones de Mg registradas en la hoja, por arriba de la normal, sugieren que debe evaluarse la fertilización de K y Ca al cultivo, ya que la disponibilidad de estos nutrimentos es la suma de los interceptados por las raíces de las plantas y los que llegan a éstas por medio de flujo de masas y difusión (Marschner, 1995; IFA, 2002). El mecanismo de difusión es el proceso más importante para K, mientras que para el Ca lo es el de flujo de masas (Marschner, 1995). En consecuencia, la relación de K y Ca en la hoja de melón se debe, además del suministrado por los fertilizantes, a la humedad del suelo, la temperatura del aire y la transpiración de las plantas (Righetti *et al.*, 1990).

CONCLUSIONES

- En el estudio se observó que las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y cobre estuvieron dentro del intervalo de suficiencia nutricional, mientras que la de

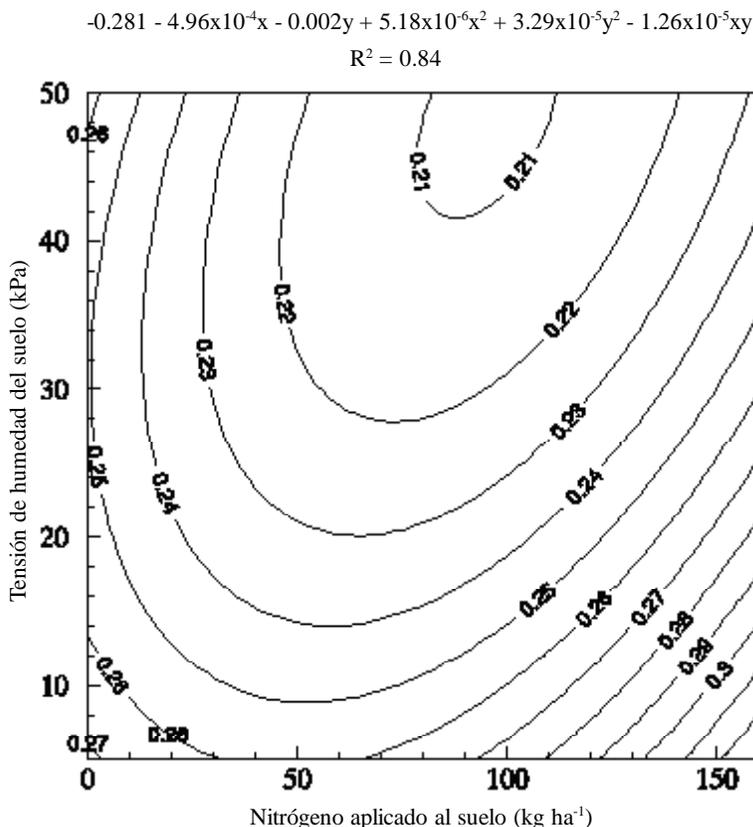


Figura 4. Cociente K/Ca+Mg en hojas de melón cantaloupe a variables tensiones de humedad del suelo y dosis de nitrógeno.

calcio fue deficiente; en contraste, magnesio, manganeso e hierro tuvieron valores altos. El nitrógeno aplicado al suelo tuvo efecto significativo en rendimiento y en la concentración de nitratos en pecíolos.

- La interacción nitrógeno x tensión de humedad mostró efecto positivo en el rendimiento de fruta. Se logró el máximo rendimiento (80 Mg ha⁻¹) con el tratamiento de 10 kPa, en combinación con 120 a 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno. La concentración de nitratos en el pecíolo podría utilizarse como un estimador confiable del estado nutricional de las plantas y el rendimiento de fruta de exportación de melón cantaloupe. La predicción de rendimiento se mejoró al incluir en el modelo la concentración de potasio a los 40 días después del trasplante y el contenido de grados Brix del fruto cosechado.

LITERATURA CITADA

- Andersen, P. C., F. M. Rhoads, S. M. Olson, and B. V. Brodbeck. 1999. Relationships of nitrogenous compounds in petiole sap of tomato to nitrogen fertilization and the value of these compounds as predictor of yield. *HortScience* 32: 254-258.
- AOAC (American Association of Analytical Chemists). 1990. Horwitz, W. (ed.). AOAC. Washington, DC, USA.
- Bernadac, A., I. Jean-Baptiste, G. Bertoni, and P. Morard. 1996. Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development. *Sci. Hortic.* 66: 181-189.
- CoHort Software. 1995. CoStat Manual 5.00. CoHort. Minneapolis, MN, USA.
- Engels, C. and H. Marschner. 1995. Plant uptake and utilization of nitrogen. pp. 41-82. *In*: P. E. Bacon (ed.). Nitrogen fertilization in the environment. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Geraldson, C. M. and K. B. Tyler. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. pp. 549-562. *In*: R. E. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book Series 3. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Hochmuth, G. J. 1992. Fertilizer management for drip-irrigated vegetables in Florida. *HortTechnology* 2: 27-32.
- Hochmuth, R. C. and G. J. Hochmuth. 1991. Nitrogen requirements for mulched slicing cucumbers. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 50: 130-133.
- IFA (International Fertilizer Industry Association). 1998. The fertilizer industry, world food supplies and the environment. Revised version by IFA. Paris, France.
- IFA (International Fertilizer Industry Association). 2000. Mineral fertilizer use and the environment. Revised version by IFA. Paris, France.
- IFA (International Fertilizer Industry Association). 2002. Los fertilizantes y su uso, una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4a ed. Paris, France.
- Kidambi, S. P. A. G. Matches, T. P. Karnezos, and J. W. Keeling. 1993. Mineral concentration in forage sorghum grown under two harvest management systems. *Agron. J.* 85: 826-833.
- Little, T. M. and F. J. Hills. 1978. Agricultural experimentation: design and analysis. John Wiley. New York, NY, USA.
- Locascio, S. J., G. J. Hochmuth, F. M. Rhoads, S. M. Olson, A. J. Smajstrla, and E. A. Hanlon. 1997. Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. *HortScience* 32: 230-235.
- MacKerron, D. K. L., M. W. Young, and H. V. Davics. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant Soil* 172: 247-260.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London, England.
- Martínez M., M. C., M. T. Pretel, M. Serrano, and F. Romojaro. 1999. Role of the ethylene and abscisic acid in physical-chemical modifications during melon ripening. *J. Agric. Food Chem.* 47: 5285-5290.
- Pérez Z., O. y M. Cigales R. 2001. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe. *Agrociencia* 35: 479-488.
- Pérez Z., O., M. Cigales R y K. Pérez C. 2003. Tecnología de bajo impacto ambiental para la producción intensiva de melón cantaloupe en Colima. Folleto de Investigación 1. Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación del Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Colima, Col., México.
- Pérez Z., O., Ma. R. Cigales R., M. Orozco S. y K. G. Pérez C. 2004. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe: segunda parte. *Agrociencia* 38: 261-272.
- Pier, J. W. and T. W. Doerge. 1995. Nitrogen and water interactions in trickled-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 145-150.
- Purcell, L. C. and C. A. King. 1996. Total nitrogen determination in plant material by persulfate digestion. *Agron. J.* 88: 111-113.
- Rhoads, F. M., S. M. Olson, G. J. Hochmuth, and E. A. Hanlon. 1996. Yield and petiole-sap nitrate levels of tomato with N rates applied preplant or fertigated. *Soil Crop Sci. Fla. Proc.* 55: 9-12.
- Righetti, T. L., K. L. Wilder, and G. A. Cummings. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing orchards. pp. 563-601. *In*: R. E. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Book Series 3. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Rodriguez, J. B. J. R. Self, and P. N. Soltanpour. 1994. Optimal conditions for phosphorus analysis by the ascorbic acid-molybdenum blue method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 866-870.
- Serrano, M., A. Amorós, M. T. Pretel, M. C. Martínez, M. R. Madrid, and F. Romojaro. 2002. Effect of calcium deficiency on melon (*Cucumis melo* L.) texture and glassiness incidence during ripening. *Food Sci. Technol. Int.* 8: 147-154.
- Thompson, T. L., S. A. White, J. Walworth, and G. J. Sower. 2003. Fertilization frequency for subsurface drip-irrigated broccoli. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 910-918.