

Rendimiento y Crecimiento de Nopalitos de Cultivares de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo Diferentes Densidades de Plantación[♦]

Yield and Growth of Green Cladodes of Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Cultivars under Different Plant Densities

Francisco Higinio Ruiz-Espinoza¹, Jesús Felipe Alvarado-Mendoza¹, Bernardo Murillo-Amador^{2*}, José Luis García-Hernández², Roberto Pargas-Lara¹, Juan de Dios Duarte-Osuna¹, F. Alfredo Beltrán-Morales¹, Liborio Fenech-Larios¹

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Apdo. Postal 19B. La Paz, Baja California Sur, México. C.P. 23080

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

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

ABSTRACT

The experiment was carried out during March through August, 2001, in the experimental field of the Universidad Autónoma de Baja California Sur, in La Paz, B.C.S., Mexico. A complete randomized block design with split-plots arrangement was used. The fresh and dry yield and growth of tender or young cladodes were evaluated in five prickly pear cultivars 'CEN-1', 'SQ-1', 'CAL-2', 'MEZQ' and 'OLA' under three plant densities (30,000, 60,000, and 90,000 plants ha⁻¹). Results showed that 'CEN-1' had the higher fresh and dry yields with 10.61 and 0.586 t ha⁻¹, respectively, followed by the 'SQ-1' 1 cv. with 9.95 and 0.527 t ha⁻¹, respectively. Cultivar 'OLA' showed lower fresh and dry yields with 4.27 and 0.240 t ha⁻¹, respectively. However, this cultivar showed a greater tender or young cladodes growth (length and width), reaching an average 14.26 cm length and 7.54 cm width in 14.3 days, while the cultivar with smaller growth of green cladodes was 'CEN-1', with 11.99 cm length and 4.17 cm width in 18.7 days. Length and width of young cladodes, taking into consideration plant densities, showed the lower values as plant density increased. We suggest 'CEN-1' cv. for higher yields and 'OLA' cv. to obtain young cladodes of commercial size in the least time in La Paz Valley. In both cases we suggest 60,000 plants ha⁻¹ as the better plant density.

Key words: Green cladodes yield, growth, plant density.

RESUMEN

El experimento se desarrolló en el período de marzo a agosto de 2001, en el campo experimental de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, en la ciudad de La Paz, B.C.S., México. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas. Se midió el rendimiento en peso fresco y seco y el crecimiento de nopalitos en cinco cultivares de nopal ('CEN-1', 'SQ-1', 'CAL-2', 'MEZQ' and 'OLA') bajo tres densidades de plantación (30,000, 60,000 and 90,000 plantas ha⁻¹). Los resultados indican que el cultivar 'CEN-1' mostró el mayor rendimiento tanto de peso fresco como seco con 10.61 y 0.586 t ha⁻¹, respectivamente, seguido por el cultivar 'SQ-1' con 9.95 y 0.527 t ha⁻¹, respectivamente. El cultivar 'OLA' mostró el rendimiento menor en ambas variables con

[♦] Received 9 September 2007, Accepted 12 January 2008

4.27 y 0.240 t ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo, este último cultivar mostró mayor crecimiento de nopalitos (largo y ancho), alcanzando un promedio de 14.26 y 7.54 cm de largo y ancho, respectivamente, en 14.3 días, mientras que el cultivar con menor crecimiento de nopalitos fue ‘CEN-1’ con 11.99 y 4.17 cm de largo y ancho, respectivamente, en 18.7 días. Considerando las densidades de plantación, largo y ancho de nopalitos, mostraron los valores menores conforme la densidad de plantación se incrementó. Se sugiere sembrar para el Valle de La Paz, B.C.S., el cultivar ‘CEN-1’ si se desea obtener mayores rendimientos y el cultivar ‘OLA’ si se requiere obtener nopalitos de tamaño comercial en el menor tiempo posible. En ambos casos se sugiere una densidad de plantación de 60,000 plantas ha⁻¹.

Palabras clave: Rendimiento de nopalitos, crecimiento, densidad de plantación.

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas de México están distribuidas en trece entidades federativas, (incluida Baja California Sur) con una superficie de 56.7 millones de hectáreas. Las zonas semiáridas comprenden 23.3 millones de hectáreas utilizando el criterio que tienen de 300 a 600 mm de precipitación. Entre las plantas que prosperan en esas regiones se encuentra el nopal (*Opuntia* spp.) que se adapta bien a ese ambiente por su alta homeostasis que no es común en otras plantas del desierto, por lo que su aprovechamiento se convierte en una de las alternativas económicas más viables para los habitantes de esas zonas (CONAZA, 1992; Cruz y García, 1977). En esas regiones con un clima semidesértico y con una precipitación mal distribuida y errática, se limitan las posibilidades de establecimiento de cultivos bajo una agricultura de temporal, por lo que la agricultura es bajo sistemas de riego. Esto origina problemas de incremento en el costo de producción y abatimiento de mantos acuíferos, originando problemas de calidad del agua, lo cual puede terminar en el abandono de las zonas de cultivo, provocando una migración de tipo rural en la mayoría de los casos, hacia nuevas zonas con “mayores” oportunidades. A nivel nacional en 2006, se cultivaron 66,732 hectáreas de nopal; de las cuales el 76 % se orientaron a la producción de tuna, el 17 % a nopal verdura y el 7 % restante a la producción de forraje. El total de la producción fue de 1,184,913 t (tuna, nopal verdura y forraje) con un valor de 2,215,655.3 miles de pesos (SAGARPA-SIAP, 2006). Por lo anterior el nopal es un recurso importante para la diversificación de cultivos (Pareek *et al.*, 2003; Singh, 2003), ya que esta especie contiene una información tanto genética como de manejo que no ha sido debidamente estudiada para su aprovechamiento como verdura, forraje, fruto, ornato o industrial, opciones que sin duda beneficiarán a futuro al productor.

El uso del nopal verdura en el Estado de Baja California Sur cubre dos propósitos básicos: 1) Exportación a EUA la cual resulta un incentivo importante para el productor dedicado a esta labor debido a la cercanía con la frontera norte del país, 2) recurso forrajero debido a la vocación eminentemente ganadera hacia la producción de leche bovina y caprina en esta región que obliga a la introducción de cultivos eficientes en el consumo de agua entre los que destaca el nopal (Orona-Castillo, 2000; Murillo-Amador *et al.*, 2002; Flores-Hernández *et al.*, 2004a, 2004b; Flores-Hernández *et al.*, 2005). De esta manera, la búsqueda de nuevos cultivos y sistemas de producción (densidades de plantación) que resulten rentables con menores requerimientos de agua y bajos costos de producción, se convierte en una necesidad inmediata para los productores de esta región. Además, la producción de nopal verdura-forraje en los meses de mayo a agosto en el Estado de Baja California Sur, se convierte en una estrategia de aprovechamiento dado que en este período se intensifica la escasez de forraje por efecto de la sequía (Plan Estatal 2005-2011. Gobierno del Estado de Baja California Sur, 2005). Asimismo, el nopal está considerado como un recurso natural de alto valor económico, debido principalmente a su uso en la alimentación humana y animal, así como por su potencial industrial y medicinal (Borrego-Escalante y Burgos-Vázquez, 1986; Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 1991; Flores-Hernández, 1994; Monterrubio, 1997; Murray-Prisant, 1997; De la Rosa-Hernández y Santana-Amaro, 1998; Barros y Buenrostro, 1998; Barbera *et al.*, 1999; Flores-Hernández, 2002; Mondragón-Jacobo y Pérez-González, 2003).

Por otro lado, la densidad de siembra o plantación de cualquier cultivo, es al igual que otras técnicas de cultivo, determinante en la intercepción de radiación solar por el cultivo, a fin de convertir la energía solar en biomasa. Bajo este contexto, es posible optimizar la producción de biomasa mediante una intercepción de radiación solar adecuada, representando un impacto significativo en la producción de los cultivos, la cual además dependerá del desarrollo del cultivo, el cual es influenciado principalmente por la variedad o cultivar elegido, sus características de crecimiento, poda, tipo y fertilidad de suelo, disposición y tipo de riego y climatología del ciclo elegido (Castilla, 2001). Estudios relacionados con densidades de plantación y sus efectos en características fisiológicas, de productividad, entre otras, en diferentes especies tales como el nopal, han sido abordados en varias investigaciones (Bucio, 1963; Barrientos y Flores, 1969; Grajeda-Gómez, 1978; García de Cortázar y Nobel, 1986; Flores, 1992; Tobar, 1995; Murillo-Amador, 1996; Dubeux *et al.*, 2006).

El presente trabajo corresponde a la segunda etapa de un proyecto de investigación que el grupo de investigación “sistemas alternativos y sustentables de producción agropecuaria en zonas áridas” cuyos investigadores adscritos a la UABCS y al CIBNOR (Pargas-Lara y Pargas-Aguila, 2003), en colaboración con los productores agrícolas del Estado de Baja California Sur, emprendieron dicho proyecto con el fin de caracterizar 17 cultivares de nopal (*Opuntia* spp.) para su aprovechamiento como verdura, forraje y fruto y orientado a establecer prácticas de manejo del cultivo para las condiciones de la región, considerando la importancia que ésta especie representa como alternativa para la producción agrícola del Estado. El objetivo de esta segunda etapa del proyecto fue evaluar el rendimiento y crecimiento de nopal verdura de diferentes cultivares establecidos bajo diferentes densidades de plantación.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El experimento se desarrolló durante el período de marzo-agosto de 2001, en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México. Este se localiza en 24° 10' latitud norte y 110° 19' longitud oeste, a 18.5 msnm. Su clasificación climática es BW(h')h w (e), seco desértico, cálido, con una temperatura media anual mayor a 22° C, con suelo tipo yermósol háplico, profundo (hasta 120 cm), de moderada a baja capacidad de intercambio catiónico, con alto nivel de salinidad, cuya agua para riego contiene concentraciones de sólidos solubles entre 4.0 a 5.0 dS m⁻¹ considerándose esta como agua de mala calidad (INEGI, 2004).

Material genético

La presente investigación se realizó utilizando cinco cultivares con las claves ‘CEN-1,’ ‘SQ-1,’ ‘CAL-2,’ ‘MEZQ’ y ‘OLA’ de *Opuntia ficus-indica* (Bravo-Hollis, 1978), mismos que fueron seleccionados previamente por su mayor capacidad de adaptación bajo condiciones de riego y mayor producción de verdura (nopalitos) (Pargas-Lara, 1997). Estos materiales provienen de la colección de nopal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) en La Paz, Baja California Sur, cuyo origen proviene de colectas realizadas en las entidades federativas de Baja California Sur y Baja California, México, en las localidades productoras de nopal en la península de Baja California tales como El Centenario, B.C.S. (‘CEN-1’), Valle de San Quintín, B.C. (‘SQ-1’), El Calandrio, B.C.S. (‘CAL-2’), El Mezquitito, B.C.S. (‘MEZQ’) y Olas Altas, B.C.S. (‘OLA’). A su vez, estos materiales han sido introducidos por los propios productores (*comunicación personal, productores de la zona*), principalmente de Durango, Estado de México, Sinaloa, Sonora, Morelos, Zacatecas, Jalisco, entre otras entidades federativas.

Conducción del experimento

Preparación del suelo. La preparación del suelo consistió en barbechar a una profundidad de 30 cm, seguido de un rastreo. Posteriormente se aplicó fertilizante orgánico (estiércol de bovino) a razón de 5 kg m⁻² (50 t ha⁻¹), el cual se incorporó al suelo mediante un segundo paso de rastra.

Preparación de penca madre. Con el fin de obtener pencas sanas y una adecuada cicatrización de la base del cladodio, las pencas seleccionadas como penca madre, se colocaron bajo la sombra (malla sombra de 90 % de protección solar) en una superficie plana, durante 15 días, aplicándose previamente un fungicida comercial (Captan^{MR}) a una dosis de 1.5-2.0 kg en 100 L de agua. Durante estos días, las pencas se estuvieron volteando sobre sus “caras” con el fin de evitar el encorvamiento y acelerar la cicatrización de las mismas.

Plantación. En el mes de marzo, aproximadamente a los 30 días posteriores a la aplicación del fertilizante orgánico, se realizó la plantación de las pencas o cladodios madre, enterrando 1/3 de la penca en su parte basal, orientando las caras de los cladodios hacia la dirección este-oeste con respecto a la trayectoria del sol, con el fin de que las dos caras del cladodio recibieran durante el mayor tiempo posible los rayos solares para obtener una mayor eficiencia fotosintética (CONAZA, 1992).

Densidad de plantación. La plantación de las pencas madre se realizó en camas de 60 m de longitud y 3 m de ancho, con un espacio de 3 m entre camas para permitir el paso de maquinaria agrícola y efectuar las labores culturales necesarias. El área total de la parcela experimental fue de 900 m² considerando “calles” o espacios entre bloques y unidades experimentales, éstas últimas fueron de 3 x 3 m, con un área total de 9 m². Para obtener las densidades de plantación de 30,000 (D1), 60,000 (D2) y 90,000 (D3) plantas ha⁻¹, se sembraron 3, 6 y 9 pencas por metro cuadrado, respectivamente, de tal manera que en las unidades experimentales correspondiente a cada densidad se plantaron 27, 54 y 81 pencas para las densidades de 30, 60 y 90 mil pencas ha⁻¹, respectivamente. Las pencas madre en la D1 se sembraron a una distancia de 30 cm entre pencas y 100 cm entre filas, en la D2 se sembraron a una distancia de 30 cm entre pencas y 50 cm entre filas, mientras que en la D3 se sembraron a una distancia de 30 cm entre pencas y 30 cm entre filas.

Riegos. En la parcela experimental se instaló un sistema de riego por goteo, el cual permitió realizar los riegos con un tiempo de 4 h por semana, considerando un gasto de 0.5 L h⁻¹. El riego al momento de la plantación se realizó hasta llevar a capacidad de campo los primeros 60 cm de profundidad del suelo, dado que en este estrato se concentra la mayor cantidad de raíces en la planta de nopal (Zuñiga-Tarango *et al.*, 1999).

Labores culturales. Alrededor de la parcela experimental se colocó malla metálica para protegerla del daño de animales silvestres. Se realizaron tres deshierbes manuales durante el periodo del experimento, utilizando para ello herramientas convencionales (azadón y/o pala).

Variables medidas

Las evaluaciones de la producción de nopalitos se realizaron en el periodo comprendido de mayo a agosto, iniciándose con la primera cosecha el 6 de mayo y la última cosecha el 1 de agosto, con un total de 87 días de duración en este período y un total de 13 cortes (uno por semana).

Dinámica de crecimiento de nopalitos. Para determinar la dinámica de crecimiento de los nopalitos, se seleccionaron y etiquetaron (marcaje con tinta indeleble de color) cinco nopalitos de cada genotipo, de cada densidad de plantación y de cada repetición, con el fin de medir largo y ancho de los mismos, con un intervalo de tres días entre cada medición.

Rendimiento de nopalitos en peso fresco y seco. El momento de corte de los nopalitos se definió de acuerdo a Orona-Castillo (2001) quien señala que el momento de corte del nopalito está determinado por su tamaño. Considerando lo anterior, el corte se realizó cuando los nopalitos alcanzaron una longitud de 18-23 cm, dependiendo del cultivar y tomando en cuenta que éstos no se tornaran fibrosos y/o correosos debido a la acumulación de lignina en los tejidos, causando que el producto pierda calidad y precio (Orona-Castillo, 2001). Los nopalitos cosechados se colocaron en bolsas de papel etiquetadas con el nombre del cultivar y densidad respectiva. Posteriormente se trasladaron al laboratorio donde se determinó el peso fresco (en gramos) utilizando una balanza electrónica de precisión (Marca AND, modelo HF-6000G con capacidad de 6100 g). Para la determinación del peso seco (en gramos) se cortaron los cladodios en pequeños trozos (cuadros), se colocaron en una estufa de circulación forzada (BLUE-M UL 543H, BLUE Island Illinois, USA) a 80° C hasta peso constante (ca. 48 horas), utilizando para ello una balanza analítica (OAHUS, Portable Advanced modelo No. CT600-S). Los resultados se expresaron como rendimiento en peso fresco y seco ($t\ ha^{-1}$) de cada uno de los cultivares en cada una de las densidades de plantación.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas grandes estuvieron representadas por los cinco cultivares de nopal ('CEN-1', 'SQ-1', 'CAL-2', 'MEZQ' y 'OLA') y las parcelas chicas por las densidades correspondientes a 30,000, 60,000 y 90,000 plantas por hectárea. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (Duncan $\alpha=0.05$), utilizando para ello el programa Statistica 7.0 versión para Windows (StatSoft, Inc. 2001).

RESULTADOS Y DISCUSION

Dinámica de crecimiento de nopalitos

El análisis de varianza para la dinámica de crecimiento de nopalitos (largo y ancho), mostró diferencias significativas ($p\leq 0.05$) entre los cultivares evaluados, así como entre las diferentes densidades de plantación. Sin embargo, la interacción cultivar por densidad para ambas variables, no mostró diferencias significativas. Los resultados en las diferencias mostradas entre cultivares, se atribuye a la amplia diversidad genética y geográfica de dichos cultivares, así como también a las diferencias en sus características morfológicas, fisiológicas y genéticas, mismos que expresaron su potencial genético para dichas variables medidas. Estos resultados coinciden con los señalados por Tobar (1995) y Flores (1992) quienes encontraron en nopal verdura, diferencias significativas en estas variables, además, en la presente investigación y coincidiendo con estos dos últimos autores, se observó el diferencial de la constitución genética de cada cultivar evaluado, así como la respuesta debido a la interacción del potencial genético con el factor densidades de plantación, debido a la condición de competencia entre las mismas plantas de

nopal, a las cuales fueron sometidos. Los resultados muestran que el cultivar ‘OLA’ mostró una velocidad de crecimiento mayor con respecto al resto de los cultivares, alcanzando un promedio de 14.26 cm de largo y 7.54 cm de ancho de nopalitos en un lapso de 14.3 días, seguido en orden descendente por los cultivares ‘MEZQ’ (14.02 cm de largo, 6.68 cm de ancho en 15.4 días), ‘CAL-2’ (12.7 x 5.11 cm de largo y ancho, respectivamente en 16.2 días), ‘SQ-1’ (11.89 x 4.71 cm de largo y ancho, respectivamente en 16.6 días) y ‘CEN-1’ con 11.99 cm de largo, 4.17 cm de ancho en 18.7 días (Cuadro 1).

Como se observa, el crecimiento de nopalitos fue inversamente proporcional al rendimiento, debido a que el cultivar con menor rendimiento, mostró un crecimiento mayor, mientras que el cultivar con mayor rendimiento (Cuadro 3) mostró menor velocidad de crecimiento de nopalitos (Cuadro 1). En este sentido, Salisbury y Ross (1994) indican que el crecimiento vegetal, entendido como un aumento irreversible en tamaño de los organismos, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, las cuales dependerán de la respuesta agronómica y del rendimiento potencial de los diferentes cultivares. Generalmente, el crecimiento se determina mediante medidas directas (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, materia seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, etc., además de estar ligado a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros (Roberts *et al.*, 1988; Beadle, 1988). Rodríguez (2000) establece que el crecimiento de la planta está constituido por una serie de cambios de tamaño, peso y forma específicos que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación, los cuales no pueden considerarse fuera del contexto ambiental. En efecto, la densidad de población que afecta en los agroecosistemas la intercepción de radiación solar y el suministro de agua y nutrientes, es un aspecto de estudio importante en los cultivos, debido a que se encuentra directamente relacionado con eventos fisiológicos que afectan la producción y acumulación de materia seca entre los diferentes órganos.

Cuadro 1. Crecimiento promedio de nopalitos (largo y ancho) de cinco cultivares de nopal verdura evaluados en las condiciones agroecológicas del Valle de La Paz, B.C.S., México. Medias con misma literal en columna no difieren estadísticamente (Duncan $p \leq 0.05$).

Table 1. Average growth of green cladodes (length and width) of five cactus pear cultivars under three plant densities, evaluated under agroecological conditions of La Paz, B.C.S. Mexico, valley. Means with the same letter by column are not statistically different (Duncan $p \leq 0.05$).

Cultivares	Largo de nopalitos (cm)	Ancho de nopalitos (cm)
CEN-1	11.99 d	4.17 d
SQ-1	11.89 d	4.71 c
CAL-2	12.70 c	5.11 c
MEZ	14.02 b	6.68 b
OLA	14.26 a	7.54 a

Considerando las densidades de plantación, los resultados de la presente investigación muestran que la variable largo de nopalitos fue mayor cuando el número de plantas por hectárea se incrementó de 30,000 a 60,000 plantas ha^{-1} , indicando con ello una mayor actividad fotosintética laminar, ya que la respuesta de la materia seca a incrementos de densidad de población depende en gran medida del área foliar (Rodríguez, 2000) y a su vez, las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente (Jarma *et al.*, 1999). Esta misma variable mostró valores inferiores en las densidades de 30,000, seguido por la de 90,000 plantas ha^{-1} (Cuadro 2). Para la variable ancho de nopalitos, los resultados muestran que los valores mayores se presentaron en la menor densidad de plantación (30,000 plantas ha^{-1}), seguido por la de 60,000 y con valores menores en la densidad de 90,000 plantas ha^{-1} (Cuadro 2). Los resultados anteriores revelan que las plantas tienen una

tendencia a reducir el tamaño de los cladodios debido al incremento en la densidad, como una respuesta en la disminución de su tasa de asimilación neta (Verhagen *et al.*, 1963), resultados que coinciden con los encontrados por Barrientos y Flores (1969) quienes señalan que a medida que aumenta la densidad de plantación en nopal, el peso y el tamaño de las pencas, disminuyen, y en general, ésta disminución en el peso de los cladodios es mayor a niveles de población altos.

Cuadro 2. Crecimiento promedio de nopalitos (largo y ancho) de cinco cultivares de nopal verdura bajo tres densidades de plantación, evaluados en las condiciones agroecológicas del Valle de La Paz, B.C.S., México. Medias con misma letra en columna, no difieren estadísticamente (Duncan $p \leq 0.05$).

Table 2. Average growth of green cladodes (length and width) of five cactus pear cultivars under three plant densities, evaluated under agroecological conditions of La Paz, B.C.S., Mexico, valley. Means with the same letter by column are not statistically different (Duncan $p \leq 0.05$).

Densidades (plantas ha ⁻¹)	Largo de nopalitos (cm)	Ancho de nopalitos (cm)
90,000	12.64 c	5.59 c
60,000	13.18 a	5.63 b
30,000	13.09 b	5.70 a

Asimismo, Flores (1992) y Tobar (1995) determinaron que a altas densidades de plantación, existe un mayor rendimiento de nopalitos en toneladas por hectárea, pero su tamaño y su peso individual disminuye. Por su parte, Andrade *et al.* (2000) establecen que la tasa de crecimiento del cultivo (creciendo sin otras limitaciones) es directamente proporcional a la radiación incidente y a la capacidad de responder linealmente a esa mayor oferta de radiación, donde dicha capacidad de respuesta se asocia a la arquitectura de la planta, entendiéndose por tal a la disposición geométrica de la planta. Sin embargo, es posible contar con explotaciones de nopal con densidades altas, pero se deben desarrollar prácticas de manejo por medio de las cuales se pueda aprovechar de una manera eficiente esas explotaciones, principalmente para la producción de brotes tiernos para el consumo humano y de forraje en setos (Barrientos y Flores, 1969), considerando además, un análisis económico, dado que será necesario suplementar más abono orgánico, fertilizantes químicos, así como agua en el riego (Flores, 1992).

Rendimiento de nopalitos en peso fresco y peso seco

El análisis de varianza para rendimiento de nopal verdura (nopalitos) en peso fresco y seco, mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los cultivares evaluados, así como entre las diferentes densidades de plantación. Sin embargo, la interacción cultivar por densidad para ambas variables, no mostró diferencias significativas. Bajo este contexto, los cultivares ‘CEN-1’ y ‘SQ1’ presentaron los valores mayores en rendimiento de nopalitos en peso fresco con 10.61 y 9.95 t ha⁻¹; seguido por los cultivares ‘CAL-2’, ‘MEZQ’ y ‘OLA’ con 6.83, 6.60 y 4.27 t ha⁻¹, los cuales mostraron igualdad estadística entre ellos, siendo el cultivar ‘OLA’ el que mostró el menor rendimiento (Cuadro 3). Para la variable peso seco, los cultivares ‘CEN-1’ y ‘SQ-1’ también presentaron los valores mayores con 0.586 y 0.527 t ha⁻¹, respectivamente, seguidos por el cultivar ‘MEZQ’ con 0.413 t ha⁻¹, mientras que el cultivar ‘CAL-2’ mostró igualdad estadística tanto con ‘MEZQ’ como con ‘OLA’, siendo éste último cultivar el que presentó el valor menor en esta variable (Cuadro 3). Los resultados anteriores muestran las diferencias en el rendimiento de nopalito en peso fresco y peso seco de los cultivares, demostrando el diferencial en el potencial genético de cada cultivar, el cual interactúa y responde acorde a las condiciones ambientales bajo las cuales fueron evaluados.

Cuadro 3. Rendimiento de nopalitos en peso fresco y seco de cinco cultivares de nopal, evaluados bajo las condiciones agroecológicas del Valle de La Paz, B.C.S., México. Los valores representan el promedio de 13 cortes (uno por semana). Medias con misma literal en columna no difieren estadísticamente (Duncan $p \leq 0.05$).

Table 3. Yield of green cladodes in fresh and dry weight of five cactus pear cultivars cultivated under agroecological conditions of La Paz, B.C.S., Mexico, valley. The values represent the average of 13 harvests (one per week). Means with the same letter by column are not statistically different (Duncan $p \leq 0.05$).

Cultivares	Rendimiento de nopalitos en peso fresco (t ha ⁻¹ semana)	Rendimiento de nopalitos en peso seco (t ha ⁻¹ semana)
CEN-1	10.61 a	0.568 a
SQ-1	9.95 a	0.527 a
CAL-2	6.8 b	0.326 b,c
MEZQ	6.60 b	0.413 b
OLA	4.27 b	0.240 c

Para el factor densidades de plantación, el rendimiento de nopalitos tanto en peso fresco como en peso seco mostró un incremento significativo conforme aumentó la densidad de plantación. Para rendimiento de nopalitos en peso fresco, los valores mayores se obtuvieron en la densidad de plantación D3 (90,000 plantas ha⁻¹), mostrando igualdad estadística con la D2 (60,000 plantas ha⁻¹) y ésta a la vez, mostró igualdad estadística con D1 (30,000 plantas ha⁻¹), con rendimientos de 9.0, 7.67 y 6.25 t ha⁻¹, respectivamente. Similar respuesta mostró la variable rendimiento de nopalitos en peso seco, donde los valores mayores se presentaron en la D3, la cual mostró igualdad estadística con D2 y ésta a su vez, fue igual estadísticamente a la D1, presentando rendimientos de 0.473, 0.424 y 0.348 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 4). Estos resultados coinciden con los reportados por Barrientos y Flores (1969), García-Velázquez y Grajeda-Gómez (1991), Flores (1992), Tobar (1995) y Murillo-Amador (1996) quienes determinaron que a mayor densidad de plantación, se incrementa el rendimiento de nopalitos en peso fresco y seco. Sin embargo, es necesario considerar otras desventajas que se han detectado como la disminución del tamaño y peso del nopalitos, proteína y la elevación del contenido de fibra al aumentar la densidad de plantación (Flores, 1992; Tobar, 1995). En este contexto, Tobar (1995) establece que el potencial de rendimiento de cada cultivar cuya respuesta muestra interacciones con las densidades de plantación, es una característica que se debe considerar en el momento en que se desee establecer una plantación de nopal con fines comerciales, señalando además que al tomar en cuenta estos dos factores, se establece que un determinado cultivar y una alta densidad de plantación generan un resultado diferente a otro cultivar y con una densidad diferente, en cuanto al número de nopalitos, calidad proteica y contenido de fibra del cladodio. Por su parte, Van de Vooren *et al.* (1986) mencionan que a partir de un determinado nivel de densidad de siembra, la producción por planta disminuye y la producción por unidad de superficie crece, por lo que un incremento de densidad permite alcanzar la cosecha máxima, mientras que densidades excesivas disminuyen los rendimientos al momento de la cosecha. Esta respuesta es posible que se haya presentado en los resultados de la presente investigación, debido a que se encontró igualdad estadística entre las densidades D3 y la D2, observándose solo diferencias contrastantes entre D3 y D1.

Por otro lado, se ha demostrado que a mayores densidades de plantación, se incrementa la tasa de asimilación neta. Este incremento es congruente, ya que existe una relación estrecha de la tasa de asimilación neta y el índice de área foliar (IAF) (Grajeda-Gómez, 1978). El IAF se define como el área foliar por área unitaria de terreno (Beadle, 1988), por lo que las plantas al poseer un mayor índice de área foliar por efecto del incremento en la densidad de plantación, éste se incrementa en una proporción

directa y por lo tanto se manifestará un incremento en la tasa de asimilación neta (Grajeda-Gómez, 1978). En futuras investigaciones con densidades de plantación, será necesario considerar aspectos fisiológicos tales como la capacidad fotosintética, así como los parámetros de crecimiento y de productividad (Acevedo *et al.*, 1983; Nobel y Hartsock, 1983; Nobel y Hartsock, 1986; García de Cortázar y Nobel, 1990; García de Cortázar y Nobel, 1991; Murillo-Amador, 1996; Dubeux *et al.*, 2006). Estos estudios deben considerar que algunos parámetros como el IAF, poseen un valor óptimo, el cual se presenta cuando casi toda la luz disponible ha sido interceptada y la relación de fotosíntesis a respiración es máxima (Verhagen *et al.*, 1963). Además, las plantas CAM, a la cual pertenece el nopal, absorben el CO₂ en la obscuridad pero frecuentemente no a la luz, por lo tanto, al existir mayor cantidad de cladodios (densidades altas de plantación) existirá una mayor captación de CO₂ y síntesis de ácido málico por carboxilación durante la noche, así como el rompimiento de dicho ácido durante el día, con liberación de CO₂ para que se lleve a cabo la fotosíntesis (Nobel y García de Cortázar, 1991; Cui *et al.*, 1993). Sin embargo, es importante discurrir que al aumentar las densidades de plantación y consecuentemente el IAF, puede reducir la fotosíntesis con igual caída de la tasa de asimilación neta, debido a que más allá del IAF óptimo, provoca sombra en los cladodios (Verhagen *et al.*, 1963). Asimismo, se ha encontrado que el rendimiento está altamente influenciado por la densidad de plantas y la intercepción de luz, la cual se encuentra estrechamente relacionada con el índice de área foliar, hasta el valor crítico de IAF que permite interceptar el 95 % de la radiación incidente, por lo que la producción total de materia seca por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad siguiendo una relación asintótica, ya que después de un determinado valor de densidad, el aporte adicional de plantas se compensa por la reducción en el peso individual de las mismas (Watson, 1947).

Cuadro 4. Rendimiento de nopalitos en peso fresco y seco de cultivares de nopal establecidos en tres densidades de plantación bajo las condiciones agroecológicas del Valle de La Paz, B.C.S., México. Los valores representan el promedio de 13 cortes (uno por semana). Medias con misma literal en columna no difieren estadísticamente (Duncan $p \leq 0.05$).

Table 4. Yield of green cladodes in fresh and dry weight of five cactus pear cultivars established in three plantation densities under agroecological conditions of La Paz, B.C.S. Mexico, valley. The values represent the average of 13 harvests (one per week). Means with the same letter by column are not statistically different (Duncan $p \leq 0.05$).

Densidades (plantas ha ⁻¹)	Rendimiento de nopalitos en peso fresco (t ha ⁻¹)	Rendimiento de nopalitos en peso seco (t ha ⁻¹)
90,000	9.03 a	0.473 a
60,000	7.67 a,b	0.424 a,b
30,000	6.25 b	0.348 b

CONCLUSIONES

Los cultivares ‘CEN-1’ y ‘SQ-1’ presentaron los mayores rendimientos de nopalitos en peso fresco y seco, caracterizándose como cultivares promisorios para la producción de verdura en la zona de estudio. Los mayores rendimientos de nopalitos en peso fresco y seco en todos los cultivares evaluados se presentaron en la densidad D3 (90,000 plantas ha⁻¹), estableciéndose que a mayor densidad de plantación, se incrementa la producción de nopalitos por unidad de superficie. El cultivar ‘OLA’ mostró una velocidad de crecimiento mayor. Sin embargo, no mostró mayor rendimiento en peso fresco y seco de nopalitos con respecto al resto de los cultivares. Estos resultados sugieren que para el Valle de La Paz, B.C.S., México, se recomienda plantar los cultivares ‘CEN-1’ y ‘SQ-1’ si el interés es obtener mayor rendimiento, así como el cultivar ‘OLA’ si el interés es obtener nopalitos de tamaño comercial en el menor tiempo. La dinámica de crecimiento (largo y ancho de nopalitos) en las densidades de plantación mostró que tanto largo como ancho de nopalitos, no mostraron los valores mayores conforme se incrementó la densidad de plantación, sino lo contrario. Considerando que el rendimiento tanto en peso fresco como en peso seco fue mayor conforme se incrementó la densidad de plantación pero que el tamaño de los nopalitos redujo a mayores densidades, se sugiere utilizar la densidad de plantación media (60,000 plantas ha⁻¹). Los resultados del presente estudio con respecto a cultivares y densidades de plantación, permitirán a los productores de nopal de la región, definir y seleccionar el cultivar con los rendimientos de nopalitos mayores, así como la mejor densidad de plantación en un sistema de producción intensiva.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece los apoyos institucionales de la Universidad Autónoma de Baja California Sur y del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (proyectos SAGARPA-CONACYT CO1-14 y ZA3.1) para realizar y difundir los resultados de la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo, E., Badilla, I., Nobel, P.S. 1983. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiol.* 72:775-780.

Andrade, F.H., Aguirrezábal, L.A.N., Rizzalli, R.H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. *En: bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Editorial Médica Panamericana. Balcarce, Argentina. pp:61-96.

Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, Barrios, E. (eds.). 1999. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO. Producción y protección vegetal No. 132. 222 p.

Barrientos, P.F. y Flores de Cortázar, V. 1969. Observaciones en un clon de nopal forrajero (*Opuntia ficus indica* Mill) variedad Copena F1. Colegio de Postgrado. Mimeografiado. Chapingo, México.

Barros, C., Buenrostro, M. 1998, El maravilloso nopal: sus propiedades alimenticias y curativas. Edit. Grijalbo, S.A. de C.V. México, D.F. 243 p.

- Beadle, C.L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 17-21. *En*: Coombs, J., Hall, D.O., Long, S.P., Scurlock, J.M. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 258 p.
- Borrego-Escalante, E., Burgos-Vázquez, N. 1986. El nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 202 p.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. 2ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. Vol. 1. 743 p.
- Bucio, A.L. 1963. El Mejoramiento del nopal en México. Conferencia en la Soc. Mexicana de Historia Natural. Mimeografiado. México, D.F., México.
- Castilla, P.N. 2001. Manejo del cultivo intensivo con suelo. *En*: Nuez, F. El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 189-225.
- CONAZA. 1992. Nopal cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Edit. Comisión Nacional de las Zonas Áridas, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de la Reforma Agraria. Saltillo, Coahuila, México. 50 p.
- Cruz, H.P, García, S. 1977. Nopal tunero para el área semidesértica del Valle de Vasequillo, Puebla, México. SARH-INEA. No-91. México. 30 p.
- Cui, M., Miller, P.M., Nobel, P.S. 1993. CO₂ exchange and growth of the crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* under elevated CO₂ in open-top chambers. *Plant Physiol.* 103:519-524.
- De la Rosa-Hernández, J.P., Santana-Amaro, D. 1998. El Nopal, usos, manejo agronómico y costos de producción en México. CONAZA-UACH-CIESTAAM. México. 182 p.
- Dubeux, J.C.B. Jr., Ferreira dos Santos, M.V., Andrade-Lira, D., Cordeiro dos Santos, D., Farias, I., Lima, L.E., Ferreira, R.L.C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *J. of Arid Environ.* 67(3):357-372.
- Flores, V.G. 1992. Respuesta de producción de nopalitos y de pH de cuatro genotipos de nopal (*Opuntia* spp.) tolerantes a heladas a tres densidades en invierno. Tesis de ingeniero agrónomo fitotecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- Flores-Hernández, A. 1994. El nopal (*Opuntia* spp.). Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. Folleto de Divulgación. 16 p.
- Flores-Hernández, A. 2002. Manejo del agua en el cultivo del nopal. p. 14-20. *En*: Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E. (eds.). Actualización en el manejo del cultivo del nopal. Segundo taller de divulgación y actualización sobre nuevos cultivos para zonas semiáridas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 42 p.
- Flores-Hernandez, A., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Garcia-Hernandez, J.L., Troyo-Dieguez, E. 2004a. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agric. Water Management.* 70(2):97-107.

- Flores-Hernández, A., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Valdez-Cepeda, R.D., García-Hernández, J.L. 2004b. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 6:23-34.
- Flores-Hernández, A., Trejo-Calzada, R., Arreola-Avila, J.G., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Rivera-González, M., Martínez-Rodríguez, J.G., García-Gallegos, E.A. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia* spp.) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 7:84-96.
- García de Cortázar, V., Nobel, P.S. 1986. Modeling of PAR intercepting and productivity of a prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica* L. at various spacings. *Agron. J.* 78(1):80-85.
- García de Cortázar, V., Nobel, P.S. 1990. Worldwide environmental productivity indices and yield predictions for a CAM plant, *Opuntia ficus-indica*, including effects of doubled CO₂ levels. *Agricultural and Forest Meteorology*. 49(4):261-279.
- García de Cortázar, V., Nobel, P.S. 1991. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. *Agricultural and Forest Meteorology*. 56(3):261-272.
- García-Velázquez, A., Grajeda-Gómez, J.E. 1991. Cultive nopal para verdura. Segunda reimpresión. Folleto de divulgación. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Chapingo, México. 18 p.
- Grajeda-Gómez, 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. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 94 p.
- Granados-Sánchez, D. y Castañeda-Pérez, A.D. 1991. El nopal: historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Edit. Trillas, México, D.F. 227 p.
- INEGI. 2004. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. Edición 2004. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 243 p.
- Jarma, A., Buitrago, C., Gutiérrez, S. 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista COMALFI*. 26(1-3):62-73.
- Mondragón-Jacobo, C., Pérez-González, S. (eds.). 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO. Producción y protección vegetal No. 169. 172 p.
- Monterrubio, R. 1997. Experiences of the Monterrubio Company in production and marketing of cactus pears and nopalitos. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2:81-85.
- Murillo-Amador, B. 1996. Parámetros fisiotécnicos de eficiencia y productividad de nopal para verdura (*Opuntia* spp.) bajo condiciones de producción intensiva. Tesis de maestría en fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 113 p.
- Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez E., Nieto-Garibay A., Aguilar-García M. 2002. El nopal: cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 97 p.

- Murray-Prinsant, G. 1997. El poder curativo del nopal. Edit. Selector, S.A. de C.V. México, D.F. 160 p.
- Nobel, P.S., García de Cortázar, V. 1991. Growth and predicted productivity of *Opuntia ficus-indica* for current and elevated carbon dioxide. *Agron. J.* 83(1):224-230.
- Nobel, P.S., Hartsock, T.L. 1983. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiol.* 71(1):71-75.
- Nobel, P.S., Hartsock, T.L. 1986. Environmental influences on the productivity of three desert succulents in the South-Western United States. *Plant-Cell and Environ.* 9(9):741-749.
- Orona-Castillo, I. 2001. Corte y manejo post-cosecha de nopalito. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Desplegable No. 13. Gómez Palacios, Durango, México. 4 p.
- Orona-Castillo, I., Flores-Hernández, A., Rivera-González, M. 2000. Manual para el establecimiento y manejo del nopal verdura bajo riego por goteo en la Comarca Lagunera. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México. 18 p.
- Pareek, O.P., Singh, R.S., Vashishtha, B.B. 2003. Performance of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] clones in hot arid region of India. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* 7:121-130.
- Pargas-Lara, R. 1997. Tecnología de producción y aprovechamiento del nopal. Curso para productores. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agronomía. UABCS-DGETA-SAGAR. La Paz, Baja California Sur, México. 30 p.
- Pargas-Lara, R., Pargas-Aguila, J.R. 2003. Investigación, difusión y tecnología sobre nopal en la UABCS. pp. 255-268. *En:* Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J.L. (eds.). *El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.* Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293 p.
- Plan Estatal de Desarrollo 2005-2001. 2005. Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 366 p.
- Roberts, M.J., Long, S.P., Tieszen, L.L., Beadle, C.L. 1988. Medición de la biomasa vegetal y de la producción primaria neta. Pp. 1-16. *En:* Coombs, J., Hall, D.O., Long, S.P., Scurlock, J.M. *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad.* Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 258 p.
- Rodríguez, L. 2000. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Revista COMALFI* 27(1-2):31-38.
- SAGARPA-SIAP. 2006. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes 2006. Modalidad: riego + temporal. México. <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 12 de noviembre de 2007.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. 759 p.
- Singh, Gurbachan. 2003. General review of *Opuntias* in India. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* 5:30-46.

StatSoft, Inc. 2001. *STATISTICA*. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.

Tobar, R.R. 1995. Producción de verdura (rendimiento y calidad) de cuatro genotipos de nopal (*Opuntia* spp.), considerando cinco densidades de plantación, dos fertilizaciones orgánicas y túneles de polietileno. Tesis de ingeniero agrónomo en horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 61 p.

Van de Vooren, J.G., Welles, W.H., Hayman, G. 1986. Glasshouse crop production. *In: the tomato crop*. Chapman and Hall. London, England. pp. 581- 623.

Verhagen, A.M., Wilson, J.H., Britten, E.J. 1963. Plant production in relation to foliage illumination. *Ann. Bot.* 27:627-640.

Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of yield crops. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. *Ann. Bot.* 11:41-76.

Zuñiga-Tarango, R., Vázquez-Alvarado, R.E., Salazar-Sosa, E. 1999. Patrón de desarrollo radical de nopal en diferentes condiciones de suelo y su relación con el rendimiento. pp. 12-13- *En: Aguirre-Rivera, J.R., Reyes-Agüero, J.A. (eds.). Memoria. VIII congreso nacional y VI internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. 389 p.*