

Análisis del Crecimiento Radical en Cuatro Variedades de Nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill)♦

Root Growth Rate Analysis in Four *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Varieties

Cirilo Vázquez-Vázquez¹, Rafael Zúñiga-Tarango¹, Ignacio Orona-Castillo¹,
Bernardo Murillo-Amador^{2*}, Enrique Salazar-Sosa¹, Rigoberto Vázquez-Alvarado³,
José Luis García-Hernández², Enrique Troyo-Diéguez²

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia.
Apdo. Postal 1-142, Gómez Palacio, Durango. C.P. 35000. México.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,
S.C. Mar Bermejo No. 195. Col. Playa Palo de Santa Rita.
La Paz, Baja California Sur, México. C.P. 23090.

³ Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Apartado Postal 358, San Nicolás de los Garza Nuevo León México

* Corresponding author. e-mail: bmurillo04@cibnor.mx

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el tiempo en la emisión de raíces, la tasa de crecimiento diaria y las diferencias morfológicas de raíces (longitud, diámetro y peso seco de raíces) de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica* (Liso forrajero, Villanueva, Jalpa y Copena V-1) cultivados bajo condiciones controladas y establecidas en contenedores de vidrio con sustrato (arena), bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones de cuatro plantas cada una. Se midió el tiempo en la emisión de las primeras raíces de cada variedad, mientras que la tasa de crecimiento diaria de raíces se midió durante los primeros 14 días después del establecimiento de las pencas. A los 54 días después del establecimiento, se realizó un muestreo destructivo para medir la longitud, el diámetro y el peso seco de raíces, así como la evaluación visual de la densidad de raíces. Los resultados muestran un diferencial entre variedades en todas las variables medidas. El tiempo (en días) de la emisión de raíces de nopal mostró diferencias entre variedades, donde la variedad Liso forrajero fue la más precoz y Copena V-1 la más tardía. Se encontró una relación inversa en el tiempo de emisión de raíces y la tasa de crecimiento de raíces de nopal, dado que Copena V-1 mostró la mayor tasa de crecimiento de raíces pero presentó un tiempo mayor en la emisión de éstas, mientras que la variedad Liso forrajero mostró la tasa de crecimiento de raíces menor pero el menor tiempo en su emisión. La longitud, el diámetro y el peso seco de raíces mostraron un diferencial significativo entre variedades, donde la variedad Villanueva mostró los valores mayores en las tres variables.

Palabras clave: nopal, sistema radicular, desarrollo radicular, profundidad radicular, características morfológicas.

♦ Received 29 June 2007, Accepted 6 October 2007

ABSTRACT

The present research was carried out with the objective to determine the time in the emission of roots, the growth rate, and the morphological differences of roots (length, diameter, and dry weight of roots) of four varieties of cactus pear *Opuntia ficus-indica* (Liso forrajero, Villanueva, Jalpa and Copena V-1) cultivated under controlled conditions and established in glass containers with sand as substrate, under a completely randomized design with six replications of four plants per replication. The time in the emission of the first roots of each variety was measured, while the daily growth rate of roots was measured during the first 14 days after the establishment of the cladodes. At 54 days after the establishment, a destructive sample was carried out to measure the length, the diameter, and the dry weight of roots, as well as the visual evaluation of the roots density. The results showed a differential among varieties in all variables. The time (in days) of the emission of roots of cactus pear showed differences among varieties, where the Liso forrajero variety was the more premature and Copena V-1 was the tardiest. An inverse relation between roots emission time and growth rate of roots was found because Copena V-1 showed the higher growth rate but presented a greater time in the emission of these, while Liso forrajero variety showed the lower growth rate but the lesser time in its emission. The length, the diameter, and the dry weight of roots showed a significant differential among varieties, whereas the variety Villanueva showed the greater values in the three variables.

Key words: Cactus pear, root system, root development, root depth, morphological characteristics.

INTRODUCCIÓN

En nopal, como en la mayoría de las especies cultivadas, el producto de interés comercial se ubica en su parte aérea, ya sea para cosecha de tuna o nopalito. Sin embargo, al igual que en otras especies, la mayoría de estudios nutrimentales hacen énfasis principalmente en aspectos fenológicos de la parte aérea, rendimiento y calidad del producto. En contraste, son pocos los estudios encontrados que describen el desarrollo del sistema radical en respuesta a variables de manejo del cultivo (Zúñiga y Vázquez, 1998; Zúñiga *et al.*, 1999). Un mejor conocimiento de la estrategia de esta especie para desarrollar su sistema radical, podría contribuir a hacer un uso más eficiente de agua y fertilizantes, al indicar la manera adecuada de realizarse aplicaciones más localizadas de estos insumos.

Por otro lado, el análisis de crecimiento se ha utilizado para estimar las reacciones de las plantas a las diferentes condiciones de manejo de los cultivos, así como para comparar el rendimiento de diferentes cultivares y especies en condiciones similares de crecimiento (Martínez, 1995). Para una planta o cualquier organismo, el análisis de crecimiento se ha definido como un proceso cuantitativo relacionado a un incremento irreversible de tamaño que generalmente está unido a un incremento de peso seco, susceptible de medirse, expresándolo como aumento de longitud o diámetro del cuerpo vegetal (Bonner y Galston, 1973). Por su parte, Crofts *et al.* (1971) indican que el crecimiento ocurre en número y tamaño, señalando además que puede medirse como el incremento de materia seca contenida en un vegetal.

El crecimiento de la raíz se lleva a cabo principalmente en el meristema apical y cambium. El primero se asocia con crecimiento longitudinal y la determinación de la dirección se basa en los fenómenos de geotropismo e hidrotropismo. El cambium está asociado con cambios en el diámetro o grosor de la raíz (Calderón, 1980). De acuerdo con Nobel (1997), los cambios morfológicos y anatómicos en la raíz de nopal son muy pocos en plantas de un mes de edad expuestas a sequía en suelos inicialmente húmedos, esto se debe a la formación de cubiertas de suelo alrededor de la raíz, entrelazadas con exudados y pelos absorbentes. En general, el desarrollo radical de la planta de nopal se presenta en el estrato superior del suelo, entre 0 y 18 cm de profundidad, donde se desarrolla el 96 % de la masa radical, encontrándose sólo un 3 % en el estrato de 18 a 36 cm (Zúñiga *et al.*, 1999). Este tipo de respuesta en el desarrollo de la raíz

del nopal se observa cuando las plantas se desarrollan en ambientes sin limitaciones de fertilidad, humedad disponible, temperatura y compactación del suelo (Glinski y Steoniewski, 1985; Taiz y Zeiger, 1991). De acuerdo con recientes investigaciones (Snyman, 2004), las raíces del nopal son típicamente superficiales (50-mm a 150-mm de profundidad) e incluso para un cactus grande de tipo arborescente, ocurre principalmente por arriba de los 300 mm del suelo (Gibson y Nobel, 1986).

Debido a que la absorción de los nutrimentos por la planta, así como el manejo del suelo y agua, dependen de las características del suelo y de la distribución y cantidad de raicillas absorbentes del tejido radicular, se realizó el presente trabajo con el objetivo de determinar las diferencias morfológicas de la raíz en cuatro variedades de nopal, así como medir la velocidad de crecimiento de las plantas de dichas variedades en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el área de invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) ubicada en Marín, Nuevo León, México (25°53' LN, 100° 03' LW, a una altitud de 375 msnm).

Material vegetativo

Se utilizó material vegetativo de cuatro variedades de nopal para verdura provenientes del programa de mejoramiento de la UANL, de un año de edad, mismas que se seleccionaron en base a su adaptación a las condiciones de la región, nivel de producción y calidad mostrada en estudios previos (Vázquez *et al.*, 1999) y corresponden a una selección de variedades que históricamente se ha llevado a cabo en las principales regiones productoras, de donde derivan sus nombres -Villanueva con 7500 ha; Jalpa con 400 ha; Copena VI con 90 ha y Liso forrajera con 55 ha- (Flores y Olvera, 1994). En la región de estudio, estas variedades han mostrado algunas características para su uso como bajo contenido de fibra; no presentan espinas y altos rendimientos. La variedad Copena V-1 que se ha seleccionado para verdura, principalmente por su capacidad para la producción de brotes suculentos, tiene como características principales el carecer de espinas, presentar un color verde intenso, ser suculenta, de buen sabor y con poca acidez y baba, sus brotes presentan resistencia a heladas en períodos de retorno largos en invierno; la variedad Jalpa se cultiva con fines de producción de brotes tiernos para verdura y forraje, se encuentra ampliamente difundida en otras regiones del país, por presentar brotes de buena calidad y con mayor resistencia a climas secos; la variedad Villanueva se cultiva con fines de producción de brotes tiernos (verdura), es originaria de Villanueva, Zacatecas y la variedad Liso Forrajero cuyo propósito principal de cultivo es para forraje, aunque también produce frutos (tunas) de color rojo, el origen reportado de esta variedad es San Mateo, Valparaíso, Zacatecas; esta variedad funciona excelentemente bajo condiciones de temporal y es altamente tolerante a las altas temperaturas de verano pero también presenta una resistencia moderada a las bajas temperaturas.

Conducción del experimento

De cada una de las variedades, se seleccionaron pencas uniformes y sanas, mismas que después de ser separadas de la penca madre, permanecieron bajo sombra durante tres semanas, con el fin de estimular la cicatrización del corte en la base. Posteriormente se plantaron en contenedores de vidrio de 40 x 40 x 40 cm, de largo, ancho y profundidad, respectivamente, los cuales se llenaron con arena sílica como medio de soporte y se regaron manualmente manteniendo la humedad cercana a capacidad de campo, con una solución nutritiva estándar que se ha utilizado y recomendado en trabajos anteriores con resultados favorables en condiciones de hidroponía (Calderón *et al.*, 1997; Zúñiga y Vázquez, 1998). Al sembrar las pencas, se colocaron lo más cercano posible (10 cm) a una de las paredes del contenedor de cristal, con el fin de registrar visualmente la aparición de la primera raíz de cada penca y cada variedad, respectivamente, de tal manera que se registraran las diferencias entre variedades y evitar registros por eventos aleatorios o fortuitos. Tres de las paredes de los contenedores eran de cristal y una de poliuretano, ésta última se colocó para separar cada una de las pencas de cada repetición y cada variedad, respectivamente (Figure 1), permitiendo además realizar con mayor facilidad las mediciones de las variables asociadas al crecimiento de las raíces.



Figura 1. Desarrollo de raíces de nopal *Opuntia ficus-indica* utilizando un contenedor con tres paredes de vidrio y una de poliuretano.

Figure 1. Root development of cactus pear *Opuntia ficus-indica* using a glass container with three glass walls and one of polyurethane.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones, con cuatro plantas por repetición. Se realizaron análisis de varianza y cuando las diferencias entre variedades fueron significativas, se compararon las medias de las variables en estudio, utilizando la prueba LSD de Fisher ($p=0.05$). Los datos se analizaron utilizando SAS (SAS Institute, 1990).

Medición de variables

Tasa de crecimiento de raíces. Esta variable se midió diariamente durante los primeros días del crecimiento y hasta que la exposición de las raíces lo permitió (14 días), dado que posteriormente se introdujeron en el sustrato, no siendo visibles para continuar la medición, la cual se realizó a través de una de las paredes de cristal de los contenedores. Para lo anterior, se seleccionaron dos plantas por repetición y variedad, eligiendo de cada una ocho raíces al momento de ser visibles a través del cristal, las cuales fueron previamente marcadas con tinta indeleble para señalar sobre el cristal el crecimiento diario de las raíces. A los 54 días después de la plantación y coincidiendo con el inicio de la aparición de nuevos brotes tiernos “nopalitos”, se realizó un muestreo destructivo de las plantas, para evaluar longitud, diámetro y peso seco de raíces.

Longitud de raíces. Se midió la longitud de masa de raíces, utilizando para ello una regla graduada en centímetros. Cabe señalar que las raíces emitidas por las plantas de nopal, se incrustaron en la lámina de poliuretano, permitiendo observar con claridad la profundidad a la que lograron crecer.

Diámetro de raíces. Se midió el diámetro de las raíces principales de cada una de las pencas, utilizando para ello un vernier digital (GENERAL, No. 143, GENERAL Tools, Manufacturing Co., Inc. New York, USA).

Peso seco de raíces. El peso seco de las raíces se determinó al colocar las raíces en un horno de circulación de aire forzado (Blue M. UL 543 H, Blue Island, Illinois, U.S.A.) a 80° C hasta obtener peso constante, el cual se determinó en báscula electrónica (OAHUS, Portable Advanced modelo No. CT600-S).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($F_{3,4}=1141.5$, $p=0.000003$) entre variedades para la tasa de crecimiento de raíces. El cuadro 1 muestra que Copena V-1 mostró la tasa de crecimiento mayor, seguido de Jalpa, Villanueva y Liso Forrajero, siendo ésta última la que mostró la tasa menor de crecimiento radicular. Los registros visuales a través de una de las paredes del contenedor, indicaron que a los 5 días después de la plantación (dpp), la variedad Liso Forrajero mostró sus primeras raíces, considerándose como la variedad más precoz en la emisión de raíces. Estos resultados coinciden con lo reportado por Fabbri *et al.* (1996), quien indica que la aparición del meristema apical de la raíz se presenta transcurridas las primeras 48 horas después de la plantación de cladodios de un año de edad. Sin embargo, lo anterior precisa considerar la distancia entre las areolas y el cristal que en el presente estudio fue de aproximadamente 10 cm. La variedad Copena V1 mostró sus raíces a los 9 ddp, por lo que se consideró como la más tardía, mientras que las variedades Jalpa y Villanueva mostraron sus raíces a los 7 ddp (Figure 2), consideradas como intermedias en cuanto a la aparición de raíces. En este mismo sentido, es posible distinguir que la variedad que mostró menor tiempo en la aparición de raíces (Liso forrajero), presentó la menor tasa de crecimiento radicular, mientras que tanto la mayor tasa de crecimiento como el tiempo en aparición de raíces las presentó Copena V-1 (Cuadro 1).

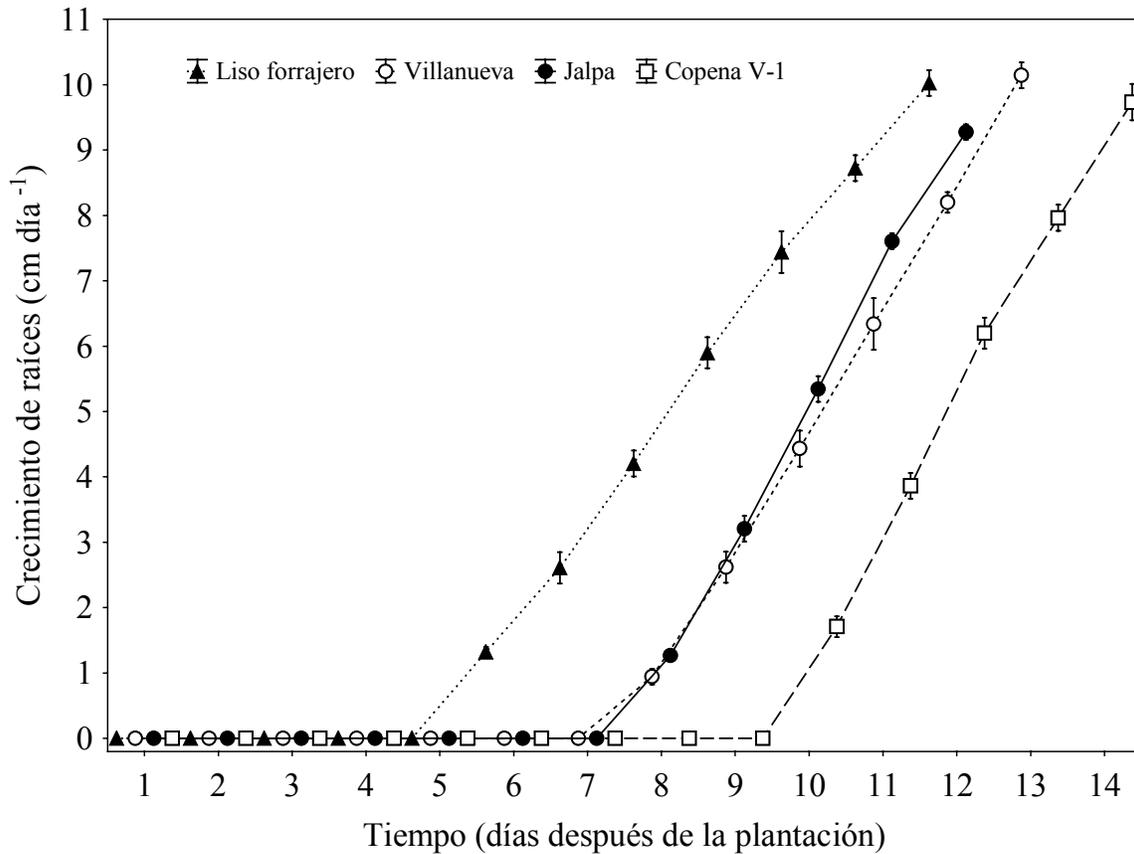


Figura 2. Crecimiento de raíces de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*. Cada valor representa la media y el error estándar de 16 valores registrados por día en cada variedad.

Figure 2. Root growth rate of four cactus pear *Opuntia ficus-indica* varieties. Each value represent the mean of 16 roots per variety.

Cuadro 1. Valores promedio de variables asociadas al sistema radical de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*.

Table 1. Average values of associated variables to root system of four cactus pear *Opuntia ficus-indica* varieties.

Variedad	Tasa de crecimiento (cm día ⁻¹)	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de raíz (cm)	Peso seco de raíz (g)
Liso Forrajero	1.41 d*	58.25 bc	1.82 b	0.58 b
Villanueva	1.44 c	72.25 a	2.60 a	0.94 a
Jalpa	1.68 b	68.67 ab	1.90 b	0.49 b
Copena V1	1.93 a	50.2 c	2.07 ab	0.54 b
LSD	0.00010	11.93	0.59	0.21

* Medias con la misma letra en columna, no difieren significativamente (Fisher LSD $p=0.05$).

El análisis de varianza para longitud, diámetro y peso seco de raíz mostró diferencias significativas entre variedades, observándose (Cuadro 1) que la variedad Villanueva presentó los valores más altos en las tres variables mencionadas, seguida por la variedad Jalpa que mostró igualdad estadística con Villanueva en la variable longitud de raíz, mientras que para la variable diámetro de raíz, la variedad Copena V-1 mostró igualdad estadística con Villanueva. En cuanto a densidad de raíces, al realizar una comparación visual de dos de las variedades utilizadas en el experimento, las cuales mostraron mayor densidad radical, se observó que la variedad Jalpa mostró mayor densidad de raíces secundarias y pelos radiculares con respecto a la variedad Villanueva (Fig. 3). Sin embargo, tanto en longitud, diámetro y peso seco de raíz, la variedad Villanueva mostró valores altos con respecto a Jalpa, observándose que las raíces de ésta última variedad, se conforman principalmente de pelos radiculares y raíces secundarias, mientras que las raíces de la variedad Villanueva son mayoritariamente raíces primarias. Cabe señalar que la dirección de las raíces se presentó de manera horizontal, aún cuando el poliuretano mostraba mayor resistencia a la penetración que el mismo sustrato; mientras que en el cristal se toparon y crecieron sobre la pared internándose en el sustrato después de 10 cm de profundidad sin llegar a tocar fondo en el interior del mismo.

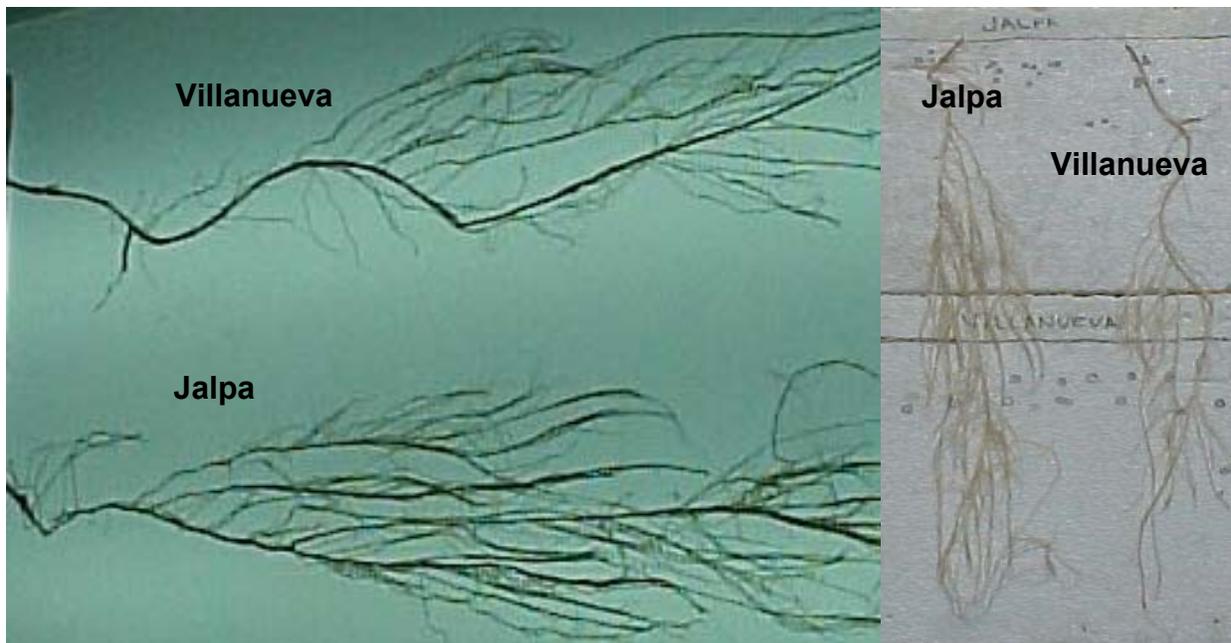


Figura 3. Densidad de raíces de dos variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*.

Figure 3. Root density of two cactus pear *Opuntia ficus-indica* varieties.

CONCLUSIONES

El tiempo (en días) de la emisión de raíces de nopal *Opuntia ficus-indica* mostró diferencias entre variedades, donde la variedad Liso forrajero fue la más precoz y Copena V-1 la más tardía. Se encontró una relación inversa en el tiempo de emisión de raíces y la tasa de crecimiento de raíces de nopal, dado que Copena V-1 mostró la mayor tasa de crecimiento de raíces pero presentó un tiempo mayor en la emisión de éstas, mientras que la variedad Liso forrajero mostró la tasa de crecimiento de raíces menor pero el menor tiempo en su emisión. La longitud, el diámetro y el peso seco de raíces mostraron un diferencial significativo entre variedades, donde la variedad Villanueva mostró los valores mayores en las tres variables.

REFERENCIAS

- Booner, J. y A. Galston. 1973. Principios de fisiología vegetal. Ed. Aguilar. España. 485 p.
- Calderón, A.E. 1980. Fruticultura general. Edit. LIMUSA, México, D.F. pp. 43-54.
- Calderón, P.N., Estrada-Luna, A. y Martínez H.J.J. 1997. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp). In: Vázquez-Alvarado, R.E., C. Gallegos-Vázquez, N. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7° Congreso Nacional y 5° Internacional. Facultad de Agronomía. UANL. Monterrey, N.L. México. pp. 165-166.
- Crofts, C., D. Kachson, P. Martín y J. Patrik. 1971. Los vegetales y sus cosechas. Fundamentos de agricultura moderna. AEDOS. Barcelona, España. 245 p.
- Fabbri, A., A. Cicala, A. Tamburino. 1996. Anatomy of adventitious root formation in *Opuntia ficus-indica* cladodes. *Journal of Horticultural Science*. 71(2):235-242.
- Flores V.C.A. y Olvera, M.J. 1994. El sistema producto nopal verdura en México. SARH-UACH-CIESTAAM, Chapingo, México. 149 p.
- Gibson, A. y Nobel, P. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press, Cambridge.
- Glinski, J. y W. Steoniewski. 1985. Soil aereation and its role for plants. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. pp. 137-145.
- Martínez, M.J. 1995. Estimación de la eficiencia del agua mediante mediciones de intercambio de gases y análisis de crecimiento en tres especies cultivadas. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, N.L., México.
- Nobel, P.S. 1997. Recientes descubrimientos ecofisiológicos en *Opuntia ficus-indica*. In: Vázquez-Alvarado, R.E., C. Gallegos-Vázquez, N. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7° Congreso Nacional y 5° Internacional. Facultad de Agronomía. UANL. Monterrey, N.L. México. pp. 11-20.
- SAS Institute. 1990. *SAS User's Guide: Statistics*. 6.04. Cary, N.C.

Snyman, H.A. 2004. Effect of various water application strategies on root development of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* under greenhouse growth conditions. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6:35-61.

Taiz, L. y E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, California. pp. 282-367.

Vázquez, A.R., E. Salinas G., G. Gallegos V.C. y Valdez C.R. 1999. Recolección y conservación *ex situ* de la diversidad genética del nopal en el noreste de México. In: Vázquez-Alvarado, R.E., C. Gallegos-Vázquez, N. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7° Congreso Nacional y 5° Internacional. Facultad de Agronomía. UANL. Monterrey, N.L. México. pp. 19-20.

Zúñiga, T.R. y R. Vázquez. 1998. Respuesta radicular de dos variedades de nopal a tres dosis de nitrógeno bajo condiciones de hidroponía. Seminarios primavera. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, N.L., México. pp. 96-102.

Zúñiga, T.R., R. Vázquez y E. Salazar. 1999. Patrón de desarrollo radical de nopal en diferentes condiciones de suelo y su relación con el rendimiento. In: Aguirre-Rivera, J.R., Reyes-Agüero, J.A. (Editores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. VIII Congreso Nacional y VI Internacional. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luís Potosí, México. pp. 12-13.