

Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia spp.*) bajo riego por goteo en una región agrícola de México[♦]

Seasonal Prickly Pear Production Under Drip Irrigation in an Agricultural Region of Mexico

Arnoldo Flores-Hernández¹, Ricardo Trejo-Calzada¹, Jesús G. Arreola-Avila¹, Ignacio Orona-Castillo²; Bernardo Murillo-Amador^{3*}, Miguel Rivera-González², J. Guillermo Martínez-Rodríguez², Elías A. García-Gallegos¹

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera. Apartado Postal No. 41, CP 35150. Gómez Palacio, Durango, México.

³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo No. 195 Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur, México, 23090. Tel. +52-612-123-84-84 Ext. 3440. Fax. +52-612-123-85-25.

*Autor para correspondencia. E-mail: bmurillo04@cibnor.mx

RESUMEN

En la última década, el cultivo del nopal (*Opuntia spp.*) ha tenido gran importancia debido a sus múltiples atributos, destacando por su mayor demanda alimenticia y su eficiencia en el uso de agua. En el campo experimental del CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México, se evaluó la producción estacional de cuatro cultivares de nopal, bajo el sistema de riego por goteo superficial en tres diferentes niveles de humedad, 30, 45 y 60% de la evaporación mensual acumulada, en el periodo de mayo a noviembre en los años 2000 y 2001. La producción media de nopalito en el año 2001 fue de 3,807 g m⁻², significativamente mayor que en el año 2000 con 2,187 g m⁻², influyendo en ello la edad de la planta. Se detectó una diferencia altamente significativa en la producción mensual, destacando en ambos años los meses más calurosos, julio (124 t ha⁻¹) y agosto (122 t ha⁻¹). El mejor nivel de humedad fue 45% (100 mm promedio mensual) para los dos años con una media de 3,140 g m⁻², mientras que el nivel con mayor gasto de agua fue del 60% con 2,800 g m⁻² promedio. En rendimiento por cultivar sobresale el cv.69 (*Opuntia ficus-indica*) en ambos años, mostrando una producción media de nopalito de 3,630 g m⁻², cultivar que se sugiere para la Región Lagunera.

Palabras clave: nopalito, sistema de riego, rendimiento, evaporación.

[♦] Received 15 July 2005

SUMMARY

In the last decade, the prickly pear (*Opuntia* spp) crop has acquired great importance because of its multiple attributes, emphasizing its greater alimentary demand and its water-use efficiency. In the experimental field of the CENID-RASPA in Gómez Palacio, Durango, Mexico, the seasonal production of four cultivars of prickly pear was evaluated under a drip irrigation system in three different levels of humidity (30, 45 and 60% of the monthly accumulated evaporation) during May to November in years 2000 and 2001. The average production of “nopalitos” in the year 2001 was 3,807 g m⁻², significantly greater than in the year 2000 with 2,187 g m⁻², with high effect of the age of the plant. A highly significant difference in the monthly production was detected, emphasizing in both years the warmest months, July (124 t ha⁻¹) and August (122 t ha⁻¹). The best level of humidity was 45% (100 mm in average monthly) for both years with an average production of 3,140 g m⁻², while the level with more water output was 60% with an average production of 2,800 g m⁻². In yield by cultivar, the cv. 69 (*Opuntia ficus-indica*) was superior to the other cultivars in both years, showing an average production of “nopalitos” of 3,630 g m⁻². Therefore, cv. 69 is recommended for vegetable production in the Comarca Lagunera of México.

Key words: Prickly pear bud, irrigation system, production, evaporation.

INTRODUCCION

La Región Lagunera se ubica en una zona con características climáticas con altos índices de aridez, con un promedio de precipitación pluvial anual que va de los 200 a 300 mm, concentrada en los meses de junio a septiembre. Esta precipitación contrasta con la evaporación media anual de 2,400 mm que resulta casi 11 veces mayor que la precipitación, además, por tratarse de una cuenca cerrada, concibe que el agua en la región sea un recurso muy significativo y constituya una seria limitante en los procesos de producción agropecuaria (Ríos, 1997).

El problema recurrente de sequía en la Región Lagunera, ha traído como consecuencia la compactación del área agrícola para la utilización eficiente del agua en los módulos más cercanos a la fuente de abastecimiento (Presa Lázaro Cárdenas). En tanto que el riego con la extracción de agua subterránea, se ha caracterizado por la sobreexplotación del manto acuífero para satisfacer las demandas de agua agrícola y mantener la producción regional (Jiménez, 2001). Por lo tanto, las políticas agropecuarias tienden a racionalizar y buscar un uso más eficiente del agua mediante la implementación de medidas en su conducción y en las prácticas de manejo agrícolas, así como en la utilización de cultivos eficientes en el consumo de agua.

De acuerdo a la problemática regional, en la Comarca Lagunera se han implementado diferentes sistemas de riego y en los estudios realizados con riego por cintilla en el cultivo de sandía (Mendoza *et al.*, 2000), chile jalapeño, pimiento morrón, tomate, cebolla, ajo, brócoli, coliflor y melón (Berzoza y Chavez, 2000) e incluso alfalfa (Rivera *et al.*, 2001), destacan los notables resultados en relación con el sistema de riego tradicional y en particular, dicha diferencia se observa claramente en algodón, que fue de los cultivos más utilizados en la región (Mendoza *et al.*, 1998).

En cuanto a los cultivos eficientes en el consumo de agua se presenta la producción intensiva de nopal verdura como una prometedora opción de desarrollo en la Comarca Lagunera, ya que en diferentes regiones del país aun cuando no presenta gran superficie si destaca por su volumen de producción. Así por ejemplo, en 1999 alcanzó el lugar número 11 en volumen de producción y el número 12 en cuanto al valor de la producción, considerándose dentro del grupo de las principales hortalizas (SAGAR-CEA, 1999). Otro de los indicadores que permiten determinar la importancia del nopalito como producto de alto potencial en la región son las estadísticas de producción y consumo nacional, las que han tenido un

incremento notorio de $1.4 \text{ kg}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ habitante}^{-1}$ en 1984 hasta $3.27 \text{ kg}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ habitante}^{-1}$ en 1999, con una notable tendencia a la alza (SAGAR-CEA, 1999).

El uso de nopal verdura en la región se presenta entonces como una opción que cubre dos propósitos básicos: 1) la vocación eminentemente ganadera hacia la producción de leche bovina y caprina, posibilita el uso de brote de nopal, como complemento alimenticio del ganado. Además de que el nopal tradicionalmente se ha señalado como un importante recurso forrajero para las zonas áridas (Murillo *et al.*, 2002; Flores y Aguirre, 1992). 2) debido a la cercanía con la frontera norte del país las posibilidades de exportación, resulta un incentivo importante para el productor dedicado a esta labor.

No obstante, a pesar del creciente interés por el cultivo del nopal verdura, existe una serie de problemas que giran alrededor del conocimiento en aspectos básicos de la producción de nopalito durante el año, selección de cultivares y la fluctuación en su mercado. Aspectos que se relacionan con la carencia de organización de productores, formas de comercialización y falta de normas de calidad del producto entre otras.

El objetivo del presente trabajo fue identificar los rangos mensuales de producción de brote o nopalito de cuatro cultivares durante los años 2000 y 2001, en tres niveles de humedad del riego por goteo.

MATERIALES Y METODOS

Cultivares evaluados

La evaluación de la producción de nopalito se realizó en cuatro cultivares con las claves C-40, C-60 y C-8 del género y especie *Opuntia megacantha* (Bravo, 1978) y el cultivar C-69 (*Opuntia ficus-indica*) (Bravo, 1978), que trascendieron por su mayor capacidad de adaptación bajo condiciones de temporal. Estos materiales forman parte de la colección de los mejores 20 de 55 cultivares evaluados en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA-UACH) en Bermejillo, Durango, durante el período 1989–1992 (Flores, 1994). Estos materiales se colectaron en los estados de México, San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas y Coahuila, regiones productoras de nopal por excelencia.

Diseño experimental

El experimento se realizó utilizando los cuatro cultivares y tres niveles de humedad, bajo la modalidad de riego por goteo utilizando cintilla colocada superficialmente. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas grandes estuvieron representadas por los niveles de humedad y las parcelas chicas por los cultivares de nopal. El establecimiento de la plantación se efectuó a principios de abril de 2000 y la evaluaciones de la producción de brote (nopalito) se realizaron en el periodo comprendido de mayo a noviembre de 2000 y de mayo a noviembre de 2001. El esquema de distribución de cultivares y los tratamientos de humedad a los que se sometieron los cultivares (Fig. 1), se definieron basados en la tasa de evaporación diaria tomada de un tanque evaporímetro tipo “A”, aplicando láminas de riego semanales del 30, 45 y 60% de la evaporación acumulada. Cabe señalar que el nivel más bajo de humedad (30%) se definió a partir del agua aplicada a la plantación madre (colecciones de genotipos de nopal) de los cultivares a evaluar, localizado en terrenos de la URUZA-UACH, Bermejillo, Durango.

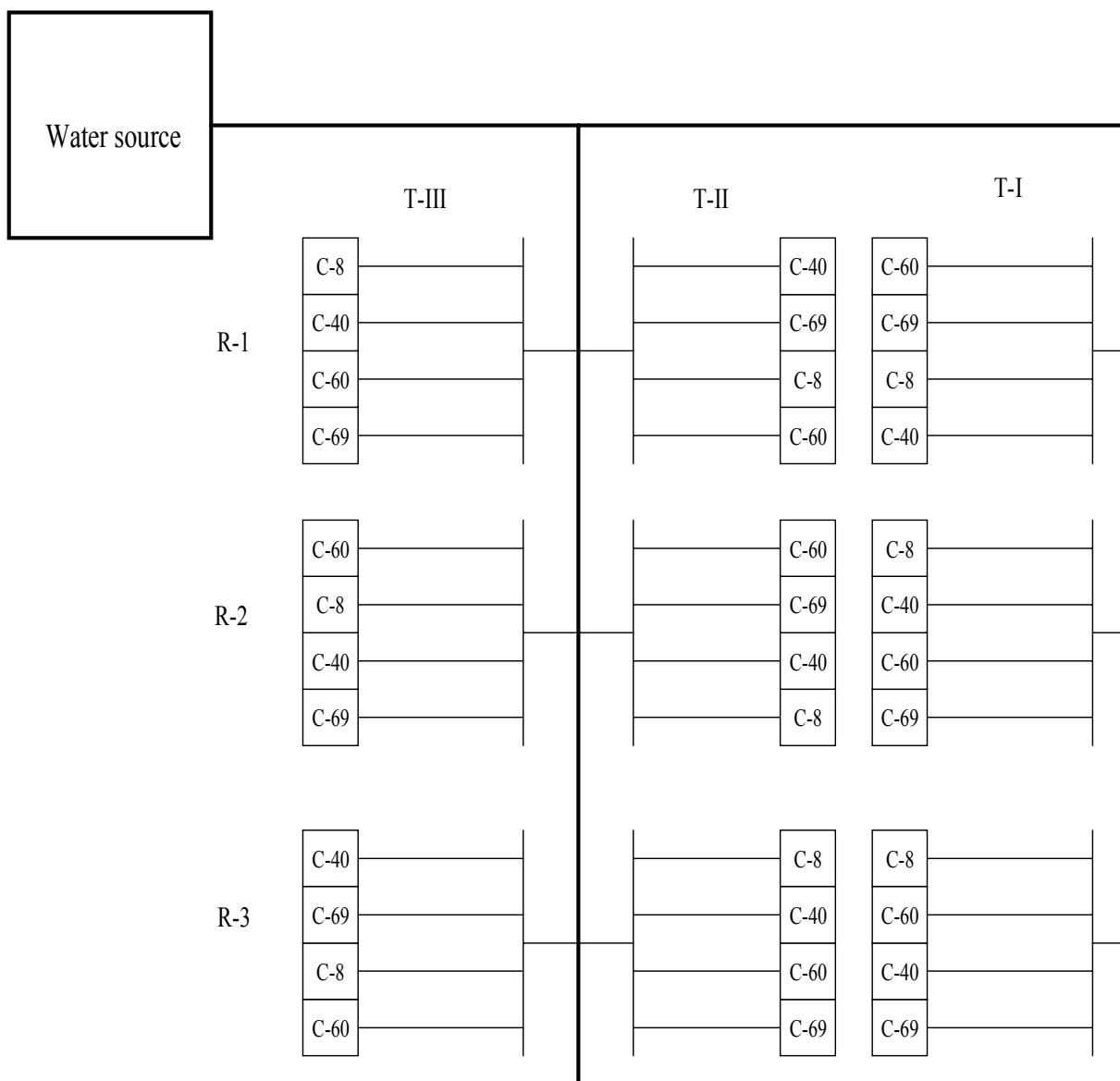


Figura 1. Distribución de cultivares de nopal verde y tratamientos de humedad bajo riego por goteo con cintilla superficial (T1=30%, T2=45% y T3=60%)

Preparación y análisis de suelo

La preparación del suelo (tipo arcillo-limo-arenoso) consistió de un barbecho y un rastreo, mismos que fueron la base para preparar su fertilización orgánica a partir de estiércol bovino a razón de 5.7 kg m^{-2} (57 t ha^{-1}) que se incorporó al suelo mediante otro rastreo que se hizo perpendicular al primero. El estiércol fue analizado previamente para determinar su composición química, efectuando dicho análisis en el laboratorio del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID-RASPA), en Gómez Palacio, Durango.

Plantación

Las pencas madre o cladodios, se cortaron en el mes de marzo y se les aplicó un tratamiento preventivo con caldo bordelés. Posteriormente se colocaron bajo sombra durante 15 días hasta la cicatrización de la parte del corte y finalmente se plantaron el 5 de abril. La plantación se realizó dejando 0.4 m entre pencas y 0.6 m entre hileras, con un espacio de 3 m entre parcelas, para un tamaño de 1.8 m de ancho por 4 m de largo. El número de hileras por parcela fue de 4, donde cada una corresponde a un cultivar. La parcela experimental se circundó con malla metálica para protegerla de animales silvestres.

Riegos

Para la aplicación del riego por goteo, se utilizó cintilla (T-tape TSX 710, 0.250 mm), diseñada para elevar la uniformidad en hileras largas y utilizada para suelos pesados, con un gasto de 0.5 L h^{-1} , con una presión de $10 \text{ PSI lb in}^{-2}$. El espacio entre goteros fue de 0.2 m, lo que hace un gasto de 2.5 L h^{-1} por metro lineal. El riego de establecimiento se efectuó hasta llevar a capacidad de campo los primeros 60 cm de profundidad del suelo para todos los tratamientos, debido a que en este estrato existe la mayor concentración radical de la planta de nopal. La cantidad de agua aplicada por semana para cada cultivar en los tratamientos 30, 45 y 60% de la evaporación mensual acumulada, se determinó por la división de dicha cantidad de agua evaporada entre el número de semanas de cada mes para los dos años. Conociendo el gasto total de las líneas regantes, se obtuvo el tiempo de riego. Se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $P=0.05$), utilizando para ello el programa SAS versión 6.12 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fertilización

El análisis de la composición química del estiércol bovino aplicado al suelo, permitió identificar la cantidad de nutrimentos aplicados por hectárea (Tabla 1), particularmente los macro-elementos N, P y K, que sumados al contenido inicial del suelo fueron de 634.1, 222.0 y 5,754 kg, respectivamente.

Con la finalidad de proporcionar al suelo los nutrimentos suficientes para recuperar la fertilidad extraída, en el mes de octubre se llevó a cabo una segunda aplicación de estiércol bovino a razón de 17.36 kg m^{-2} (173 t ha^{-1}) de características similares a las ya mencionadas.

Tabla 1. Nutrientes aplicados al suelo con estiércol bovino

Elemento mineral	Cantidad (kg ha⁻¹)
Nitrógeno (N)	434.1
Fósforo (P)	206.7
Potasio (K)	999.6
Calcio (Ca)	1656.5
Magnesio (Mg)	325.6
Sodio (Na)	114.2
Hierro (Fe)	520.0
Manganeso (Mn)	17.1
Zinc (Zn)	6.91
Cobre (Cu)	2.2

Temperatura y evaporación

Las temperaturas máximas registradas en los dos años de estudio (Fig. 2-A), muestran una ligera variación en ambos años y en general se detectó los valores de temperaturas diurnas más altos en los meses de mayo a septiembre, siendo éstos, como es lógico, más calurosos que los meses de octubre a noviembre, con la tendencia a disminuir en los meses de invierno.

La curva de la evaporación (Fig. 2-B) indica un registro más variable que la temperatura en los dos años del estudio, por lo que aun cuando hay una relación directa entre temperatura y evaporación existen otros factores ambientales que influyen en su efecto en el campo de cultivo y sobre la planta. Sin embargo, de manera general se observa que la evaporación fue mayor en cuatro de los siete meses de estudio para los dos años, demostrando que a mayor temperatura, aumenta la evaporación. En particular se detecta mayor evaporación en los meses más calurosos en el año 2001 respecto al 2000.

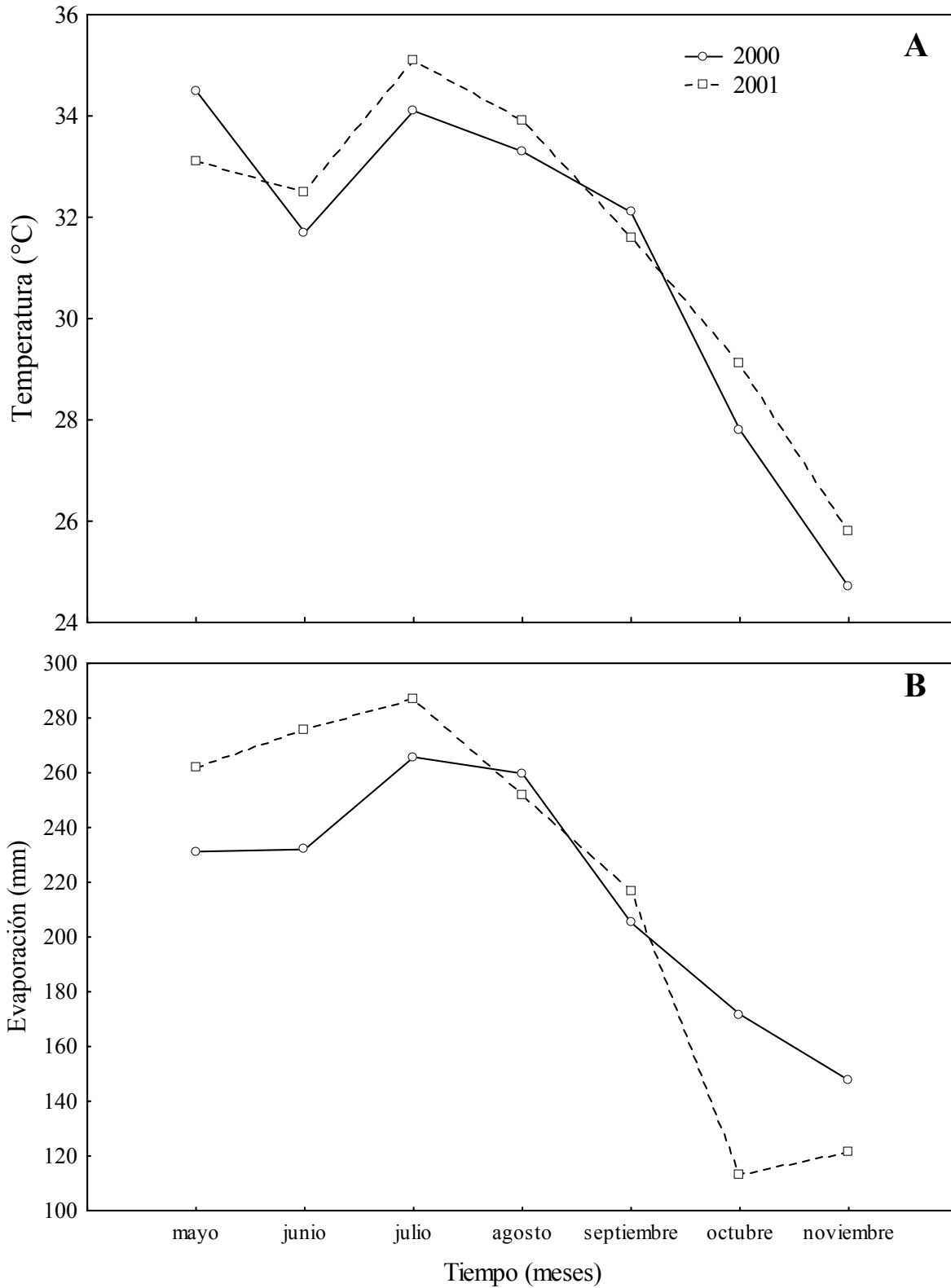


Figura 2. (A) Temperaturas y (B) evaporación mensuales registradas en la parcela de nopal durante el periodo de estudio (2000 y 2001)

Aplicación del riego

La lámina de riego mensual aplicada (mm) para ambos años (2000 y 2001) se presenta en la Figura 3. En promedio se aplicó mayor cantidad de agua en el año 2001 (Fig. 3-B), observándose tendencias diferentes sobre todo en los meses de verano lo que se debe en parte a la presencia de precipitación en el año 2000 (datos no mostrados) que después se acentuó con sequía y mayor evaporación en estas fechas. La tendencia a la disminución del volumen de agua aplicado es menor en los meses fríos en los que la evaporación es menor.

Producción de nopalito

Los resultados del análisis de varianza de la parcela experimental (Tabla 2) mostraron diferencias significativas para todas las fuentes de variación en estudio.

Tabla 2. Análisis de varianza de los resultados para las diferentes fuentes de variación en la parcela experimental de nopal

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F
Año	1	331071419.09	374.97	0.0001
Mes	6	65190946.52	73.84	0.0001
Cultivar	3	47266689.32	53.53	0.0001
Nivel de humedad	2	5039399.04	5.71	0.0036

Rendimiento por año

En la Tabla 3 se muestra la diferencia significativa en la producción de nopal verdura del año 2001 muy superior al rendimiento registrado en el año 2000, por lo que aparte de las diferentes condiciones climáticas en ambos años, posiblemente la edad de la plantación tiene un efecto evidente, información que coincide con lo enunciado por Grajeda (1978).

Tabla 3. Rendimiento medio de brote de nopal en los dos años de estudio

Año	Promedio*	N
2001	3,807.50 ^A	252
2000	2,186.53 ^B	252

* Valores con misma literal son estadísticamente iguales (Tukey $P=0.05$)

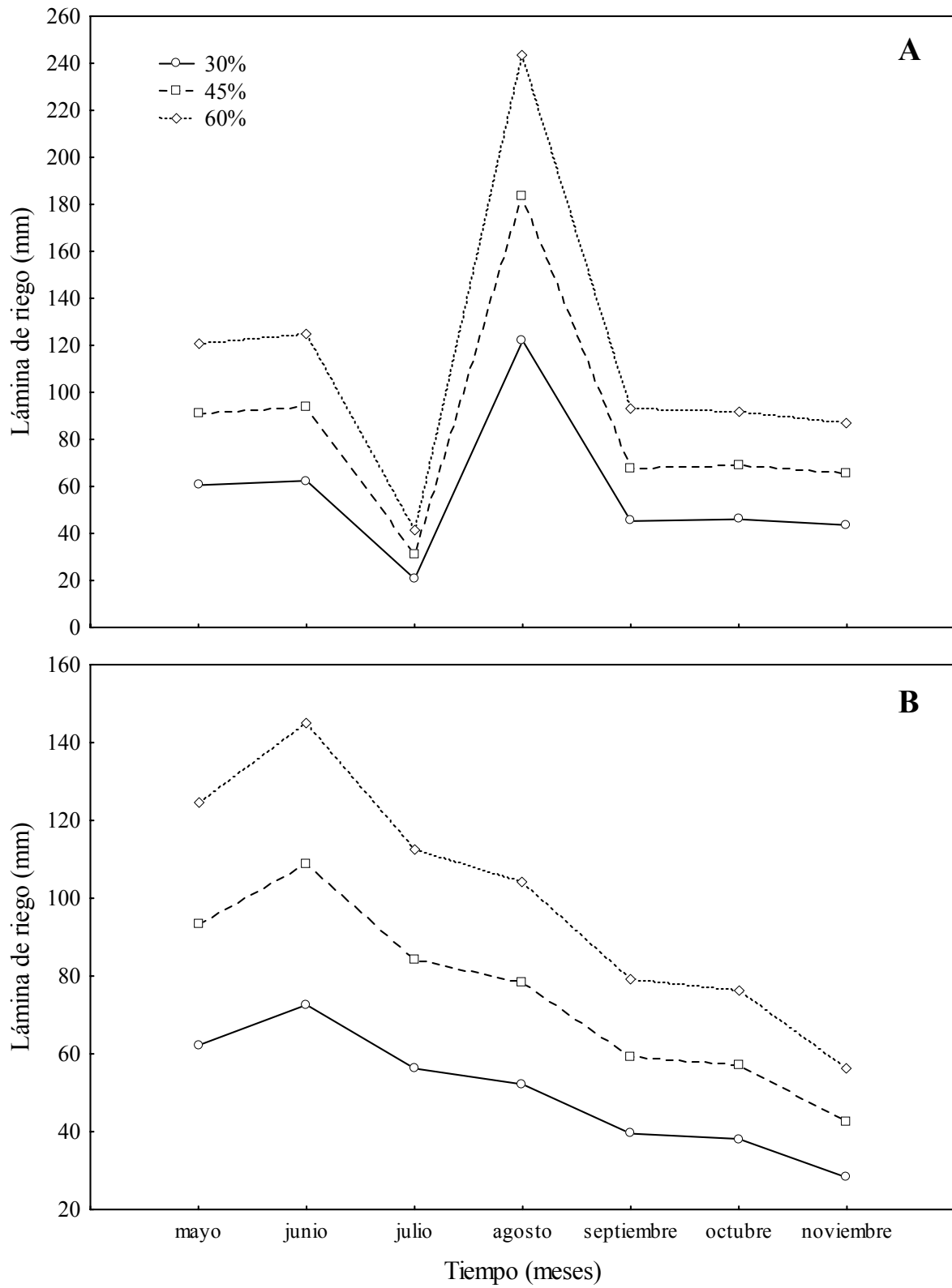


Figura 3. Lámina de riego aplicada mensualmente (A) en el año 2000 y (B) en el año 2001

En cuanto al efecto del tiempo (meses) en la producción de brote (Tabla 4), se observa que en ambos años los meses más calurosos destacaron por la mayor producción de brote, que convertidos a rendimientos por hectárea fueron 124 t ha⁻¹ en julio y 122 t ha⁻¹ en agosto y una vez que disminuyó la temperatura (mes de noviembre) se registraron los valores mínimos de producción. En diciembre, enero y febrero se detuvo totalmente la actividad de crecimiento del brote.

Tabla 4. Efecto del tiempo (meses) sobre la producción del brote o nopalito

Tiempo (meses)	Promedio*	N
Julio	4,137.9 ^A	72
Agosto	4,081.7 ^A	72
Septiembre	3,438.0 ^B	72
Junio	2,868.6 ^C	72
Mayo	2,507.4 ^C	72
Octubre	2,423.1 ^C	72
Noviembre	1,522.4 ^D	72

* Valores con misma literal son estadísticamente iguales (Tukey $P=0.05$)

Niveles de humedad

Los resultados de la producción promedio considerando los tres niveles de humedad aplicados (Tabla 5), muestran que el rendimiento de brote de nopal no es diferente estadísticamente al aplicar 60% ó 45% de humedad, basado en la evaporación acumulada en el mes, por lo que para ahorrar agua y tener un rendimiento mayor de nopalito, se sugiere aplicar el 45% de la evaporación mensual acumulada.

Tabla 5. Comparación del rendimiento del brote en tres niveles de humedad

Nivel de humedad	Promedio*	N
45%	3,138.5 ^A	168
60%	3,053.3 ^A	168
30%	2,799.2 ^B	168

* Valores con misma literal son estadísticamente iguales (Tukey $P=0.05$)

Producción por cultivar

Una de las variables de mayor interés es el rendimiento de brote registrado en los cuatro cultivares evaluadas. Los resultados de la comparación de medias indican que el cultivar C-69 (*Opuntia ficus-indica*) presentó los valores más altos en producción con 2,641.2 g m⁻² y 4,619 g m⁻² para el año 2000 y 2001, respectivamente. La producción estacional de nopal verdura se precisa con el análisis del rendimiento de las variables durante el año 2000 (Fig. 4-A) y 2001 (Fig. 4-B), en donde se aprecia la variación significativa en el rendimiento de cada cultivar con respecto a los dos años. Así, es posible establecer que los cuatro cultivares presentan diferencias significativas en producción de acuerdo al mes del año en que se encuentre, lo que resulta un factor fundamental en la selección de materiales para una producción sostenida a lo largo del año o una mayor producción en una época estratégica del año. Además de lo anterior y como ya se mencionó, un factor de influencia en este estudio es la edad de la planta, ya que para el año 2001 mostró un sistema radical y estructura anatómica más desarrollada, resultando en un rendimiento mayor de brote.

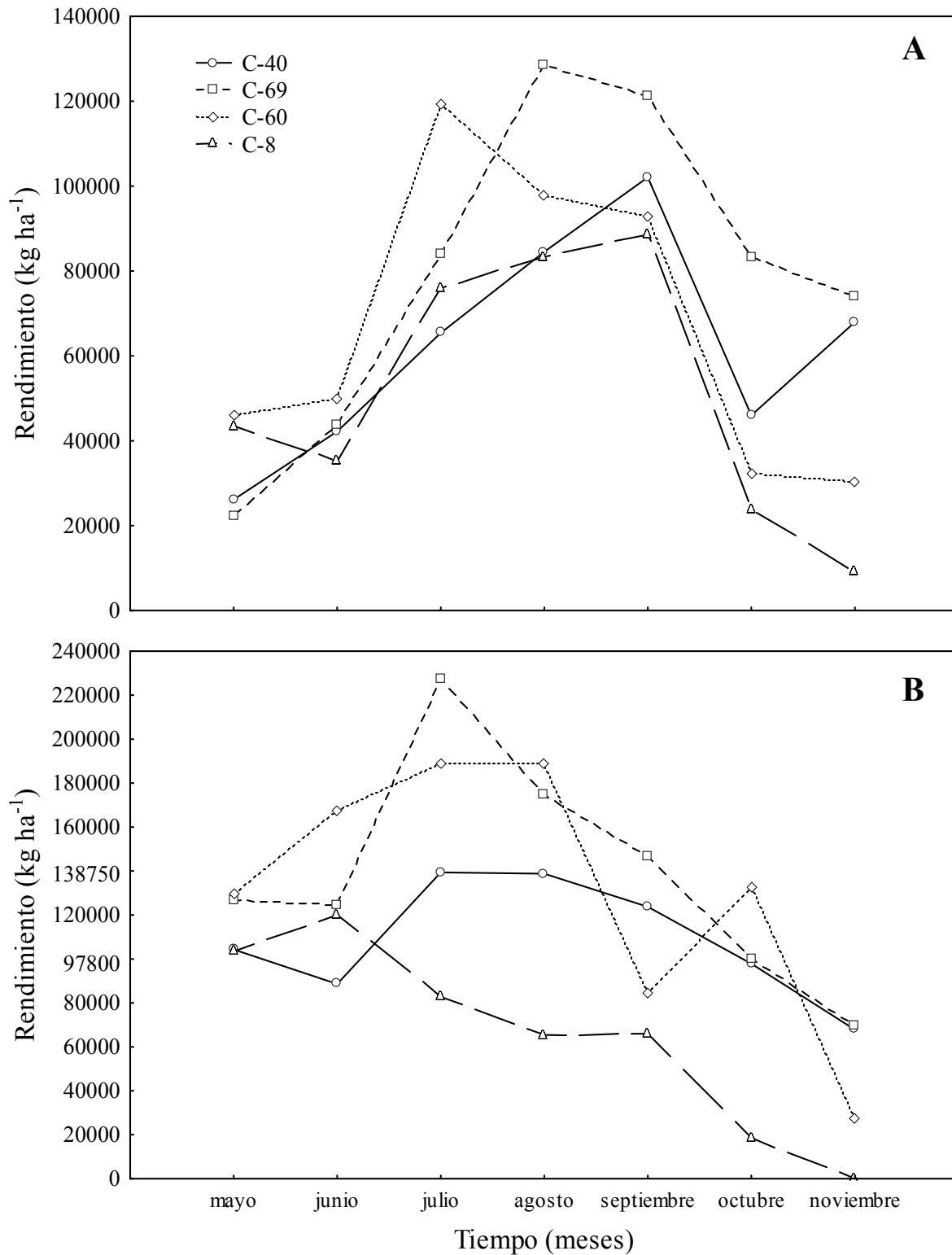


Figura 4. Rendimiento de cuatro cultivares de nopal verdura bajo riego con cintilla superficial en los periodos de estudio en la Comarca Lagunera (A) año 2000 Y (B) 2001

CONCLUSIONES

La producción de nopalito del año 2001 resultó muy superior al rendimiento registrado en el año 2000, por lo que aparte de las diferentes condiciones climáticas en ambos años, el factor de edad de la planta pudo tener un efecto determinante en ello.

No se encontró diferencia estadística significativa en el rendimiento de nopalito al aplicar el 60% ó el 45% de humedad con base en la evaporación acumulada semanal, por lo que para ahorrar agua y tener mayores rendimientos se sugiere aplicar una lamina del 45% de dicha evaporación.

De los cultivares evaluados, el cultivar 69 (*Opuntia ficus-indica*) presentó los valores más altos en producción de brote en ambos años por lo que se sugiere para la región.

Se observó una variación significativa en al producción de nopal verdura en los cuatro cultivares a lo largo del año en el período de estudio, teniendo una influencia determinante la baja temperatura en el crecimiento del brote.

LITERATURA CITADA

- Bravo, H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 1, 2da. Edición. Editorial Universitaria, México. 30-40p.
- Berzoza, M., Chávez, S.N. 2000. Fertirrigación en hortalizas en el distrito de riego 05 Delicias. X Congreso nacional de irrigación. Simposio I, ingeniería de riego. Chihuahua, Chihuahua. 1112.
- Flores, H., A. 1994. El Nopal *Opuntia spp.* Folleto de Divulgación PRONASOL-CONACYT-Plan Nueva Laguna. Universidad Autónoma Chapingo, URUZA, Bermejillo, Dgo.15 p.
- Flores, V.C., Aguirre, R. 1992. El nopal como forraje. 2ª reimpresión, CIEESTAM- UACH. Chapingo, México. 80 p.
- Grajeda, G.J.E. 1978. Influencia de la poda sobre la producción intensiva de nopal verdura (*Opuntia spp*) y su relación con la tasa de asimilación neta. Tesis de maestría fruticultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 82 p.
- Jiménez, G.G., 2001. Problemática del agua en la Comarca Lagunera. *In: Memoria. Recursos naturales e impacto ambiental en zonas áridas.* Universidad Autónoma Chapingo. URUZA, Bermejillo, Durango.20 p.
- Mendoza, M.S.F.; García, H. G., Martínez, S. J., Macías, R.H. 2000. Interacción agua-nutrientes en tres sistemas de producción en sandía con riego por cintilla y acolchado plástico. X congreso nacional de irrigación. Simposio I. Ingeniería de riego. Chihuahua, Chihuahua. 1123.
- Mendoza, M.S.F., Martínez, S.J., Potisek, T.C., García, H.G. 1998. Productividad del agua en algodónero bajo un sistema de producción de riego con cintilla y acolchado plástico. Memorias del VIII congreso nacional de irrigación. Región Lagunera, Coahuila-Durango, México.1131.
- Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Aguilar-García, M. 2002. El Nopal: cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, CIBNOR, S.C. La Paz, B.C.S. 114 p.
- Rivera, G.M., Orona-Castillo, I., Sánchez, C.I., Macías, R.H., Martínez, S.J., Estrada, A. J. 2001. Obtención de una función de producción de agua para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en riego por goteo superficial. XV congreso latinoamericano y V Cubano de la ciencia del suelo. Varadero, Cuba. 65 p.
- Ríos, F.J. 1997. Los cambios en el patrón de cultivos en la Comarca Lagunera (1978-1995). Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 113 p.
- SAGAR-CEA.1999. Anuario estadístico de la producción Agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales. México. 14-23 p.