

PRODUCTIVIDAD DEL NOPAL PARA VERDURA (*Opuntia spp*) BAJO RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN LA COMARCA LAGUNERA

A. Flores Hernández¹, I. Orona Castillo²; J. M. Martínez Martínez¹; M. Rivera González²
y J. G. Hernández Martínez².

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Apdo. Postal No. 8, Bermejillo, Durango, México, 35230. ²CENID-RASPA-INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México.

RESUMEN. El trabajo se realizó en el campo experimental del CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, de abril del 2000 a abril del 2001. Se evaluó el rendimiento de las variedades de nopal *O. megacantha 40*, *O. megacantha 60*, *O. megacantha VIII* y *O. ficus 69*. Se utilizó la técnica de producción con riego por goteo en cintilla subterránea, aplicando tres laminas de riego con base en el 30, 45 y 60% de la evaporación diaria. La productividad se determinó con base en el índice de área foliar (IAF) y tasa de asimilación neta (TAN). En la producción de brote, la variedad *Opuntia ficus 69* destacó bajo los tres niveles de humedad, con rendimiento promedio de 97.5 t ha⁻¹. Se encontró diferencia estadística entre tratamientos de humedad; la eficiencia más alta en producción con el mínimo consumo de agua se logró con el tratamiento del 30% de la evaporación diaria, con un promedio de 15.2 kg m⁻³. En la productividad de acuerdo a la TAN y el IAF, no se encontró diferencia estadística entre niveles de humedad ni entre variedades, influyendo en ello el periodo relativamente corto de evaluación.

Palabras clave: Nopalito, rendimiento, sistema de riego, fisiotécnica.

SUMMARY. The work was carried out in to the experimental field of the one ENCIRCLE-RASPS, Gómez Palacio, Durango, of April of the 2000 to April of the 2001. The yield of the nopal varieties *O. megacantha 40* was evaluated, *O. megacantha 60*, *O. megacantha VIII* and *O. ficus indica 69*. The production technique was used with watering by leak in underground cintilla, applying three watering sheets with base in the 30, 45 and 60% of the daily evaporation. The productivity was determined with base in the area index to foliate (IAF) and rate of net assimilation (SO). In the bud production, the variety *Opuntia ficus 69* highlighted under the three levels of humidity, with yield average of 97.5 t ha⁻¹. He/she was statistical difference among treatments of humidity; the highest efficiency in production with the minimum consumption of water was achieved with the treatment of 30% of the daily evaporation, with an average of 15.2 kg m⁻³. In the productivity according to the SO and the IAF, was not statistical difference among levels of humidity neither among varieties, influencing in it the relatively short period of evaluation.

Words key: Nopalito, yield, watering system, fisiotécnica.

INTRODUCCIÓN

El territorio mexicano está cubierto por una gran diversidad de climas; al Norte predominan los climas árido y semiárido, donde el uso eficiente del agua cobra especial importancia para la producción, tal es el caso de la región de la Comarca Lagunera, que se caracteriza por presentar zonas agrícolas de riego altamente productivas. Que se ubican en el Distrito de Riego 017, las cuales en la última década, debido a la escasez de agua no satisface las necesidades de empleo y fuente de ingresos para la población que habita la zona rural de la Comarca, por lo que es necesario buscar fuentes alternativas de vida.

Para satisfacer las demandas de agua agrícola y

mantener la producción regional se ha recurrido a la extracción de aguas subterráneas; no obstante, que esta práctica atenta fuertemente contra la conservación en equilibrio del recurso agua, pues las recargas del acuífero son menores a las de extracción. Parte del desequilibrio se debe a que la región Lagunera, es cuenca lechera de gran importancia a nivel nacional, y cuenta con una población cercana a los 96 mil cabezas de ganado lechero (SARH 1986), que demandan para su alimentación alrededor de 1 752 000 toneladas de forraje verde, siendo el cultivo de alfalfa el forraje preferido. Este es un cultivo que demanda láminas anuales de riego que varían entre 2.4 a 2.7 metros, lo que agrava el problema del abatimiento del acuífero en la región de 1.5 a 2.0 m anuales (Figueroa, 1991).

La limite agua conduce a que se considere al nopal

(*Opuntia spp*), como un importante opción debido a sus múltiples cualidades que desarrolla en condiciones de aridez (Benson y Walkington, 1968) y su potencial de mejoramiento para dichas regiones (Borrego, 1982). Además de que sus características de aprovechamiento no se suscriben a la alimentación en humanos o animales, sino a una gran variedad de usos (Anaya, *et al.* 2001; Colín, 1976; CODAGEM. 1979 y 1981).

El nopal requiere como condiciones para su producción una temperatura media anual entre los 18 a 25 °C; las temperaturas extremas que soporta y que pueden limitar su producción e incluso la sobre vivencia de la planta en tiempos prolongados es de 45 °C la máxima y de -2 °C la mínima, requiriendo de terrenos con pendientes menores al tres por ciento y bien drenadas. Por otra parte, el uso de sistemas presurizados de riego constituye en la región Lagunera una alternativa viable en el uso eficiente del agua, y puede ser extendida a las zonas agrícolas donde este recurso sea escaso (Mendoza *et al.*, 1998).

El objetivo del trabajo fue evaluar la productividad de cuatro cultivares de nopal verdura (*O. ficus indica*, clave 69 y *O. megacantha*, Claves 60, 40 y 8) bajo tres niveles de riego, usando un sistema de riego que tiende a incrementar la eficiencia del uso del agua en la región lagunera bajo la hipótesis de que:

- Existe diferencia en rendimiento y productividad en cuanto a variedades de nopal para verdura bajo las mismas condiciones de humedad.
- El nivel de producción de la planta de nopal esta relacionado con el rango de humedad en riego por cintilla subterránea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

La Comarca Lagunera se encuentra ubicada en la parte Suroeste del Estado de Coahuila y Noreste del Estado de Durango, con una superficie de 48,215 km². Se encuentra localizada entre los paralelos 24° 59' y 26° 53' de Latitud Norte, entre los meridianos 101° 41' y 104° 85' de Longitud Oeste de Greenwich.

Las fuentes de agua son la cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval que pertenecen a la Región Hidrológica No. 36. El acuífero subterráneo se encuentra repartido en ocho acuíferos, cuatro en Durango, dos en Coahuila y dos más repartidos en ambos estados (CIANE, 1978). El clima predominante en la región, es el seco desértico, cálido con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varía de

19° a 21° C, y con un promedio de temperaturas máximas y mínimas de 29° y 11° respectivamente, por lo que se deduce que es un clima extremoso (García, 1998).

Ubicación del estudio

El trabajo se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA), ubicado en el Km. 6+500, margen derecho del canal principal Sacramento del Distrito de Riego No. 017 en la Región Lagunera, en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México. Con una altitud sobre el nivel del mar de 1200 m.

Material vegetativo

Para llevar a cabo la evaluación de productividad del agua en nopal para verdura se utilizaron cuatro materiales vegetativos que resultaron los de mayor capacidad de adaptación bajo condiciones de temporal, incluyéndose los tres mejores y otro más que mostró capacidad productiva y de adaptación intermedia. Estos materiales figuran dentro de los mejores 20 de 55 evaluados en la URUZA-UACH, en Bermejillo, Durango, durante el período 1989–1992 y que fueron colectados en los estados de México, San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas y Coahuila, parte de la región productora de nopal por excelencia (Flores, 1994; Marroquin, 1964; Villarreal, 1958; Martínez, 2001).

La identificación de los materiales vegetativos evaluados en este estudio se considera que es la siguiente: las variedades 40, 60 y VIII pertenecen a *Opuntia amyclaea*, Rzedowsky, aunque Bravo (1978) las ubica como *Opuntia megacantha* y la variedad 69, *Opuntia ficus indica*.

Preparación del suelo

La preparación del terreno constó de barbecho y rastreo, posteriormente se aplicó con base en el análisis de la composición química del suelo, estiércol bovino a razón de 5.7 kg m⁻², mismo que se incorporo al suelo mediante otro rastreo que se hizo perpendicular al anterior. Posteriormente y con el objetivo de proporcionar al suelo, donde se encuentra establecido el cultivo de nopal, los nutrientes 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 de estiércol bovino.

Riegos

El riego de establecimiento se hizo hasta llevar a capacidad de campo los primeros 60 cm de profundidad

del suelo para todos y cada uno de los tratamientos, incluyendo el testigo, considerando que es en este estrato donde existe una mayor concentración radicular del cladodio. Previamente se determinó el tipo de suelo, su capacidad de campo, su punto de marchites permanente y su densidad aparente. Con estos datos se calculó la lamina de riego inicial considerando el área de influencia del gotero (bulbo de humedecimiento) y el tiempo de riego. Posteriormente y con base en los tratamientos de humedad del 30, 45 y 60 por ciento de la evaporación acumulada por semana (resultante de la suma de la tasa de evaporación diaria tomada de un tanque evaporímetro tipo "A"), se definieron las láminas de riego aplicadas semanalmente.

Sistema de riego

En el sistemas de riego se utilizó cintilla T-Tape TSX 710 10 mil (0.250 mm), diseñada para elevar la uniformidad en hileras largas y utilizada para suelos pesados, con un gasto de 0.5 litros por hora funcionando a una presión de 10 PSI (libras por pulgada cuadrada de presión). El espacio entre goteros fue de 0.2 m, lo que hace un gasto de 2.5 litros por hora por metro lineal. La cintilla se enterró a 30 cm de profundidad promedio.

Densidad de Plantación

Los cladodios madre fueron cortados y tratados con caldo Bordelés en el mes de marzo, habiéndose dejado bajo sombra durante 15 días para cicatrizar la parte de corte afectada y plantarse finalmente el 5 de abril. Posterior a esto el huerto experimental se cercó con malla tipo gallinera para protegerlo de animales silvestres. La densidad poblacional a que se plantaron las diferentes variedades fue a 0.4 m entre pencas y 0.6 m entre hileras de pencas, dejándose un espacio de tres metros entre parcelas. El número de hileras por parcela fue de cuatro, donde cada una corresponde a una variedad. El tamaño de parcela fue de 1.8 m de ancho por 4 m de largo.

Producción de brote

La estimación de rendimiento se realizó de manera directa con base en el peso fresco del brote al tamaño comercial, en cada uno de los tratamientos, evaluándose la suma de los cortes realizados en el periodo de estudio (Abril 2000- Abril 2001).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques a azar donde las parcelas grandes fueron los niveles de humedad y las parcelas chicas las variedades de nopal. Se hizo un análisis de la varianza y la prueba

de Tukey, para comparación de medias de las variables en estudio, con el programa SAS versión 6.12 - Windows 98.

Productividad

El cálculo de productividad se realizó con base a la Tasa de Asimilación Neta (TAN) e Índice de Área Foliar (IAF) en la segunda semana de junio del 2000 y se usó la metodología descrita por Larcher (1977). Con algunas modificaciones para el caso de nopal. La fórmula utilizada es:

$$P = \text{TAN} \times \text{IAF} \times T$$

Donde: P = Productividad, TAN= Tasa de Asimilación Neta, IAF= Índice de Area Foliar, T= Tiempo.

El cálculo de la Tasa de asimilación neta diaria se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{TAN} = \frac{\text{Gramos de peso seco}}{\text{dm}^2 \text{ de superficie foliar /día}}$$

$$\text{TAN} = \frac{P2 - P1}{A2 - A1} \times \frac{\text{LNA2} - \text{LNA1}}{T2 - T1}$$

Donde:

- P2 = Peso seco lectura 2.
- LNA2 = Logaritmo natural del área 2.
- P1 = Peso seco lectura 1.
- LNA1 = Logaritmo natural del área 1.
- A2 = Área foliar 2.
- T2 = Tiempo (junio 8/ 2000)
- A1 = Área foliar 1.
- T1 = Tiempo1 (junio 15/2000)

Area foliar. Para en la determinación del área foliar y que ésta fuera lo más cercana posible a su área foliar real, se usó un método rápido y sencillo de acuerdo con Flores *et al* (1996). un análisis de regresión donde la variable independiente fue el área foliar manual (AFM), obtenida con base en la formula del circulo, donde únicamente se tomo el largo (L) y ancho (A) del brote al tamaño comercial de acuerdo a la siguiente fórmula;

$$(p \times r^2)$$

$$\text{AFM} = (p \times r^2)$$

Donde:

$$p = 3.1416$$

$$r^2 = \text{Radio elevado al cuadrado} = \frac{(L + A)}{4}$$

Esta AFM fue correlacionada con el área foliar real (AFR) obtenida para cada brote del integrador de área foliar (Area Meter MK 2, Delta T Devices) y la fórmula de regresión obtenida fue utilizada para determinar el área foliar real usando el área foliar calculada manualmente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riegos

En la determinación del riego de establecimiento se tomaron en cuenta los resultados en la profundidad total de 0 a 60 cm. (Cuadro 1).

Otras determinaciones utilizadas fueron:
 (Qg) Gasto del gotero = 2.5 lph / metro
 $Qg = 0.5 \text{ l / hora}$
 $Qg = 0.0005 \text{ m}^3/\text{hora}$

Determinación de la lamina de riego:
 $\text{Lámina de riego} = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Pr$

Área de influencia del gotero = $0.20 \times 0.60 = 0.12 \text{ m}^2$

Volumen = LR x Sup = $0.1075 \text{ m} \times 0.12 \text{ m}^2$

Tiempo de riego = Volumen / Qg = $0.0129 \text{ m}^3 / 0.0005 \text{ m}^3 \text{ hora}$

PSI = 12 presión en libras / pulgada cuadrada.

Con los datos anteriores se estableció una lamina de riego inicial de 10.7 cm con un tiempo de riego de 25 horas según el sistema instalado, las laminas siguientes fueron calculadas según los tratamientos descritos y variaron de acuerdo a la temporada del año, días más calurosos (mayor evaporación) laminas más pesadas que los días menos calurosos. El volumen total de agua por parcela, suministrada por semana, considerando los tratamientos de evaporación diaria acumulada fue:

Tratamiento 1 = 30% de la evaporación diaria = 1.78 m^3 de Agua (lamina de 74 cm)

Tratamiento 2 = 45% de la evaporación diaria = 2.54 m^3 de Agua (lamina de 106 cm)

Tratamiento 3 = 60% de la evaporación diaria = 3.31 m^3 de Agua (lamina de 138 cm)

Productividad de brote

Los resultados obtenidos en producción total de brote por hectárea de nopal durante el primer año de plantado indican que a mayor volumen de agua aplicada se incrementa el rendimiento de manera significativa en la variedad superior *Opuntia ficus indica* 69 en comparación al resto (Cuadro 2). No obstante, el rendimiento considerando el volumen de agua utilizada en dicha producción de nopal verdura, arroja valores que indican diferencia significativa entre tratamientos de humedad y variedades (Cuadro 3), mostrándose una diferencia muy superior en el tratamiento del 30% de agua suministrada de la evaporación acumulada por semana y se comprueba la superioridad en producción del cultivar clave 69. Por lo tanto y de acuerdo a la problemática inicialmente planteada del problema de escasez de agua en la región y del uso de nopal como cultivo eficiente en el aprovechamiento de agua se recomienda el riego con lamina total de 74 cm en todo el año y la variedad *Opuntia ficus indica* 69 bajo las condiciones de producción indicados en el presente trabajo, cuya lamina de riego es relativamente bajo comparada con los requerimientos de agua de los cultivos tradicionales como son el maíz, sorgo, algodón, hortalizas y particularmente alfalfa.

Cuadro 1. Determinación del riego a capacidad de campo a diferentes profundidades de suelo.

| Profundidad | Densidad Aparente | C.C. | P.M.P. |
|-------------|-------------------|------|--------|
| 0-30 cm | 1.22 | 31% | 16% |
| 30-60 cm | 1.28 | 29% | 15.3% |

C.C. = Capacidad de campo

P.M.P.= Punto de marchitez permanente

Cuadro 2. Rendimientos total (ton/ha) de cuatro variedades de nopal hortícola bajo riego con cintilla subterránea en la Comarca Lagunera.

| Humedad | Megacantha 60 | Ficus Indica 69 | Megacantha 40 | Megacantha VIII |
|---------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 30 % | 80.015 | 93.311 | 86.686 | 65.088 |
| 45 % | 76.879 | 95.187 | 93.005 | 68.679 |
| 60 % | 89.080 | 104.195 | 97.535 | 77.685 |
| TESTIGO | 5.30 | 5.99 | 7.46 | 4.78 |

Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey) del Rendimiento en kg de brote por metro cúbico de agua utilizada entre tratamientos y variedades de nopal.

| Tratamientos | Media | Variedades | Media |
|----------------|--------------------|-------------|---------------------|
| 30% de humedad | 15.22 ^a | ficus idica | 13.48 ^a |
| 45% de humedad | 10.94 ^b | Megacantha | 12.75 ^{ab} |
| 60% de humedad | 9.27 ^c | Megacantha | 11.34 ^{bc} |
| | | Megacanta | 9.67 ^c |

Letras diferentes indican diferencia significativa al nivel $P=0.05$ dentro de columnas.

Productividad con base en la TAN y IAF

Los valores obtenidos en la Tasa de Asimilación Neta (TAN) expresados en gramos por decímetro cuadrado por día, del brote de nopal, muestran en promedio $0.015 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que resulta superior al reportado para plantas herbáceas ($0.05 - 0.010 \text{ g dm}^{-2} \text{ día}^{-1}$), (Larcher, 1977). De acuerdo al análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de humedad ni entre las variedades estudiadas.

Los valores obtenidos de la correlación área foliar manual vs área foliar real (AFR) de cada brote al tamaño comercial, permitieron obtener la siguiente ecuación de regresión que fue utilizada para determinar la productividad diaria de brote.

$$\text{AFR} = 20.89 + 0.821 (\text{Area Manual})$$

La productividad en gramos de peso seco por planta en la fecha que se realizó el estudio (Junio 2000) registró un valor promedio de 10 g de peso seco, no registrándose diferencia significativa entre tratamientos de humedad ni entre variedades. Una causa probable de esto es el periodo relativamente corto de evaluación de esta característica y en una fecha de un mes relativamente caluroso con una dinámica de crecimiento muy uniforme, probablemente se pueda detectar la diferencia en productividad a través de muestreos durante el año.

CONCLUSIONES

El nopal con mayor vocación productiva para verdura bajo las condiciones de riego por goteo subterráneo en La Comarca Lagunera lo constituye la especie *ficus indica* 69, en cualquiera que sea el nivel de humedad aplicado en el manejo.

Considerando la escasez de agua en la región, se recomienda utilizar como criterio de producción una lamina anual de riego equivalente al 30% de la evaporación diaria.

Los rendimientos de brote obtenidos son los totales a lo

largo del año, presentándose variaciones debido a la temperatura, no obstante en los meses de mayor producción fácilmente se alcanza el rendimiento nacional promedio que ascienden a $22.2 \text{ ton ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ bajo riego o buen temporal (SAGAR-CEA, 1999).

LITERATURA CITADA

- Anaya P., M.A.; A. Lozano T. y C. Camacho A. 2001. Breve historia del nopal forrajero. Tzapinco (191):37-43.
- Benson L. and L. Walkington. 1968. Los nopales de California. Soc. Mex. Cac. Succ. 13(2):27-33.
- Borrego E., F. 1982. Avances en mejoramiento genético del nopal opuntia spp. En el Norte de México. In: Resúmenes IX Congreso Nacional de Fitogenética, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. p. 116.
- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Inst. de Biología. UNAM. México. 755 p.
- CIANE, 1978. Marco de referencia de la Comarca Lagunera. CIANE. INIA. Matamoros, Coah. México.
- Colín C., B. 1976. Industrialización del Nopal y sus Productos. Tecnología LANFI. México.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal. México. Folleto Informativo No. 158
- CODAGEM. 1981. Perspectivas de la Utilización del Nopal y de la Tuna. México. Folleto Informativo No. 282
- Figueroa, V.R. 1991. Evaluación de los métodos de riego: por pulsaciones y tradicional en función de la eficiencia de riego y la productividad del agua en el cultivo del frijol en la Comarca Lagunera. Memorias del Seminario Internacional sobre uso eficiente del agua. México.
- Flores H., A. 1994. El nopal Opuntia spp. Nueve Laguna. Universidad Autónoma Chapingo, URUZA. Bermejillo, Dgo. Folleto de Divulgación Pronasol-Conacyt-Plan

- Flores H., A; Rodríguez O. J y V.F Ramírez. 1996. Modelos de Estimación de Biomasa en Nopal (*Opuntia* spp). Revista Chapingo Serie Horticultura. vol.II, (2): 199-206.
- García E. 1998. Sistema de clasificación climática de Copen. Instituto de Geología. UNAM. México. 245 p.
- Larcher, W. 1977. Ecofisiología Vegetal. Limusa, Barcelona, España. p 39-73
- Marroquín, J.S. 1964. Estudio Ecológico y Dasonómico de las Zonas Áridas del Norte de México. México. INIF. Publicación Especial 2:166 p.
- Martínez Martínez, J. M. 2001. Productividad del agua en nopal verdura (*Opuntia* spp) bajo riego por goteo subterráneo en la Comarca Lagunera. Tesis Profesional. URUZA UACH. Bermejillo, Dgo. México. 60 p.
- Mendoza M, S.F.; J. Martínez, S.; C. Potisek, T. y G. García H. 1998. Productividad del agua en algodónero bajo un sistema de producción con riego con cintilla y acolchado plástico. In: Memorias del VIII Congreso Nacional de Irrigación. Región Lagunera Coah-Dgo. México.
- SAGARPA-CEA, 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria SAGARPA. México.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México. 1982. Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal en el estado de México. México. Folleto informativo No.12.
- SARH. 1986. Anuario estadístico de la producción agrícola en los Estados Unidos Mexicanos. SARH. México.
- Villarreal, A. 1958. El Nopal como forraje para el ganado. In: Primer Congreso de Investigación Agrícola en México. Chapingo,. Escuela Nacional de Agricultura. México p. 210-220