

Absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en zanahoria (*Daucus carota* L.) cultivada en el Bajío de México

Anacleto Sosa¹, Guadalupe Ruiz¹, Isidro Bazante¹, Aurelia Mendoza¹, Jorge D. Etchevers², Juliana Padilla², y Javier Z. Castellanos³

Introducción

En México se cultivan cerca de 14 500 ha de zanahoria, 45% de las cuales en la zona agrícola del Bajío con un rendimiento promedio de 25.3 t ha⁻¹ (SIAP, 2013), el cual es bajo ya que el potencial productivo de esta especie puede ser superior a 100 t ha⁻¹ (Reid y English, 2000). Los bajos rendimientos de zanahoria se deben a que la mayoría de los agricultores utilizan bajas dosis de fertilizantes y variedades de polinización libre. La aseveración anterior se basa en que cuando se utilizan híbridos en combinación con una fecha de siembra óptima y un programa de fertilización balanceada es factible obtener cerca de 70 t ha⁻¹ de zanahoria comercial (Ortiz y Amado, 2004). El bajo uso de fertilizantes en la zanahoria en parte es debido a que todavía existe la creencia generalizada no solo en México sino también en otras partes del mundo, de que este cultivo no responde a la fertilización (Westerveld et al., 2007). Lo anterior posiblemente explique el estancamiento en el rendimiento del cultivo de zanahoria desde el año 1980 (ASCA, 2000), de ahí que actualmente uno de los más grandes retos en este cultivo consiste en generar una metodología que permita diseñar acertadamente su programa de fertilización a fin de reducir la probabilidad de limitaciones por una nutrición inadecuada. Una metodología que se utiliza para estimar la demanda de nutrientes de un cultivo y decidir el momento y la dosis de fertilización es la curva de acumulación nutrimental (Bertsch, 2005), su aplicación ha permitido que hoy día exista mucha información sobre del patrón de acumulación de biomasa total (BT) y nutrientes de varios cultivos hortícolas en nuestro país entre los que se pueden mencionar brócoli (Castellanos et al., 2001); lechuga (Sosa et al., 2012); ajo (Castellanos et al., 2002a); calabacita (Rodas et al., 2012); fresa (Aguilar, 2011) y pimiento morrón (Valle, 2010). No obstante, este tipo de información no existe para el cultivo de zanahoria por lo que comúnmente se utiliza la que ha sido generada en otros países, cuya extrapolación puede estar limitada por haberse obtenido con cultivares diferentes a los utilizados en México (Hart y Butler, 2004; Chen et al., 2004). El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de crecimiento y el ritmo de absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del cultivo de zanahoria bajo las condiciones de clima y suelo de la zona agrícola del Bajío en México.

Materiales y métodos

Manejo agronómico del cultivo

La presente investigación se realizó en el rancho Los Olivos, ubicado en el municipio de Colón, al noroeste del estado de Querétaro, México (20° 34' N y 99° 56' W) a 1900 metros

sobre el nivel del mar. El clima predominante es templado semi-seco con una temperatura media anual de 17.0 °C y una precipitación promedio de 574 mm anuales que se distribuyen entre los meses de junio y octubre (García, 1976). El experimento se estableció el 18 de octubre del 2006 en un Vertisol con pH 6.6, 2.5% de materia orgánica, y 19, 79 y 630 ppm de N-NO₃, Bray P₁ y K intercambiable, respectivamente. Se sembró el híbrido 'Concerto' mecánicamente a doble hilera en camas de 1 m de ancho y 100 m de largo, a una densidad de población de 120 plantas m⁻². La fertilización consistió de una aplicación basal de 40, 80 y 250 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Adicionalmente, en las etapas fenológicas de segunda y séptima hoja (25 y 85 días después de la siembra (DDS), respectivamente) se aplicaron 100 kg N ha⁻¹. Como fuentes de N, P₂O₅ y K₂O se utilizó al sulfato de amonio, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. El programa de fertilización final fue 240, 80 y 250 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Para controlar las malezas, a los 25 y 45 DDS se aplicó una mezcla de los herbicidas linuron y fluzafop-p-butyl a una dosis de 940 y 250 g ha⁻¹, respectivamente y a los 75 DDS se hizo un deshierbe manual. Se dieron un total de ocho riegos, lo que incluyó el de siembra más siete de auxilio (0, 25, 45, 65, 85, 105, 120 y 135 DDS, respectivamente). El control de enfermedades

Tabla 1. Rendimiento total y comercial de zanahoria cv. 'Concerto' cultivada en el Bajío, México.

Clasificación comercial	Rendimiento		Recuperación %
	Arpilllas ha ⁻¹ *	t ha ⁻¹	
Mediana	1531	38.36	51.5
Polvo grande	360	8.99	12.1
Polvo chico	276	6.91	9.3
Perica	154	3.86	5.2
Leña	134	3.34	4.5
Trozo	101	2.53	3.4
Desperdicio	416	10.4	14.0
Total	2972	74.3	100.0
Comercial	2560	64.0	86.1

* Las arpilllas pesaron en promedio 25 kg. Leña = mayor de 16 cm de largo y 3.0 cm diámetro; Mediana = 13-16 cm longitud y 2.5-3.0 cm diámetro; polvo grande = 9.5-13 cm largo y 2.0-2.5 cm de diámetro; Polvo chico = 8.0-9.5 cm de largo y 1.5 y 2.0 cm de diámetro. Perica = zanahorias deformes y/o con hombros verdes. Trozo = trozos mayores de 10 cm de largo y 2.5 cm de diámetro.

¹ Profesor de la Universidad de Baja California Campus San Quintín, B.C., México. Correo electrónico: anacleto.sosa@uabc.edu.mx

² Profesor del Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México, México.

³ Profesor del Instituto Tecnológico Agropecuario de Roque, Guanajuato, México.

foliares se hizo mediante aplicaciones de azufre elemental y oxiclورو de cobre a dosis de 1370 + 15 g ha⁻¹, respectivamente. Estas comenzaron a partir de los 45 DDS del cultivo y coincidiendo con cada riego.

Parámetros evaluados

Siguiendo la guía fenológica propuesta para el cultivo de zanahoria (Feller et al., 1995), a partir de los 20 DDS y hasta la madurez comercial (MC) del cultivo se realizaron nueve muestreos para determinar la BT y las cantidades de N, P y K acumuladas. Cada muestreo se realizó de acuerdo con Castellanos (1999) utilizando cuatro repeticiones. Las plantas cosechadas en cada muestreo se dividieron en porción aérea (PA) y radical (PR) y se secaron en un horno de circulación forzada de aire a 70 °C durante 48 horas. Una vez secas se pesaron, molieron y analizaron para determinar las concentraciones de N, P y K. El N se analizó con el método semi-micro Kjeldahl modificado para incluir NO₃⁻ (Bremner, 1965). Para determinar el P y K previamente se realizó una digestión húmeda utilizando una mezcla de HNO₃ y HClO₄ (3:1). El P se evaluó con el método del fosfovanamolibdato y el K mediante flamometría (Jackson, 1976). El contenido de nutrientes en cada componente se calculó multiplicando el peso seco por las respectivas concentraciones de N, P y K. Adicionalmente se estimaron el rendimiento bruto total y comercial a la MC del cultivo. Para ello, las zanahorias cosechadas mecánicamente en un área de 2500 m² (cuatro repeticiones) fueron pesadas para determinar el rendimiento de campo e inmediatamente enviadas para su lavado, clasificación y empaque de acuerdo con las especificaciones que exige el mercado nacional.

Resultados y discusión

Potencial de rendimiento del cultivo

El rendimiento total del cultivo fue 74.3 t ha⁻¹ (Tabla 1), similar al reportado por Ortiz y Amado (2004) en Chihuahua, el cual fue de 71.6 t ha⁻¹, lo que corrobora que en nuestro país es posible obtener altos rendimientos de zanahoria. El rendimiento comercial fue 64 t ha⁻¹, que fue 250% del promedio nacional de 23.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2013) y también mayor que los valores de 20.8 y 56.1 t ha⁻¹ que reportaron Hochmuth et al. (2006) y Richmond y Méndez (2010), para las regiones agrícolas del sur de Florida, EEUU y Cartago, Costa Rica, respectivamente. Sin embargo es menor que las 70 t ha⁻¹ que utilizan como rendimiento meta los productores de China para estimar la remoción de nutrientes por la zanahoria (Chen et al., 2004).

Curvas de absorción de N, P y K

Durante los primeros 65 DDS (estado fenológico V0–V6), la acumulación de macronutrientes fue lenta con tasas

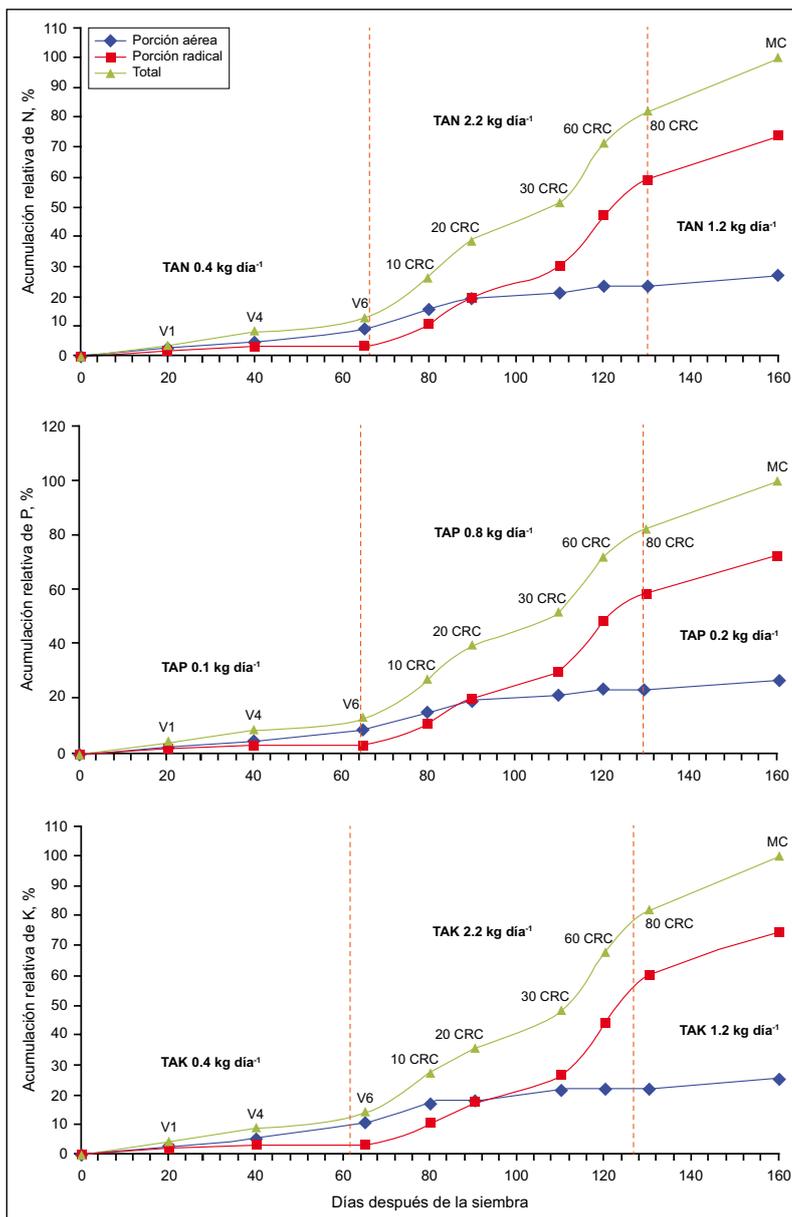


Figura 1. Acumulaciones relativas y tasas de acumulación de N (TAN), P (TAP) y K (TAK) en zanahoria cv. 'Concerto' cultivada en el Bajío, México. V0 = siembra; V1, V4 y V6 = primera, cuarta y sexta hoja verdadera, respectivamente; 10, 20, 30, 60 y 80 CRC = diez, veinte, treinta, sesenta y ochenta % del crecimiento de la raíz carnosa; MC = madurez comercial.

medias de absorción de N (TAN), P (TAP) y K (TAK) de 0.4, 0.09, Y 0.50 kg ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente (Figura 1). En dicho lapso (equivalente a 40% del ciclo del cultivo), el cultivo absorbió 12.6, 14.5 y 14.1% del N, P y K, respectivamente, acumulado al momento de la cosecha (Tabla 2). El periodo de acumulación rápida de BT y macronutrientes comenzó después del estado fenológico V6 y se mantuvo hasta que la raíz carnosa (RC) exhibió 80% de su crecimiento (65-130 DDS). En este periodo de crecimiento acelerado, el cultivo absorbió casi 70% de las cantidades totales de N, P y K. La alta demanda nutrimental que exhibió el cultivo en este periodo de crecimiento lineal resultó en tasas de acumulación de 2.2, 0.4 y 3.7 kg ha⁻¹ día⁻¹ de N, P y K, respectivamente. Estos resultados son congruentes con lo reportado por Hart y Butler (2004), en EEUU, Suojala (2000) en Finlandia y Westerveld et al.

Tabla 2. Concentración y acumulación de N, P y K en nueve estados fenológicos de zanahoria cv. 'Concerto' cultivada en el Bajío, México.

DDS	Estado fenológico	Concentración			Acumulación			
		N	P	K	Biomasa	N	P	K
		%			kg ha ⁻¹			
0 - 20	V0 - V1	3.61	0.65	5.61	253	8.0	1.7	14.2
20 - 40	V1 - V4	2.34	0.57	4.65	647	16.2	3.7	30.1
40 - 65	V4 - V6	2.16	0.46	4.31	1160	26.5	5.3	50.0
65 - 80	V6 - 10 CRC	1.82	0.40	3.59	2707	55.4	10.7	97.2
80 - 90	10 - 20 CRC	1.73	0.35	3.04	4125	81.7	14.5	125.5
90 - 110	20 - 30 CRC	1.65	0.33	2.94	5801	106.5	19.1	170.3
110 - 120	30 - 60 CRC	1.52	0.28	2.87	8250	147.6	23.2	236.4
120 - 130	60 - 80 CRC	1.51	0.29	2.75	10 750	169.3	30.3	290.4
130 - 160	80 CRC - MC	1.50	0.28	2.75	12 890	206.0	36.6	254.2

DDS = Días después de la siembra; V0 = siembra; V1, V4 y V6 = primera, cuarta y sexta hoja verdadera, respectivamente; 10, 20, 30, 60 y 80 CRC = diez, veinte, treinta, sesenta y ochenta % del crecimiento de la raíz carnosa; MC = madurez comercial.

(2006) en Canadá. Las tasas de acumulación nutrimental estimadas por Hart y Butler (2004) en EEUU para el periodo de máxima demanda nutrimental fueron 3.0, 0.35 y 3.7 kg ha⁻¹ día⁻¹ de N, P y K, respectivamente. Al momento de la cosecha, la PR acumuló 149.9, 28.4 y 264.5 kg del N, P y K (73, 78 y 75% del N, P y K absorbido por el cultivo, respectivamente), mientras que solo 56.1, 8.2 y 89.7 kg de N, P y K fueron acumulados en la PA. De acuerdo con su patrón de crecimiento, la zanahoria acumuló cerca del 75% de su BT y macronutrientes durante la segunda mitad de su ciclo de cultivo (80 a 160 DDS). Agronómicamente, esa dinámica de crecimiento sugiere que la fertilización con N en zanahoria debería dividirse de tal forma que una fracción importante se aplique en la fase de crecimiento lineal que inicia después de la etapa V6, lo cual es congruente con lo que reportan otros investigadores (Hart y Butler, 2004; Westerveld et al., 2007). Nuestros resultados sugieren que una fracción importante del N debería de aplicarse entre los 65 y 130 DDS, lo que difiere de lo que actualmente realizan los productores de zanahoria del Bajío, quienes en la práctica finalizan el programa de fertilización nitrogenada 60 DDS del cultivo.

Sin embargo, los resultados son parcialmente congruentes con lo reportado por Westerveld et al. (2007) en Canadá, quienes señalan que aunque la curva de acumulación de N en zanahoria indica que la dosis de N debería fraccionarse hasta los 130 DDS — debido a que entonces esta especie establece 50% de su sistema radical por debajo de los 30 cm de profundidad — es más conveniente finalizar la fertilización con N antes de los 84 DDS. La recomendación anterior sólo es válida cuando el cultivo se establece bajo riego rodado, por lo que en zanahoria producida bajo fertirriego, la fertilización con N debería finalizar en la etapa de 80% del crecimiento de la RC (130 DDS). El fraccionamiento de la fertilización bajo el enfoque anterior asegura tanto que el N aplicado coincida con la etapa de máxima demanda, como que se mueva por

debajo de 30 cm en el perfil, donde se establece el sistema radical de la zanahoria. Lo anterior puede resultar en un incremento de la eficiencia de recuperación de N por el cultivo, en una mejora del rendimiento, y en la reducción de la incidencia de enfermedades foliares causadas por *Alternaria dauci* y *Cercospora carotae*, lo que facilita la cosecha, especialmente cuando esta se realiza de forma mecánica (Vintal et al., 1999).

Con relación a P y K, tomando en cuenta el patrón de crecimiento del cultivo y el comportamiento que ambos elementos presentan en el suelo su aplicación, en caso de que se requiriese, debería realizarse en la siembra. Esta recomendación se hace considerando que por la baja movilidad que presenta el P en el suelo y la alta capacidad de fijación de K que exhiben la mayoría de los suelos, no existe una base técnica que justifique el fraccionado del programa de fertilización de estos elementos, incluso cuando se usan fuentes fertilizantes de alta solubilidad y se aplican a través de fertirriego.

Remoción de N, P y K

El rendimiento total de zanahoria medido en este estudio fue 74.3 t ha⁻¹ (Tabla 1), para lograrlo el cultivo absorbió 206.0, 36.6 y 354.2 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente (Tabla 2). Esto significa que por cada tonelada de zanahoria fresca sin clasificar el cultivo removió del suelo 2.8, 0.5 y 4.8 kg de N, P y K, respectivamente. Los valores determinados para N y P son diferentes de los que Castellanos et al. (2002b) recomiendan para estimar la cantidad de estos nutrientes que la zanahoria extrae del suelo (4.0 y 0.7 kg de N y P por tonelada de producto fresco cosechado, respectivamente), pero concuerdan con respecto a K (5.0 kg K por tonelada de producto fresco cosechado). Nuestros valores también difieren de los estándares nutrimentales que Chen et al. (2004) recomiendan para estimar la demanda de N, P y K en la zanahoria en China (3.0, 0.4 y 2.6 kg de N, P y K, respectivamente por tonelada de producto fresco

producido). Tomando en cuenta el rendimiento meta al que se puede aspirar en una localidad determinada y los valores de remoción de N, P y K por tonelada de zanahoria, es posible estimar la demanda de estos tres nutrientes.

Conclusiones

En nuestro estudio, la zanahoria acumuló 21% de sus requerimientos totales de BT, N, P y K durante la primera mitad de su ciclo. La rápida acumulación de BT y absorción de nutrientes ocurrió entre la etapa de 10% de crecimiento de la RC y la cosecha (últimos 80 días del ciclo), en donde el 79% de la BT, N, P y K son acumulados. La curva de crecimiento de la zanahoria sugiere que para asegurar un adecuado suministro de N, su aplicación debe dividirse de manera que una fracción importante se aplique entre la etapa de seis hojas y 80% de crecimiento de la raíz carnosa (65 a 130 DDS). En contraparte, por la baja movilidad del P y K en el suelo, su aplicación debería hacerse al momento de la siembra ya que no se justifica su fraccionado aun cuando se usen fuentes de alta solubilidad aplicadas por fertirriego. Por cada tonelada de zanahoria fresca sin clasificar, el cultivo removió del suelo 2.8, 0.5 y 4.8 kg de N, P y K, respectivamente. A partir de estos valores y el rendimiento máximo alcanzable se puede estimar la demanda de N, P y K esperada por el cultivo de una determinada localidad.

Bibliografía

- Aguilar, T.M. 2011. Demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (*Fragaria X annanasa*), cultivadas en la región de Zamora, Michoacán. Tesis de maestría. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos Estado de México, México.
- ASCA (Apoyo y Servicio a la Comercialización Agropecuaria). 2000. La zanahoria mexicana, una hortaliza con un crecimiento sostenido. Claridades agropecuarias. 79:1-16.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. INPOFOS. 57:1-10.
- Bremner, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: . C. A. Black (Ed). Methods of soil analysis, part 2- Agronomy 9. ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Castellanos, J.Z., J.L. Ojodeagua, F. Méndez, G. Alcántar, S. Villalobos-Reyes, P. Vargas, J.J. Muñoz, y I. Lascano-Ferrat. 2002a. Potassium requirements for garlic under fertigation. Better Crops International. 16(1):9-11.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2002b. Curso de interpretación de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Celaya, Guanajuato, México.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J.J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lascano, M.E. Álvarez, y S.A. Enríquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in Central Mexico. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32(7-8):1265-1292.
- Castellanos, Z.J. 1999. Nutrición de cultivos bajo sistemas de fertigración. Informaciones Agronómicas. INPOFOS. 35:5-11.
- Chen, Q., X. Li, D. Horlacher, y H.P. Liebig. 2004. Effects of different rates on open-field vegetable growth and nitrogen utilization in the North China plain. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35(11-12):1725-1740.
- Feller, C., H. Bleiholder, L. Buhr, H. Hack, M. Hess, R. Klose, U. Meier, R. Stauss, T. Van Den Boom und E. Weber. 1995. Phanologische Entwicklungsstadien von gemüsepflanzen: I. Zwiebel-, Wurzel-, Knollen- und Blattgemüse. Nachrichtenbl Deut. Pflanzenschutzd. 47:193-206.
- García, E. 1976. Modificaciones a la clasificación climática de Koeppen para adaptarla a la república mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. D.F., México.
- Hart, J., y M. Butler. 2004. Hybrid seed carrot. Nutrient management guide. Oregon State University Extension Service. USA. EM8879-E.
- Hochmuth, J.G., J.K. Brecht, y M.J. Bassett. 2006. Fresh-market carrot yield and quality did not respond to potassium fertilization on a sandy soil validated by Mehlich-1 soil test. HortTechnology. 16(2):270-276.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químicos de suelos. Omega. Barcelona, España.
- Ortiz, F.P. y A.J.P. Amado. 2004. Validación productiva de zanahoria en el Noroeste de Chihuahua. INIFAP. CIRNCE. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.
- Reid, B.J. y J.M. English. 2000. Potential yield in carrots (*Daucus carota* L.): Test and application. Annals of Botany. 85: 593-605.
- Richmond, Z.F. y C.S. Méndez. 2010. Rendimiento de 12 híbridos comerciales de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el campo y en la planta de empaque. Agronomía Mesoamericana. 21(1):167-176.
- Rodas, G.A.H, H.R. Gaitán, M.C.Z. Ojeda, J.A.C. Vidales y A.I.M. Luna. 2012. Curvas de absorción de macronutrientes en calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.). Rev. Fitotec. Mex. 35(5):57-60.
- SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pecuaria). 2013. <http://www.siap.org.consulta>:11 de marzo de 2013.
- Sosa, A., J. Padilla, J. Ortiz, y J. D. Etchevers. 2012. Biomass Accumulation and its Relationship with the Demand and Concentration of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Lettuce, Commun. Soil Sci. Plant Analysis. 43(1-2):121-133.
- Suojala, T. 2000. Pre-and postharvest development yield and quality on carrot. Department of Plant Production. Section Horticulture. Publication No. 37. Helsinki, Finland.
- Valle, M.J.C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimienta morrón (*Capsicum annum* L.). Tesis de maestría. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, Estado de México, México.
- Vintal, H., E. Bee-Noon, E. Shlevin, U. Yermiyahu, D. Shtienberg, y A. Dinooor. 1999. Influence of rate of soil fertilization on alternaria leaf blight (*Alternaria dauci*) in carrots. Phytoparasitica. 27(3):1-8.
- Westerveld, M.S., M.R. McDonald, y A.W. McKeown. 2007. Nitrogen utilization timeline of carrot over the growing season. Can. J. Plant Sci. 87:587-592.
- Westerveld, M.S., A.W. McKeown, y M.R. McDonald. 2006. Distribution of nitrogen uptake, fibrous root and nitrogen in the soil profile for fresh market and processing carrot cultivars. Can. J. Plant Sci. 86:1227-1237. ☼