

**Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal  
*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en diferentes  
tratamientos de fertilización**

**Root growth, yield and mineral concentration of *Opuntia ficus-indica* (L.)  
Mill. under different fertilization treatments**

Rafael Zúñiga-Tarango<sup>1</sup>, Ignacio Orona-Castillo<sup>1</sup>, Cirilo Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>, Bernardo Murillo-Amador<sup>2\*</sup>, Enrique Salazar-Sosa<sup>1</sup>, José Dimas López-Martínez<sup>1</sup>, José Luis García-Hernández<sup>2</sup>, Edgar Rueda-Puente<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Universidad de Sonora, Campus Santa Ana, Sonora, México

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

*Received 8 September, 2008; accepted 25 April, 2009*

**Resumen**

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las aplicaciones de estiércol bovino y fertilizante mineral en diferentes profundidades con respecto al crecimiento radical, producción de materia seca y concentración de nutrientes en nopalito. El experimento se realizó durante un periodo de 18 meses con tratamientos formados por dos dosis de estiércol bovino (100 y 300 t ha<sup>-1</sup>) o una dosis de fertilizante mineral aplicados en tres profundidades (0-18, 18-36 y 36-54 cm), además de un testigo sin abono. El experimento se estableció considerando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la mayor abundancia relativa de raíces de las plantas de nopal fue en el primer estrato (0 a 18 cm) con un 96%, seguido del estrato de 18 a 36 cm con 3 %. El rendimiento de nopalitos, la producción de materia seca y el número de brotes fueron mayores en las plantas sometidas al tratamiento de 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado en el estrato superior (0 a 18 cm). El contenido mineral de los cladodios mostró valores similares entre tratamientos y el testigo; sin embargo, la concentración de fósforo y de micro elementos fue mayor en las plantas sometidas a los tratamientos de estiércol en el estrato de 0 a 18 cm. Las aplicaciones de estiércol incrementaron el contenido mineral y de materia orgánica del suelo al final del experimento.

**Palabras clave:** Profundidad de aplicación de fertilizantes; Absorción de nutrimentos; Aplicación de estiércol.

## Abstract

The main objective of this study was to determine the effect of conditions with manure and mineral fertilizing applications with respect to prickly pear cactus production and root growth. The experiment was conducted during 18 months using two cow manure doses (100 and 300 t ha<sup>-1</sup>), three depth application (0-18, 18-36 and 36-54 cm), and a control treatment. The experiment was established under complete randomized block design with four replications and response variables of yield and roots characteristics were evaluated. The results showed that the higher root abundance in prickly pear cactus was in the first stratum (0-18 cm) where found the 96% of the total root mass, followed by the second stratum (18-36 cm) with 3% of root mass. The effect of root development with the cladodes yield was inversely proportional. The cladodes yield, dry matter production and the cladodes number showed the higher values under 100 t ha<sup>-1</sup> of manure in the first stratum (0-18 cm). The mineral content of the cladodes showed similar values between the fertilizer treatments and control; however, the concentration of phosphorus and microelements was higher in the plants under manure treatments in the first stratum. In general terms, the application of manure increased the organic matter and mineral content of the soils at the end of the present experiment.

**Key words:** Depth of the fertilizer application; Nutrient uptake; Manure application.

## Introducción

Existen varios factores que afectan el desarrollo de la raíz de las plantas cultivadas. Entre ellos se incluyen factores que dependen de la especie vegetal, hábito de crecimiento y algunas variables ambientales como la concentración del O<sub>2</sub>, la temperatura y el estado hídrico de la planta (Taiz y Zeiger, 1991). La importancia del estudio de la respuesta de los patrones de extracción y los factores que lo limitan es de gran interés dado que mediante la raíz, las plantas se satisfacen de agua y nutrimentos para su desarrollo, permitiendo un aumento en la superficie de exploración. Esta respuesta del desarrollo radical está influenciada fuertemente por la compactación del suelo, dado que aumenta la densidad aparente, reduce la velocidad de infiltración y disminuye la aireación del suelo. Estos factores contribuyen a restringir el desarrollo de la raíz tanto radial como longitudinalmente, lo cual a su vez limita la absorción de agua, nutrimentos y generalmente reduce el desarrollo, calidad y producción (Unger y Kasper, 1994). Además de la compactación, existen otros factores que afectan la aireación en el suelo, tal es el caso de prácticas de drenaje agrícola inadecuadas que crean condiciones de inundación y reducen considerablemente el intercambio de gases en el suelo, lo cual deteriora las condiciones ideales para un adecuado intercambio de gases en el sistema raíz-suelo-atmósfera (Taiz y Zeiger, 1991). En el aspecto nutricional, existe un reconocimiento generalizado entre productores e investigadores en el sentido de que el nopal se ubica como una planta rústica; sin embargo, responde favorablemente a la aplicación de abonos ya sea orgánicos o químicos (Pimienta, 1990; Mondragón y Pimienta, 1990; Murillo-Amador *et al.*, 2005 a,b).

En general, las investigaciones sobre fertilización han tenido una orientación práctica, e indudablemente han contribuido a la adopción de esta labor cultural. El nopal, como la mayoría de los cultivos, presenta su producción en la parte aérea, lo que explica el motivo por el que la mayor parte de la investigación agrícola, sea referida a los rendimientos aéreos. Pocos investigadores consideran el efecto que ejercen las condiciones del suelo sobre la disponibilidad de nutrimentos y la distribución de raíces y estos factores, a su vez, sobre la producción. Por esta razón, se considera necesario destinarle mayor atención a esos aspectos y así contar con más elementos básicos para generar recomendaciones al respecto.

El estiércol como abono ha mostrado ser benéfico (Murillo-Amador *et al.*, 1999) cuando éste se ha utilizado de manera adecuada, mejorando la calidad del suelo al incidir en las propiedades físicas, biológicas y químicas. Sin embargo, no deben esperarse grandes cambios en pocos años, en particular con respecto a las propiedades físicas, ya que para lograr cambios significativos se requieren grandes cantidades de estiércol, lo que traería consigo una degradación de las propiedades químicas y la disminución la calidad del suelo. Aun cuando el lugar más idóneo de depósito del estiércol es el suelo, sobre todo cuando se dispone de cantidades tan grandes que llega a ser un problema, como es el caso de los corrales de ganado con fines de producción lechera.

La incorporación del estiércol al suelo debe realizarse con un manejo adecuado que no produzca contaminación y proporcione al suelo una serie de ventajas desde el punto de vista nutricional. Las propiedades físicas del suelo serán mejoradas con cambios, por lo general, lentos y difíciles de percibir en el corto plazo. Sin embargo, existen muchas discrepancias en cuanto a las recomendaciones de las dosis, además del desconocimiento generalizado de los efectos que inducen en el desarrollo y distribución de raíces. Por lo anterior, es importante considerar el efecto que ejercen las condiciones del suelo en la distribución de raíces y de éstas sobre la producción. El objetivo del presente estudio fue determinar el patrón de desarrollo radical de *Opuntia ficus-indica* en diferentes condiciones de suelo con estiércol bovino aplicado en tres profundidades y su efecto en el rendimiento de nopal verdura.

## **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' N, 100° 03' W, a una altitud de 375 msnm).

### **Conducción del experimento**

El experimento se condujo durante el período comprendido entre julio de 1998 y enero de 2000. Se plantaron cladodios de nopal verdura, variedad “Jalpa”, en contenedores de 0.648 m<sup>3</sup> con dimensiones de 1 m de largo por 1.2 m de ancho y 0.54 m de profundidad, los cuales se llenaron con suelo y se dividieron en tres estratos de 18 cm de espesor. Se evaluaron diez tratamientos formados por la dosis de estiércol o fertilizante químico y la profundidad de aplicación. El contenido de N, P, K en el estiércol fue de 3.09, 0.46 y 4.12 %, respectivamente; mientras que el suelo presentó las características siguientes: 1.61 % de materia orgánica, 3.71 % de carbonato, un pH de 8.54, una conductividad eléctrica de 17.8 dS m<sup>-1</sup>, además de 20.5, 16.0 y 298 ppm de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

### **Medición de variables**

En este período se realizaron tres evaluaciones para cuantificar el desarrollo radical con muestreos destructivos utilizando el método del monolito o bloques, descrito por Kolesnikov (1971).

*Peso seco de raíces.* El peso seco 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).

*Longitud de raíces.* La longitud de raíces se midió con regla graduada cuando se realizaron los muestreos destructivos de las plantas de nopal, de las cuales se extrajeron y cuantificaron en cada uno de los estratos.

*Diámetro de raíces.* El diámetro de las raíces principales de cada cladodio madre se midió con un vernier digital (GENERAL, No. 143, GENERAL Tools, Manufacturing Co., Inc. New York, USA).

*Porcentaje de enraizamiento.* Esta variable se determinó de acuerdo al número de areolas cubiertas por el sustrato, cuantificándose el número de las que emitieron raíces.

*Producción de materia seca.* La materia seca se determinó al colocar los cladodios cosechados, previamente fraccionados, 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).

*Número de brotes por planta.* Esta variable se cuantificó realizando un conteo de los brotes cosechados en cada uno de los cortes.

*Contenido mineral en cladodios.* Los cladodios cosechados (nopalitos) se lavaron con agua destilada para remover polvo y cualquier otro residuo ajeno a la planta. Posteriormente se colocaron en charolas de aluminio en el interior de 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). Una vez secado el material vegetal, se molió finamente en molino para muestras pequeñas (Braun 4-041 Model KSM-2) y se almacenaron en bolsas de papel para su envío al laboratorio. Los análisis químicos de minerales se realizaron con base en peso seco. Se determinó el contenido de sodio, cobre, hierro, calcio, magnesio, manganeso y potasio mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (Shimadzu AA-660, Shimadzu, Kyoto, Japan) después de una digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub>. El cloro se extrajo mediante agua caliente y su concentración se determinó en cromatógrafo de iones (Shimadzu HIC-6A, Shimadzu, Kyoto, Japan). El contenido de nitrógeno se determinó mediante el método de microkjeldahl a base de calentamiento con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y ácido salicílico, adicionando el reactivo de Nessler (US EPA, 1979) para desarrollar color y así determinar la concentración en espectrofotómetro a 415 nm. El contenido de fósforo se determinó por el método de Gomori (1942), utilizando molibdato de sodio para el desarrollo de color y realizando su lectura en espectrofotómetro a 660 nm.

*Fertilidad del suelo.* Se determinó la concentración de elementos al final del experimento de acuerdo a los tratamientos aplicados. El nitrógeno total se determinó mediante digestión con Kjeldahl utilizando una mezcla de ácido sulfúrico y ácido salicílico conteniendo sulfato de potasio y sulfato de cobre como catalizadores, seguido de una estimación de amonio usando el método de Nessler (Hach, 2000). El fósforo se determinó por el método azul de molibdeno midiendo la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro (Hitachi U-1100). El potasio se determinó mediante una digestión ácida y después se obtuvo el valor mediante absorción atómica (Shimadzu AA-660, Shimadzu, Kyoto, Japan). El contenido de materia orgánica del suelo se determinó mediante el método de Walkley y Black (Jackson, 1964).

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El experimento se estableció al considerar un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial con cuatro repeticiones, utilizando como unidad experimental un contenedor con cuatro plantas. El primer factor en estudio fueron las profundidades de aplicación de abonos (estiércol bovino y/o fertilizante químico), con tres niveles (0-18, 18-36 y 36-54 cm de profundidad) y el segundo factor fueron las dosis de estiércol bovino con dos niveles (100 y 300 t ha<sup>-1</sup>) más una dosis de fertilizante inorgánico, equivalente a 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol. La combinación de los factores

permitió formar nueve tratamientos: T1= fertilizante mineral y 00-18 de profundidad; T2= fertilizante mineral y 18-36 de profundidad; T3= fertilizante mineral y 36-54 de profundidad; T4= 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol y 00-18 de profundidad; T5= 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol y 18-36 de profundidad; T6= 100 t ha<sup>-1</sup> y 36-54 de profundidad; T7= 300 t ha<sup>-1</sup> y 00-18 de profundidad; T8= 300 t ha<sup>-1</sup> y 18-36 de profundidad; T9=300 t ha<sup>-1</sup> y 36-54 de profundidad y T10= sin aplicación (testigo: suelo normal). Se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias con la prueba LSD de Fisher ( $p=0.05$ ), al usar el programa SAS (SAS Institute, 1990).

## Resultados y discusión

### Peso seco de raíces

La cuantificación del peso seco de raíz mostró en lo general (Cuadro 1) que el mayor desarrollo radical de la planta de nopal se presentó en el estrato de 0 a 18 cm, lo cual coincide con los resultados reportados por Zúñiga y Cueto (2001). Se encontró que en ésta profundidad, las plantas de nopal desarrollaron hasta el 96% de su abundancia radical, mientras que un 3% se desarrolló en el estrato correspondiente a la profundidad de 18 a 36 cm. En el estrato de 36 a 54 cm, sólo se encontraron fracciones muy pequeñas de raíces, estimándose en un 1%.

### Longitud de raíces

La respuesta de ésta variable se muestra en la Figura 1. El estrato superior mostró valores estadísticamente no diferentes ( $p=0.05$ ) entre el testigo y los tratamientos de estiércol aplicado, siendo superior el tratamiento de 300 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, con un valor de 40.25 cm, siendo estadísticamente igual a los tratamientos correspondientes a fertilizante mineral y 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, respectivamente. Una situación similar se presentó en los valores de ésta variable en los tratamientos de estiércol aplicado en el estrato inferior (de 36 a 54 cm), los cuales presentaron, en términos generales, una longitud de raíces mayor, independientemente de la cantidad de estiércol aplicado. Asimismo, estos valores resultaron mayores en las plantas tratadas con el fertilizante mineral aplicado en el estrato inferior, que resultó estadísticamente igual al tratamiento de 300 t ha<sup>-1</sup> de estiércol en la profundidad de 18 a 36 cm. De acuerdo con estos resultados, el desarrollo en longitud de raíces, estuvo determinado por el fenómeno de quimiotropismo, toda vez que el estiércol fue aplicado en la parte más distante de los contenedores, por lo que la planta desarrolló una longitud mayor tratando de dar alcance a los nutrientes.

### Diámetro de raíces

La respuesta de ésta variable a la aplicación de los tratamientos mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 2), observándose un diámetro mayor en los tratamientos de fertilización mineral en el estrato de 0 a 18 cm y dosis de 100 t ha<sup>-1</sup> en el estrato de 36 a 54 cm. Una respuesta que destaca es que en el tratamiento de 100 t ha<sup>-1</sup> en las tres profundidades, las plantas mostraron un incremento en el diámetro de las raíces conforme se incrementó la profundidad de aplicación del abono.

### Porcentaje de enraizamiento

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable. El mayor porcentaje de enraizamiento se presentó en las plantas del tratamiento testigo, con igualdad estadística entre los tratamientos siguientes: Mineral 0-18, 300 t 0-18, 300 t 36-54 y 100 t 18-36 (Cuadro 2). Las plantas sometidas al tratamiento 100 t ha<sup>-1</sup> y 36-54 cm de profundidad mostraron un porcentaje menor de enraizamiento. Los resultados anteriores coinciden con los reportados por Zúñiga y Vázquez (1998) quienes evaluaron la respuesta de plantas de la misma especie de nopal utilizada en el presente

estudio, empleando diferentes dosis de nitrógeno y concluyeron que el inicio del crecimiento radical se encuentra en función de las condiciones como la cantidad de luz y la humedad existentes en el sustrato.

Cuadro 1. Valores promedio del peso seco de raíces (g) por plantas en nopal en función del tipo, la dosis de estiércol y la profundidad de aplicación.

Table 1. Mean values of root dry weight (g) of prickly pear cactus plants under different manure doses and depth application.

Tratamientos		Estrato de 0 a 18 cm			Estrato de 18 a 36 cm		
Dosis (t ha <sup>-1</sup> )	Profundidad (cm)	Muestreo 1 22/dic/1998	Muestreo 2 15/jun/1999	Muestreo 3 5/feb/2000	Muestreo 1 22/dic/1998	Muestreo 2 15/jun/1999	Muestreo 3 5/feb/2000
100	18-36	3.802 a	3.761 b	3.737 c	0.109 a	0.137 bc	0.114 c
Mineral	18-36	2.426 b	2.408 c	2.278 cd	0.101 a	0.124 d	0.072 cd
300	36-54	2.399 bc	2.724 c	2.922 cd	0.106 a	0.140 bc	0.095 cd
Mineral	36-54	2.251 bcd	6.641 a	3.207 cd	0.104 a	0.135 bc	0.098 cd
Mineral	00-18	2.015 bcde	3.596 b	3.045 cd	0.107 a	0.159 ab	0.092 cd
100	00-18	1.992 cde	2.521 c	6.722 a	0.114 a	0.170 ab	0.216 a
300	00-18	1.955 de	2.434 c	6.369 a	0.120 a	0.183 a	0.200 a
Testigo		1.705 ef	2.544c	3.846 bc	0.113 a	0.170 ab	0.112 bc
300	18-36	1.347 fg	2.747 c	5.513 ab	0.103 a	0.130 c	0.161 ab
100	36-54	1.284 g	3.509 b	3.134 cd	0.104 a	0.124 d	0.093 cd
		$\bar{X} = 2.12$	$\bar{X} = 3.289$ 96 %	$\bar{X} = 4.070$	$\bar{X} = 0.109$	$\bar{X} = 0.108$ 3 %	$\bar{X} = 0.120$

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

### Rendimiento de nopalito

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en siete cortes. En términos generales, esta variable mostró los valores mayores en el tratamiento de 100 t ha<sup>-1</sup>, seguido de los tratamientos de 300 t ha<sup>-1</sup> de estiércol y fertilizante mineral, los tres tratamientos en la profundidad de 0 a 18 cm (Cuadro 3). Se observó que el rendimiento se incrementó conforme se realizaron los primeros tres cortes, para posteriormente disminuir en los siguientes tres y de nuevo mostrar los rendimientos mayores en los dos cortes últimos. La disminución en el rendimiento en los cortes cuarto, quinto y sexto, coincidió con el periodo invernal, por lo que se asume que ésta disminución fue por efecto del frío. Los resultados anteriores coinciden con los presentados por Vázquez y Gallegos (1995) quienes encontraron rendimientos mayores de nopalitos cuando aplicaron dosis altas de estiércol.

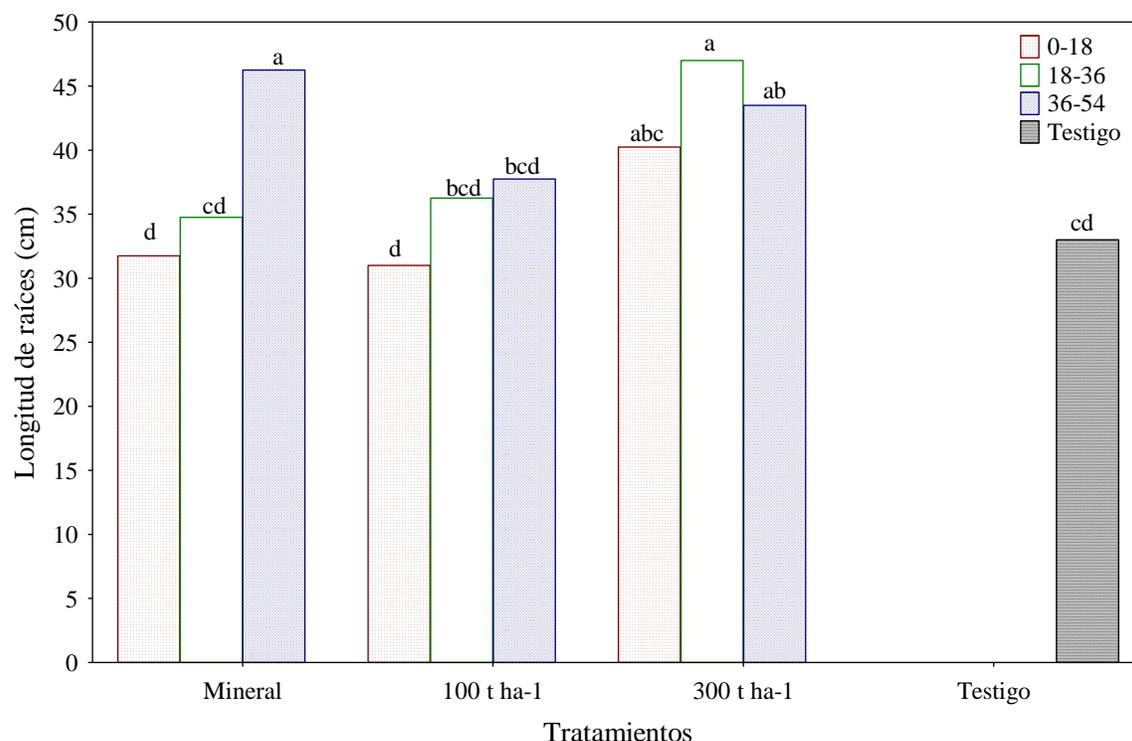


Figura 1. Longitud de raíces en nopal a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación. Barras con la misma letra, no difieren significativamente (Fisher LSD a  $p=0.05$ ).

Figure 1. Length of root in prickly pear under different manure doses and depth application. Bars with the same letter, are not different significantly ((Fisher LSD a  $p=0.05$ ).

### Producción de materia seca

Esta variable se relacionó directamente con la variable rendimiento de nopalito ( $r=0.24$   $p=0.04$ ,  $n=70$ ), por lo que presentó resultados similares al rendimiento, encontrándose diferencias significativas entre tratamientos en siete cortes. Los valores mayores se presentaron en el tratamiento de  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido de los tratamientos de  $300 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol y fertilizante mineral, los tres tratamientos en la profundidad de 0 a 18 cm (Cuadro 4). La proporción de materia seca fue del 10 % con respecto al rendimiento de nopalito, resultado que coincide con lo reportado por Flores y Aguirre (1992). Por otro lado, se observó que la relación de la producción acumulada de nopalito con el desarrollo radical de las plantas (Figura 2) se presentó con una proporción inversa, por lo que se asume que la planta utiliza los fotosintatos generados para desarrollar la parte aérea al tener satisfechas las necesidades de nutrientes proporcionadas por el medio a través de la raíz, resultados que confirman lo reportado por Zúñiga y Vázquez (1998) quienes evaluaron diferentes dosis de nitrógeno y variedades de nopal, dentro de ellas la variedad Jalpa, la cual mostró una respuesta similar a los resultados del presente estudio.

Cuadro 2. Valores promedio de diámetro de raíz y porcentaje de areolas enraizadas de nopal sometido a diferentes dosis de estiércol y profundidades de aplicación.

Table 2. Average values of root diameter and percentage of rooted areoles under different manure doses and depth application.

Tratamientos	Diámetro de raíz (mm)	Areolas enraizadas (%)
Mineral 0-18	3.05 a	40.00 ab
100 t 36-54	2.95 a	22.75 c
Mineral 36-54	2.70 ab	40.25 ab
300 t 36-54	2.55 ab	40.00 ab
300 t 0-18	2.45 abc	39.00 ab
100 t 18-36	2.32 bc	36.00 ab
300 t 18-36	2.22 bc	29.50 bc
Testigo	2.20 bc	45.00 a
Mineral 18-36	2.15 bc	30.25 bc
100 t 0-18	1.85 c	32.00 bc

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

Cuadro 3. Valores promedio del rendimiento de nopalito sometido a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Table 3. Average values of green cladodes “nopalitos” yield under different manure doses and depth application.

Tratamientos		Número de corte y fecha de corte/Rendimiento de nopalito (t ha <sup>-1</sup> )							
Dosis	Profundidad (cm)	1 06/08/98	2 02/09/98	3 08/10/98	4 19/11/98	5 25/01/99	6 13/02/99	7 22/03/99	8 06/05/99
100 t ha <sup>-1</sup>	00-18	2.98a	4.8ab	8.24a	5.75a	4.06a	5.10a	16.2a	13.5a
300 t ha <sup>-1</sup>	00-18	1.98a	5.08a	6.81b	5.09a	2.6ab	4.32a	14.1ab	12.2ab
100 t ha <sup>-1</sup>	18-36	2.36a	4.6abc	5.7bc	2.7bc	1.8bc	2.84b	11.1bc	10.6bc
Mineral	00-18	2.34a	3.3bcd	6.9ab	3.52b	1.1bc	1.34c	14.1ab	10.1cd
300 t ha <sup>-1</sup>	18-36	1.98a	3.6bcd	4.4cde	1.8cd	0.83c	2.1bc	12.2bc	9.8cde
Mineral	18-36	2.02a	3.8abc	3.7cde	0.72de	0.82bc	1.10c	9.51c	7.48f
300 t ha <sup>-1</sup>	36-54	2.34a	2.9cd	3.2de	0.49de	0.155c	1.15c	10.2c	9.3cde
Mineral	36-54	1.82a	3.1bcd	4.2cde	0.51de	1.9bc	1.7bc	12.0bc	8.2ef
100 t ha <sup>-1</sup>	36-54	1.40a	3.7bcd	3.16e	0.283e	0.83bc	1.49c	10.1c	8.7def
Testigo		1.71a	1.99d	5.5cd	0.91de	0.97bc	1.54c	10.5c	8.3ef

\* Medias con la misma letra en hilera, no difieren significativamente (Fisher LSD a p=0.05).

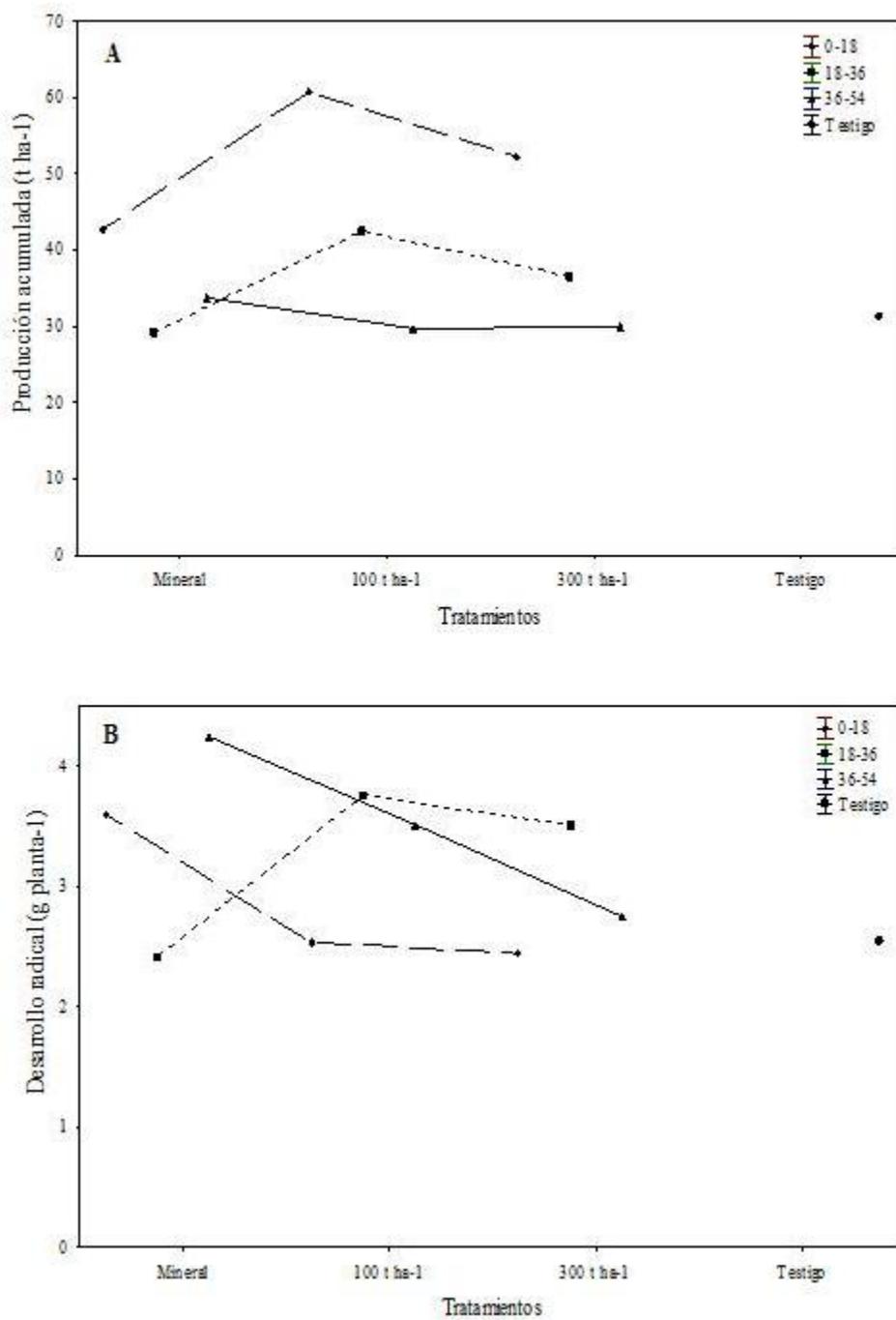


Figura 2. Producción acumulada (A) y patrón de desarrollo radical (B) de nopal sometido a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Figure 2. Accumulated production (A) and root development pattern (B) of prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

### **Número de brotes por planta**

Esta variable mostró una relación directa con la variable producción de materia seca ( $r=0.95$ ,  $p=0.000$ ,  $n=70$ ), toda vez que uno de los criterios para cosechar era el tamaño de brote al considerar largo por ancho. Por lo anterior, esta variable mostró resultados similares a la variable anteriormente mencionada, con diferencias significativas en siete cortes. En términos generales, el número de brotes mayor por planta se presentó en los tratamientos de  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido del tratamiento de  $300 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol (Cuadro 4).

### **Contenido mineral en cladodios**

El contenido mineral de los nopalitos cosechados (Cuadro 5) mostró valores similares en el nitrógeno, potasio, sodio y magnesio entre los tratamientos y el testigo. Con ello se demuestra la existencia de las variaciones y lo complejo de las respuestas debido a las interacciones entre los elementos en el suelo y durante la toma de los mismos por las raíces. De acuerdo con las tendencias presentadas por los microelementos, estos mostraron una concentración mayor en los tratamientos donde se realizaron aplicaciones de estiércol; sobre todo cuando éste se aplicó en la parte superior de los contenedores, lo cual se correlacionó positivamente con las modificaciones presentadas en el pH del suelo con la aplicación del abono (Figura 3).

Por otro lado, de los elementos considerados en ésta variable, destaca la concentración del fósforo (Fig. 4) la cual, comparada con el testigo, con el fertilizante mineral y con reportes anteriores en la misma especie (Nobel, 1998) mostró valores superiores en las plantas sometidas a los tratamientos de estiércol, con valores similares en cuanto a las dosis de  $100$  y  $300 \text{ t ha}^{-1}$ , cuyos valores promedio fueron  $0.56$  y  $0.59 \%$ , respectivamente (Cuadro 5). Considerando la profundidad de aplicación del estiércol, los valores de la concentración de fósforo fueron de mayor a menor, cuyo promedio en el estrato de  $0$  a  $18 \text{ cm}$  fue de  $0.69 \%$ , seguido de  $0.57 \%$  en el estrato de  $18$  a  $36 \text{ cm}$  y  $0.46 \%$  en el estrato más profundo (de  $36$  a  $54 \text{ cm}$ ), en todos los casos con valores superiores a los obtenidos por el tratamiento de fertilizante mineral y el testigo (Figura 4).

### **Fertilidad del suelo**

El análisis mineral del suelo al final del experimento (Cuadro 6) mostró la capacidad de abastecimiento producto de las aplicaciones de estiércol para años subsecuentes, tal como lo menciona Pratt (1982) al discutir el valor del estiércol como fertilizante. Los contenidos de nitrato y potasio en las áreas donde se aplicó estiércol son superiores al sitio testigo, sobresaliendo el caso del potasio donde, aún cuando en el tratamiento mineral y el estiércol en  $100 \text{ t}$  eran equivalentes, al final presentó un contenido mayor de potasio residual en la aplicación mineral atribuyéndose a la solubilidad del mismo y un posible efecto de lixiviación como lo cita Pratt (1982) para el caso del estiércol, al pasar a formar parte de los efectos de salinidad.

Cuadro 4. Valores promedio de producción de materia seca y número de brotes por planta de nopal sometido a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Table 4. Average values of dry matter production and number of cladodes per plant of prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

Tratamientos	Producción de materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) (en siete cortes)							Número de brotes por planta (en siete cortes)						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
100 t ha <sup>-1</sup> 00-18	432ab	731a	581a	416a	512a	1625a	1358a	3.44a	4.31ab	2.75a	1.666 a	2.0 a	8.83 a	9.41 a
300 t ha <sup>-1</sup> 00-18	453a	605ab	512a	277ab	432a	1418ab	1213ab	3.00ab	4.50a	2.38ab	1.16 ab	1.6a	8.83a	7.83a
100 t ha <sup>-1</sup> 18-36	399ab	506ab	277bc	190bc	289b	1116bc	1064bc	2.63bc	3.25bc	1.50c	1.00ac	1.0b	8.08a	6.83a
Mineral 00-18	225c	617ab	361b	112bc	139c	1418ab	1014cd	2.3bcd	2.81cd	1.69bc	0.58bcd	0.83bc	6.08bc	6.75a
300 t ha <sup>-1</sup> 18-36	318abc	393cde	184cd	85c	208bc	1236bc	980cde	2.50bc	2.50cd	1.25cd	0.25d	0.91bc	7.5ab	7.16a
Mineral 18-36	335abc	332cde	75de	81bc	106c	951c	750f	2.56bc	2.31cd	0.50de	0.50bcd	0.58c	5.0c	6.91a
300 t ha <sup>-1</sup> 36-54	269bc	290de	51de	16c	114c	1029c	938ce	1.94cd	1.75d	0.31e	0.25d	0.58c	7.50ab	5.58a
Mineral 36-54	278bc	374cde	50de	192bc	119bc	1214bc	824ef	2.3bcd	2.43cd	0.38e	0.091bc	0.83bc	5.50c	7.41a
100 t ha <sup>-1</sup> 36-54	328abc	271e	29e	86bc	152c	1018c	876df	2.25cd	2.06d	0.31e	0.41cd	0.66bc	6.08bc	4.41a
Testigo	178c	493bcd	87de	99bc	154c	1065c	826ef	1.75d	2.62cd	0.62de	0.50bcd	0.75bc	6.00bc	5.66a

\* Medias con la misma letra en hilera, no difieren significativamente (Fisher LSD a p=0.05).

Cuadro 5. Valores promedio del contenido mineral de “nopalitos” cosechados de plantas de nopal sometidas a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Table 5. Average values of mineral content of “nopalitos” of prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

Minerales	Mineral	100 t ha <sup>-1</sup>	300 t ha <sup>-1</sup>	Testigo	Nobel (1988)
Nitrógeno (%)	2.30	2.45	2.570	2.24	2.61
Fósforo (%)	0.30	0.56	0.59	0.38	0.33
Potasio (%)	6.24	6.58	5.97	6.02	1.18
Calcio (%)	5.38	5.04	3.69	4.82	6.33
Magnesio (%)	1.07	1.37	1.39	1.38	1.43
Sodio (%)	0.13	0.12	0.13	0.12	31 ppm
Manganeso (ppm)	33.13	39.66	33.53	29.30	54
Cobre (ppm)	17.00	18.90	18.30	14.700	15
Zinc (ppm)	29.30	44.80	39.10	32.00	52
Fierro (ppm)	172.60	179.70	130.60	139.70	88

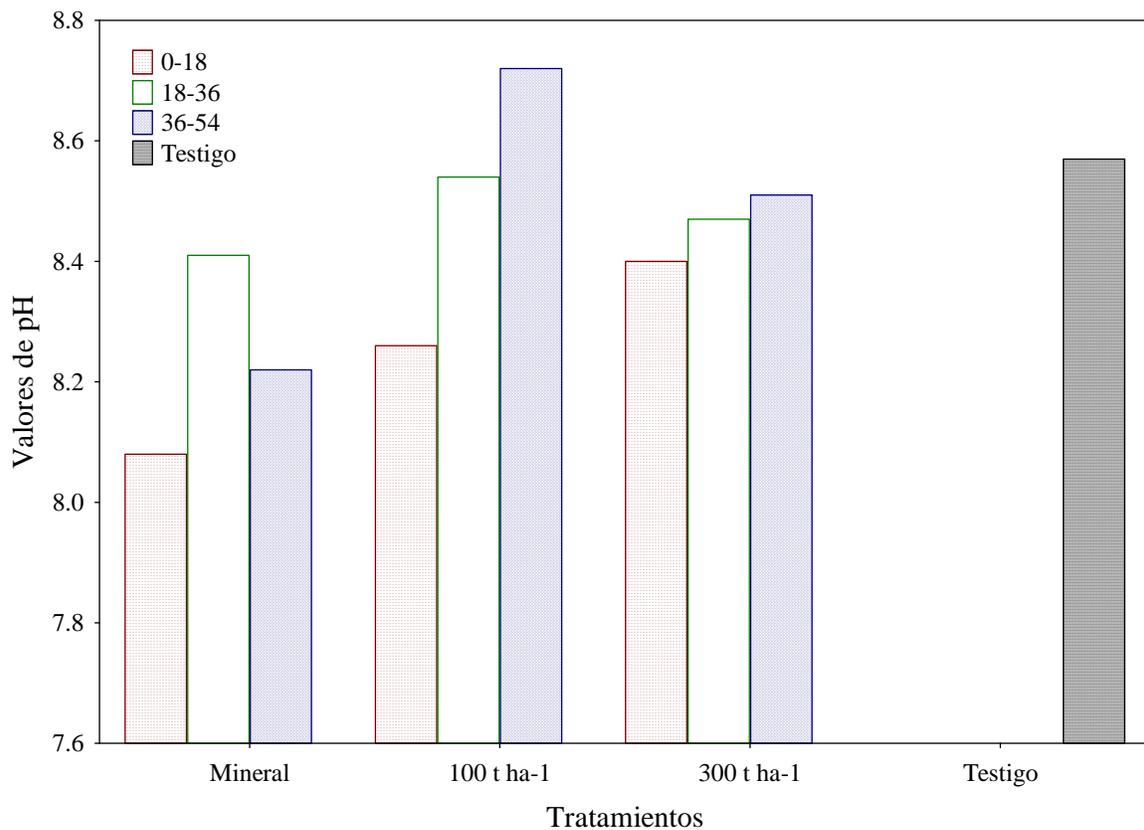


Figura 3. Valores de pH del suelo al final del experimento en cada uno de los tratamientos formados por la aplicación de estiércol y la profundidad de aplicación.

Figure 3. Soil pH values at the end of the experiment with prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

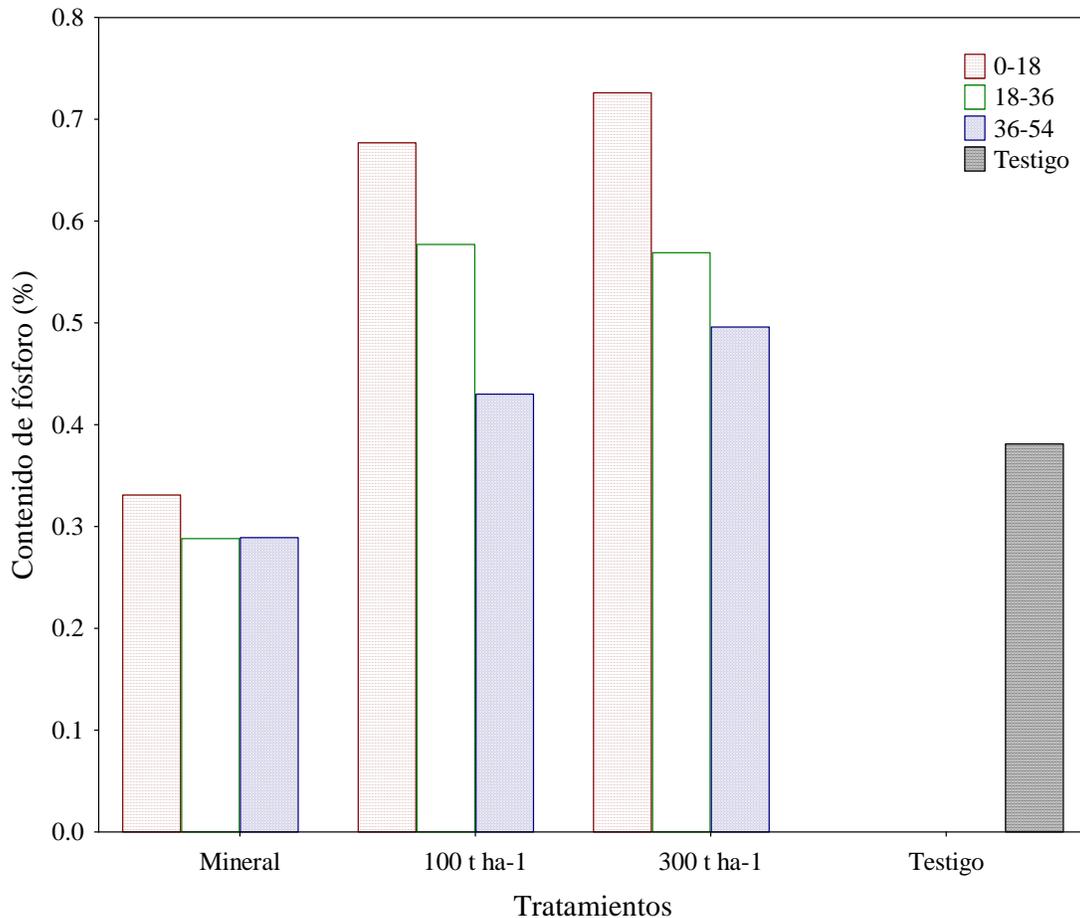


Figura 4. Contenido de fósforo en “nopalitos” de plantas de nopal sometidas a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Figure 4. Phosphorus content in “nopalitos” of prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

### Conclusiones

El patrón de desarrollo radical del cultivo de nopal de acuerdo a su abundancia radical se ubica en un 96 % en la profundidad de 0 a 18 cm y un 3% en el estrato de 18 a 36 cm. Sin embargo, acorde con la longitud de raíces, la mayor actividad se presentó en la capa más profunda. La influencia del desarrollo radical con respecto al rendimiento se presentó inversamente proporcional al término de un año y medio.

El rendimiento de nopalitos, la producción de materia seca y el número de brotes fueron mayores en las plantas sometidas al tratamiento de 100 t ha<sup>-1</sup> de estiércol aplicado en el estrato superior (de 0 a 18 cm). El contenido mineral de los cladodios (“nopalitos”) mostró valores similares entre tratamientos y el testigo; sin embargo, la concentración de fósforo fue mayor en las plantas sometidas a los tratamientos de estiércol en el estrato de 0 a 18 cm. Asimismo, la concentración de microelementos fue mayor en los tratamientos de estiércol, en la parte superior de los contenedores

(de 0 a 18 cm). Se determinó que las aplicaciones de estiércol incrementaron el contenido mineral y de materia orgánica del suelo al final del experimento.

Cuadro 6. Concentración de minerales en el suelo al final del experimento de nopal sometido a diferentes dosis de abono y profundidades de aplicación.

Table 6. Mineral concentration in soil at the end of the experiment with prickly pear cactus under different manure doses and depth application.

Tratamientos	Profundidad (cm)	Nitrógeno NO <sub>3</sub> ppm	Fósforo ppm	Potasio ppm	Materia orgánica (%)
Mineral	00-18	36	22	1077	1.62
	18-36	21	22	855	1.58
	36-54	20	20	1356	1.58
100 t estiércol	00-18	124	40	683	2.52
	18-36	47	40	654	2.71
	36-54	65	36	657	3.32
300 t estiércol	00-18	18	134	1697	4.44
	18-36	114	196	837	7.54
	36-54	45	192	1467	7.80
Testigo	00-18	4	18	336	0.97
	18-36	11	20	249	1.31
	36-54	13	20	230	1.00
Contenido inicial	---	20	16	298	1.61

### Agradecimientos

El presente proyecto se desarrolló con el apoyo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (proyectos ZA3 y 043C) y de la Universidad de Sonora, campus Santa Ana.

### Referencias

Flores, V.C. y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, 2ª Reimpresión México. 91 p.

Glinski, J. and W. Stepniewski. 1985. Soil aeration and its role for plants. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. pp: 137-145.

Gomori, G.A. 1942. Modification of colorimetric phosphorus determination for use with the photoelectric colorimeter. J. Lab. Clin. Med. 27: 955-960.

Hach. 2000. Procedures manual colorimeter DR/890 for total N determination. 608 p. Hach Company, Loveland, Colorado, USA.

Jackson, M.L. 1964. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 4 Ed. 497 p.

- Kolesnikov, V. 1971. The root system of fruit plants. Translated from the Russian by L. Aksenova. Mir Publishers. pp. 53-54, 103.
- Mondragón J.C. y E. Pimienta B. 1990. Fertilización orgánica y química del nopal tunero en zonas semiáridas. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 4° Congreso Nacional y 2° Internacional. Zacatecas, México. p. 28.
- Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguez, A. Villaseñor-Beltrán. 1999. Efectos del estiércol de bovino en cultivares de nopal verdulero (*Opuntia* spp) introducidos a Baja California Sur, México. Memoria. VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y Aprovechamiento del nopal. Aguirre-Rivera, J.R. y Reyes-Agüero, J.A. (Eds.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. pp. 87-88.
- Murillo-Amador, B., A. Flores-Hernández, J.L. García-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, N.Y. Ávila-Serrano, E. Troyo-Diéguez, and F.H. Ruiz-Espinoza. 2005a. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitas). Journal of the Professional Association for Cactus Development 7: 97-109.
- Murillo-Amador, B., J.L. García-Hernández, N.Y. Ávila-Serrano, I. Orona-Castillo, E. Troyo-Diéguez, A. Nieto-Garibay, F.H. Ruiz-Espinoza, and S. Zamora-Salgado. 2005b. A multivariate approach to determine the effect of doses and sources of N, P, and K in *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Journal of the Professional Association for Cactus Development 7: 110-124.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA. 270 p.
- Pimienta, B.E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 246 p.
- Pratt, P.F. 1982. Fertilizer value of manures. La utilización de los estiércoles en la agricultura. Primer ciclo de conferencias. Torreón Coah., México. pp. 79-84.
- SAS. 1990. *SAS/STAT. User's guide. Statistics*. SAS, Institute, Cary, N.C., EEUU. 1028 p.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, California. 282-367.
- Unger, W.P. and T.C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: A review. Agronomy Journal 86: 759-766.
- US EPA. 1979. Methods for chemical analysis of water and wastes. EPA 600/4-79-020, Revised 3/83, Method 350.2 (p. 350.2 1-5).
- Vázquez, A.R. and C. Gallegos V. 1995. Organic fertilization for production of young tender pads of *Opuntia* spp in Nuevo León, Mexico. Proceedings of the Professional Association for Cactus Development. First Annual Conference. San Antonio, Texas. USA. pp. 49-60.
- Zúñiga, T.R. y J.A. Cueto W. 2001. Análisis de crecimiento radical en cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*. AgroFAZ 1: 80-87.

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. FAUANL, Marín, N. L. México. pp. 96-102.