

Supervivencia Y Producción de Nopal para Verdura (*Opuntia ficus-indica*) Utilizando Fracciones Mínimas[♦]

Survival and Sprouts Production of Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Using Minimal Fractions

Jaime Solano¹ y Agustín Orihuela^{2,3}

¹Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 154 de Huitzilac, Morelos
Correo electrónico: jsolano_ver@hotmail.com

²Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Apartado postal 5-78 Cuernavaca Morelos 62240
Correo electrónico: aoarihuela@uaem.mx

³Autor para correspondencia

RESUMEN

Con el propósito de abaratar costos de establecimiento del cultivo de nopal en las zonas rurales, se establecieron cuatro tratamientos en relación con la proporción de penca utilizada como material germinativo: T1=plantación de una penca completa (1/1), T2=media penca (1/2), T3=un cuarto de penca (1/4) y T4=un octavo de penca (1/8). Se evaluó el porcentaje de supervivencia de la planta a los 5 y 8 meses después de la plantación, el cual presentó valores diferentes ($P<0.05$) para T1 y T2 respecto a T3 y T4 (de 100 y 98.6 vs 67.3 y 57.3%, respectivamente). El porcentaje de plantas con un rebrote a los cinco meses presentó diferencias significativas ($P<0.05$) en donde el T1 mostró los valores mayores respecto a los demás tratamientos (42.6 vs 18.6, 24.0 y 5.3% para T1, T2, T3 y T4, respectivamente). Sin embargo, a los ocho meses el T2 presentó los mayores ($P<0.05$) porcentajes de rebrote (42.6%); similares a los del T1 tres meses antes. El porcentaje de plantas con dos o más rebrotes a los 5 y 8 meses presentó valores diferentes ($P<0.05$) de 24 y 91.3 para T1 respecto a los demás tratamientos. El peso de los rebrotes a 5 y 8 meses presentó valores en favor del T1 ($P<0.05$) respecto a los demás tratamientos (39.1 ± 6.4 y 195.8 ± 12.8 g, respectivamente). Se concluye que utilizar medias pencas para el establecimiento de una huerta de nopal no afecta la supervivencia del material plantado, pero retrasa el número y peso de los rebrotes más de tres meses, aunque significa un ahorro del 50% en material vegetativo al momento del establecimiento de la plantación en comparación con el método tradicional.

Palabras clave: Rebrote, Costos de establecimiento, Nopal, Plantación, Reproducción vegetativa.

ABSTRACT

To reduce the cost of establishment of new plantations of *Opuntia ficus-indica* in marginal rural zones in Mexico, four treatments were established according to the proportion of the cladode used as germinal material: T1=plantation of a whole cladode (1/1), T2=half cladode (1/2), T3=a quarter cladode (1/4), and T4=an eighth cladode (1/8). Survival rate was estimated at five and eight months after plantation, which

[♦] Received 13 November 2007; Accepted 17 May 2008

presented different ($P < 0.05$) values for T1 and T2 with respect to T3 and T4 (100% and 98.6% vs 67.3% and 57.3%, respectively). The percentage of plants with one sprout five months after plantation was greater ($P < 0.05$) in T1 with respect to the other treatments (42.6% vs 18.6%, 24.0% and 5.3% for T1, T2, T3, and T4, respectively). Nevertheless, at eight months of age, T2 showed higher ($P < 0.05$) incidence of sprouts (42.6%), with similar values of those observed in T1 three months before. The percentage of plants with two or more sprouts at five and eight months after plantation was different ($P < 0.05$) 24% and 91.3%, respectively, for T1 with respect to all other treatments. The weight of the sprouts at five and eight months favored T1 ($P < 0.05$) in comparison with all other treatments (39.1 ± 6.4 g and 195.8 ± 12.8 g, respectively). It is concluded that the use of half cladodes in the establishment of this cultivation does not affect the survival rate of the material planted. Although production (in number and weight of sprouts) is delayed more than three months, using half cladodes represents 50% saving in vegetative material at the time of plantation in comparison with the traditional method.

Key words: sprouts, establishment costs, prickly pear, plantation, vegetative reproduction.

INTRODUCCIÓN

En las áreas subtropicales de Meso-américa el nopal es una de las plantas cultivadas más antiguas e importantes desde la época pre-hispánica (Reynold y Arias, 2003, Ríos y Quintana, 2004).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) produce cladodios fuertes y vigorosos en climas secos y semi-secos, en donde pocos cultivos pueden sobrevivir (Guevara et al., 1999). Además, bajo condiciones de laboratorio, el nopal puede propagarse por fracciones mínimas utilizando pequeñas partes de la planta hasta con una sola aréola (Barrientos, 1983). Estos atributos permitirían abaratar los costos de establecimiento si los resultados bajo condiciones controladas pudiesen reproducirse en campo por los agricultores de zonas marginales subtropicales de México que no tienen otras opciones de cultivos.

La introducción del nopal *O. ficus-indica* en terrenos de lomerío en áreas marginales puede además disminuir los problemas de erosión (Le Houérou, 1996) por no requerir el suelo las labores de manejo de un cultivo anual y coadyuvar a la utilización de suelos pobres y/o con elevado porcentaje de piedras y baja fertilidad (Solano y Orihuela, 1996; Anderson, 2000; Veldkamp y Lambin, 2001).

Con base en lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar la supervivencia y producción en la plantación directa de pencas completas, mitades, cuartos y octavos de nopal, así como el costo de establecimiento, buscando la opción más económica para zonas marginales subtropicales.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el campo experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 199 de Miacatlán Morelos, México ($18^{\circ} 46' 07''$ N, $99^{\circ} 20' 24''$ O) a 1100 m sobre el nivel del mar, en suelos franco arcillosos, poco profundos (0-20 cm), de relieve accidentado y con un 50 % de piedra. El origen del suelo es calcáreo y ligeramente ácido ($\text{pH} = 6.4$) clasificado como Feozem háplico (INEGI, 2004). La precipitación pluvial media anual es 500 mm, presentándose el 90% entre junio a septiembre. La temperatura promedio anual fluctúa entre 22 y 26°C, siendo superior en 18° C el mes más frío, por lo que corresponde a un clima Awo (W) (I') gw' (García, 1973).

Material vegetativo

El material vegetativo empleado para la investigación fue de la variedad COPENA VI que se obtuvo de un huerto de seis años de establecido en el campo experimental del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 199 de Miaatlán, Morelos. La cual se caracteriza por carecer de espinas, de color verde intenso, succulenta, buen sabor, poca acidez, arborescente de tres a cinco metros y con cladodios de entre 30 – 60 cm (Ríos y Quintana, 2004).

Los cladodios fueron seleccionados lo más homogéneo en tamaño (32 ± 3 cm) de 4 años de edad y se trataron con caldo Bordelés (1.0 kg de CuSO_4 y 1.0 kg de cal en 5 L de agua) al momento de su cosecha para evitar alguna pudrición causada por hongos o bacterias.

Conducción del experimento

Las pencas se distribuyeron al azar en cuatro tratamientos en relación con la proporción de penca utilizada como material germinativo: T1= plantación de una penca completa (1/1), T2= media penca (1/2), T3= un cuarto de penca (1/4) y T4= un octavo de penca (1/8), bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones (hileras), con 50 pencas ó fracciones por hilera.

Los cortes de las pencas se realizaron con navaja, primero en forma transversal para obtener las mitades, luego éstas se cortaron longitudinalmente con el fin de obtener los cuartos y, finalmente un último corte simétrico a partir del vértice para obtener los octavos. Realizados los cortes, el material resultante se trató con te con caldo Bordelés y se colocó sobre piso de cemento (en una sola capa) a la sombra de una loza de concreto situada a tres metros de altura por 15 días volteándose diariamente sobre sus caras para acelerar la cicatrización.

La preparación del terreno incluyó roza, tumba y quema. La cama de siembra se preparó con azadón en una superficie de 1400 m^2 (14 X 100), con homogeneidad en tipo de suelo, pendiente y fertilidad, correspondiendo 350 m^2 (3.5 X 100 m) a cada tratamiento.

La distancia entre hileras fue de 1.0 m con una separación del bordo de 1.0 m por lado con la finalidad de eliminar su efecto, por lo que cada tratamiento constaba de tres hileras. Cada penca o fracción se plantó a una distancia de 2 m una de otra dentro de la hilera. Durante la plantación, el material cicatrizado se enterró $\frac{3}{4}$ partes de su tamaño, con el borde intacto hacia arriba, con orientación este-oeste para maximizar la absorción de fotones fotosintéticos e incrementar la asimilación de CO_2 (Becerra *et al.*, 1976; Nobel, 1995).

La fertilización se realizó aplicando 2 kg de estiércol seco de bovino en cada cepa, cuyas dimensiones de ancho y profundidad eran de 20 X 30 cm. No se aplicaron fertilizantes inorgánicos pese a sus ventajas de aportar Ca a la planta (Galizzi *et al.*, 2004) para no incrementar los costos de producción del sistema tradicional de los agricultores de la región, quienes suministraron el abono de sus propios animales.

La plantación se realizó iniciada la temporada seca de la región de estudio (26 de noviembre), con el propósito de evitar la pudrición del material vegetativo, que ocurre cuando se realiza próximo a la temporada de lluvias en la zona (Solano y Orihuela, 1996). La plantación se regó al primero, segundo y tercer mes después del establecimiento y se realizó un deshierbe manual cada dos meses. El riego se aplicó mediante agua rodada, hasta alcanzar la capacidad de campo cada 30 días hasta el inicio de la temporada de lluvias. Respecto a plagas y enfermedades, no se presentaron problemas de ningún tipo durante la fase experimental. Esto favorecido a que no es un cultivo común en la región, como sucede en el norte de México (Rodríguez *et al.*, 2007). Aunado a lo anterior, la falta de aplicación de insecticidas y fungicidas, permite además obtener un producto orgánico (Dvoskin y Heady, 1976; Spedding *et al.*, 1983; Singh, 2000).

Variables evaluadas

Las variables que se evaluaron fueron: supervivencia de las plantas (%), plantas que presentaron uno, dos o más rebrotes (%) y peso (fresco) de los mismos. La unidad experimental fue considerada una de las tres hileras dentro de cada tratamiento, por lo que los datos se obtuvieron del total de las pencas o fracciones plantadas por hilera.

A los cinco meses de la plantación se realizó la primera medición de variables (durante la temporada seca), y tres meses después, la segunda medición (en temporada de lluvias).

Para analizar los datos de las variables supervivencia y número de rebrotes se utilizó la prueba de X^2 (Siegel y Castellan, 1988). Se realizó un análisis de varianza para el peso de los rebrotes y la prueba de comparación de medias basado en Tukey a una $P=0.05$ (Gill, 1978), calculada dentro de cada hilera (unidad experimental).

Costos de establecimiento

En este rubro se consideró el costo de la penca más el flete de un vehículo de tres toneladas en un recorrido de 100 km aproximadamente desde Tlalnepantla, que es la zona productora de nopal más importante en el Estado de Morelos, hasta Miacatlán. Así como el costo de la plantación de una hectárea considerando una distancia entre pencas o fracciones de 2 m y entre hileras de 1 m.

RESULTADOS

Producción del cultivar

La primera evaluación se realizó a los cinco meses de establecido el experimento (Abril), de acuerdo a la respuesta obtenida de las pencas enteras plantadas. La supervivencia de las plantas fue similar entre T1 y T2, mientras que la supervivencia de las fracciones de los tratamientos T3 y T4 presentaron valores inferiores ($P < 0.05$) respecto a T1 y T2 (Cuadro 1).

El porcentaje de plantas con uno o dos rebrotes fue mayor ($P < 0.05$) en T1, siendo los rebrotes de T1 los que además presentaron mayor peso fresco ($P < 0.05$) en comparación con los demás tratamientos.

La segunda evaluación se realizó tres meses después de la primera (Julio), ya establecido el temporal. La tasa de supervivencia de las plantas originadas por pencas completas o medias pencas fue mayor ($P < 0.05$). Mientras que la supervivencia de las fracciones de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{8}$ disminuyó aún más en comparación con lo obtenido en la primera evaluación.

Cuadro 1. Supervivencia de plantas y producción de rebrotes de Nopal verdura después de su plantación utilizando fracciones mínimas

	Tratamientos (penca o fracción)			
	Penca completa	Medias pencas	Cuartos de penca	Octavos de penca
Evaluación a los cinco meses de la plantación				
Supervivencia de las plantas (%)	100 a	98.6 a	67.3 b	57.3 b
Plantas con un rebrote (%)	42.6 a	18.6 b	24.0 b	5.3 c
Plantas con dos o más rebrotes (%)	24.0 a	2.6 b, c	1.3 b, d	0 d
Peso promedio de los rebrotes (g)	39.1 ±6.4 a	24.0 ±2.1b	20.34 ±1.6 c	9.29 ±1.3 d
Evaluación a los ocho meses de la plantación				
Supervivencia de las plantas (%)	98.6 a	79.3 a	10.0 c	26.6 b
Plantas con un rebrote (%)	7.3 c	42.6 a	8.6 c	26.0 b
Plantas con dos o más rebrotes (%)	91.3 a	36.6 b	1.3 c	0.6 c
Peso promedio de los rebrotes (g)	195.8 ±12.8 a	101.0 ±8.4 b	49.56 ±7.7 c	36.61 ±5.2 d
* Valores seguidos con distinta literal en la misma fila, son diferentes estadísticamente (P < 0.05).				

Table 1. Plants survival and sprouts production of prickly pear after plantation using minimal fractions

	Treatments (proportion of the cladode)			
	Whole Cladode	Half Cladode	Quarter Cladode	Eighth Cladode
Evaluation alter five months of plantation				
Survival rate (%)	100 a	98.6 a	67.3 b	57.3 b
Percentage of plants with one sprout	42.6 a	18.6 b	24.0 b	5.3 c
Percentage of plants with two or more sprouts	24.0 a	2.6 b, c	1.3 b, d	0 d
Average weight of the sprouts (g)	39.1 ±6.4 a	24.0 ±2.1b	20.34 ±1.6 c	9.29 ±1.3 d
Evaluation alter eight months of plantation				
Survival rate (%)	98.6 a	79.3 a	10.0 c	26.6 b
Percentage of plants with one sprout	7.3 c	42.6 a	8.6 c	26.0 b
Percentage of plants with two or more sprouts	91.3 a	36.6 b	1.3 c	0.6 c
Average weight of the sprouts (g)	195.8 ±12.8 a	101.0 ±8.4 b	49.56 ±7.7 c	36.61 ±5.2 d
* Values within rows bearing different letters differ (P < 0.05).				

En esta segunda evaluación, el mayor (P < 0.05) porcentaje de plantas con un rebrote se encontró en T2, seguido de T4, mientras que los menores correspondieron a los tratamientos T1 y T3. Sin embargo, el tratamiento T1 presentó el mayor (P < 0.05) porcentaje de individuos con dos rebrotes, seguido por los tratamientos T2, T3 y T4.

Los rebrotes con mayor peso fresco (P < 0.05) se encontraron en el tratamiento T1, seguido de los brotes obtenidos mediante la reproducción de ½ penca (T2), mientras que los pesos frescos menores fueron producto de plantar 1/8 de penca.

La totalidad de las plantas sobrevivieron y un 99% continuaba produciendo durante la segunda evaluación.

Costos de establecimiento

Un vehículo de tres toneladas transporta 2400 pencas de 1.2 kg de peso promedio con 35 a 40 cm de longitud. El costo de un recorrido de 100 km es de US \$ 227.30. Con base en lo anterior, se consideró un costo por penca puesta en el sitio de plantación de US \$ 0.54, que incluye el precio de la penca (US \$ 0.44) más su transporte (US \$ 0.095).

Para plantar una hectárea considerando una distancia de 2 m entre pencas o fracciones y 1 m entre hileras, se requieren aproximadamente 5,000 cladodios, lo que representa un costo aproximado de US \$ 2,700.00. En este sistema de producción tradicional no se incluyen otros gastos de inversión.

Respecto a la mano de obra, se considera la participación del agricultor y su familia realizando todas las actividades (preparación del suelo, plantación, deshierbes, entre otras), que aunque tienen un costo, este no se cuantificó en el presente trabajo.

Considerando los resultados obtenidos, el establecimiento de una hectárea de nopal puede lograrse a través del uso de medias pencas, con un ahorro del 50%, lo que equivale a US \$1,350.00, sin mermar la producción esperada.

DISCUSIÓN

El que se obtengan valores similares de supervivencia al plantar pencas enteras y medias pencas, implica que utilizando medias pencas puede plantarse el doble de superficie. Sin embargo, los resultados del presente experimento señalan también que la producción de dos o más rebrotes cinco meses después de la plantación es menor al fraccionar el cladodio. No obstante, el número plantas con rebrotes es similar tres meses después, lo que podría considerarse como un retraso en la producción de rebrotes, aunque con pesos menores.

La utilización de fracciones de $\frac{1}{4}$ o de $\frac{1}{8}$ en plantación directa no se recomienda, debido a que la supervivencia es muy limitada, a pesar de contar con un promedio de 68 y 34 aréolas, respectivamente, de acuerdo con resultados en estudios morfológicos realizados en *Opuntia* (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). En condiciones experimentales, fracciones mínimas con una sola aréola no son capaces de enraizar, por lo que se deshidratan y en aquellas que sobreviven la producción es mínima (Barrientos y Brauer, 1964).

La plantación por semilla no es práctica, ya que sólo se realiza para estudios de purificación y reconocimiento genómico de cultivares de *Opuntia* (Luna *et al.*, 2007).

Otras técnicas utilizadas para la reproducción vegetativa del nopal como son los injertos y cultivo de tejidos (Estrada-Luna *et al.*, 1994), suelen requerir infraestructura y equipo costoso, que no es accesible para una agricultura tradicional en áreas marginales (Potter *et al.*, 1982; Granados y Castañeda, 1991; Olvera *et al.*, 2003).

La utilización de cladodios de cuatro años de edad favorece el éxito del establecimiento, debido a que fisiológicamente las pencas maduras tienen mayor cantidad de aréolas activas para emitir un rebrote, y nutrientes que son utilizados para el desarrollo radicular y el crecimiento de los rebrotes (Singh y Singh, 2003).

El establecimiento del huerto al inicio de la época de secas (noviembre) sugerido por Solano y Orihuela (1996) pudo ser un factor que permitió que las plantas estuvieran completamente enraizadas y pudieran emitir rebrotes con mayor peso a los ocho meses en la temporada de lluvias (julio), lo cual también pudo ser ocasionado por los nutrientes disponibles del estiércol de bovino hasta ese momento para la planta, y

que aportan una cantidad aproximada de 51 k de N, 24 k de P y 118 k de K/ha (Flores *et al.*, 2005). En cambio a los cinco meses, los tratamientos establecidos durante la temporada de secas (abril) obtuvieron un peso menor, influenciados quizá por la temperatura que representa durante el invierno, la cual afecta negativamente su desarrollo (Snyman, 2007).

Los resultados indican la posibilidad de producir nopalito para verdura entre 5 y 8 meses de realizada la plantación, ofreciendo así la posibilidad de convertir suelos de baja calidad (Oppermann, 2003; Pretty *et al.*, 2003) y con precipitaciones menores a los 500 mm a la producción agrícola. Características en que vive 7 % de la población mundial (Nieuwolt, 1982; Wallace, 2000).

La plantación de medias pencas de nopal promueve una mayor producción al duplicar la disponibilidad de material vegetativo para la plantación, reduciendo así los costos de inversión.

El costo de la mano de obra y el estiércol utilizado para la fertilización no se consideran, ya que en estas condiciones rurales, el productor y su familia por lo general realizan todas las labores de campo y es común que tengan entre 1 a 10 bovinos (Cebú x Holstein) para abastecerse de leche y carne, por lo que el estiércol no representa ningún problema, y sí en cambio favorece el desarrollo de la planta aún en condiciones climáticas adversas (Le Houérou, 1996).

El plantar medias pencas con el objeto de establecer una huerta de nopal para verdura que no tiene prácticamente espinas como la COPENA VI puede ser considerado una opción viable para los agricultores de zonas marginales subtropicales, ya que les permite producir rebrotes para autoconsumo principalmente como una fuente de fibra (Sáenz, 1997) o para forraje (Flores, 1997) de sus animales, cubriendo la mitad de los requerimientos de proteína (Fuentes, 1997) para las funciones de mantenimiento de los rumiantes (García *et al.*, 1987), logrando de esta manera un uso más eficiente del cultivo.

CONCLUSIONES

La tasa de supervivencia de la plantación directa de medias pencas es similar a la obtenida plantando pencas completas, aunque la producción de rebrotes se retarda. Sin embargo, esta técnica permite un ahorro en el costo del material para plantar y en el transporte del mismo, lo que le convierte en una alternativa para el establecimiento de este cultivo en regiones marginales subtropicales, sobre todo bajo situaciones de precio de cladodios alto, disponibilidad limitada o en áreas poco accesibles como son los terrenos de lomerío.

LITERATURA CITADA

Anderson, J.R. 2000. Response and risk in rural ecosystems: from models and plots to defined universes. *Agriculture Ecosystems and Environment* 82: 261-271.

Barrientos, P.F. 1983. "Nopal y agaves como recursos de las zonas áridas de México". Recursos agrícolas de las zonas áridas de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, estado de México 133-143.

Barrientos, P.F., O. Brauer. 1964. Multiplicación vegetativa del nopal a partir de fracciones mínimas. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México 4 p.

Becerra, R.S., P.F. Barrientos, M.D. Díaz. 1976. Eficiencia fotosintética del nopal (*Opuntia spp*) en relación con la orientación de sus cladodios. *Agrociencia* 24: 67-77.

- Dvoskin, D., E.O. Heady. 1976. Farming practices, environmental quality, and the energy crisis. *Agriculture and Environment* 3: 1-13.
- Estrada-Luna, A.A., A.M. Torres, H.J.J. Martinez. 1994. Micropropagación de nopal. En: Esparza, F.G., G.S.J. Mendez (editores). *Memorias sobre aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas*. CECCAM. Morelos, Zacatecas. 60-65.
- Flores, V.C.A. 1997. Opuntia-based ruminant feeding systems in Mexico. *Journal Professional Association for Cactus Development* 2: 3-8.
- Flores, H.A., C.R. Trejo, A.G. Arreola, C.I. Orona, A.B. Murillo, G.M. Rivera, R.G. Martínez, G.E.A. García. 2005. Producción estacional de nopal verdure (*Opuntia* spp) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. *Journal Professional Association for Cactus Development* 7: 84-96.
- Fuentes, R.J. 1997. A comparison of the nutritional value of *Opuntia* and *Agave* plants for ruminants. *Journal Professional Association for Cactus Development* 2: 20-24.
- Galizzi, F.A., P. Felker, C. González, D. Gardiner. 2004. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Arid Environment* 59: 115-132.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 41 p.
- García, M., M. Aguiar, J.M. Materán. 1987. Requerimientos de proteína para mantenimiento en caprinos. *Zootecnia Tropical* 5: 113-127.
- Guevara, J.C., O.R. Estevez, C.R., Starsi, 1999. Economic feasibility of cactus plantations for forage and fodder production in the Mendoza plains (Argentina). *Journal of Arid Environments* 43: 241-249.
- Gill, J.L. 1978. *Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences*. The Iowa State University Press, Ames Iowa. USA. 409 p.
- Granados, S.D., D.A. Castañeda. 1991. *El Nopal, Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola*. Editorial Trillas, México, D. F., 225 p.
- INEGI, 2004. *Anuario estadístico Morelos. Carta edafológica*. 552 p.
- Le Houérou, H.N. 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Arid Environment* 33: 135-159.
- Luna, P.A., M.E. Valadez, P.A.F. Barrientos, V.C. Gallegos. 2007. Caracterización de *Opuntia* spp. mediante semilla con marcadores RAPD e ISSR y su posible uso para diferenciación. *Journal Professional Association for Cactus Development* 9: 43-59.
- Nieuwolt, S. 1982. Tropical rainfall variability-The agroclimatic impact. *Agriculture and Environment* 7: 135-148.
- Nobel, P.S. 1995. Environmental biology. In: Barbera, G., P. Inglese, E. Pimienta-Barrios, E.J. Arias-Jiménez (eds). *Plant production and protection paper. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO. Rome, Italy. 36-57.

- Olvera, Y.C., J.G. Márquez, V. L. Barradas, M.E.C. Sánchez, A.S. Orozco. 2003. Germination of the hard seed coated *Opuntia tomentosa* S. D., a cacti from the Mexico valley. *Arid Environment* 55: 29-42.
- Oppermann, R. 2003. Nature balance scheme for farms-evaluation of the ecological situation. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98: 463-475.
- Potter, R.L., J.L. Peterson, D.N. Veckert. 1982. Germination responses of Prickly pear. *Bush Management and Range Improvement Research* 1: 205.
- Pretty, J.N., J.I.L. Morison, R.E. Hime. 2003. Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture Ecosystems and Environment* 95: 217-234.
- Reyes-Agüero, J.A., R.R. Aguirre, F.J.L. Flores. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactácea) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia* 30: 476-484.
- Reynold, S.G.S., J.E. Arias. 2003. Introducción. El nopal como forraje. Departamento de Agricultura FAO. 183 p.
- Ríos, R.J, M.V. Quintana. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Manual del participante, Secretaría de la Reforma Agraria y Colegio de Postgraduados 1-81.
- Rodríguez, F.A., O.M.A. Villegas, H.J. Fortiz. 2007. Efecto de cubiertas en la calidad del nopal verdura (*Opuntia* sp) durante el almacenamiento refrigerado. *Journal Professional Association for Cactus Development* 9: 22-41.
- Sáenz, H.C. 1997. Cladodes: a source of dietary fiber. *Journal Professional Association for Cactus Development* 2: 117-123.
- Singh, R.S. 2000. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture Ecosystems and Environment* 82: 97-103.
- Singh, R.S., V. Singh. 2003. Growth and development influenced by size, age, and planting methods of cladodes in Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *Journal Professional Association for Cactus Development* 5: 47-54.
- Snyman, H.A. 2007. Frost sensitivity of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* in a semiarid climate of South Africa. *Journal Professional Association for Cactus Development* 9: 1-21.
- Solano, J.J., A. Orihuela. 1996. Densidad de población y fecha de siembra en la producción de nopal (*Opuntia ficus indica*). *Agrociencia* 30:163-164.
- Spedding, C.R.W., A.M.M. Thompson, M.R. Jones. 1983. Energy and economics of intensive animal production. *Agro-Ecosystems* 8: 169-181.
- Siegel, S., N. Castellan. 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*. 2nd Ed. McGraw Hill, USA. pp,102-124.
- Veldkamp, A., E.F. Lambin. 2001. Predicting land-use change. *Agriculture Ecosystems and Environment* 85: 1-6.

Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture Ecosystems and Environment* 82: 105-119.