

ISSN 1014-1227
ISBN 92-5-304705-4
ESTUDIO FAO PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN
VEGETAL
169

El nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje

Editado por

Candelario Mondragón-Jacobo

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)
México

y

Salvador Pérez-González

Universidad Autónoma de Querétaro
México

Coordinación de FAO por

Enrique Arias y Stephen G. Reynolds

Servicio de Cultivos y Pastos

Dirección de Producción y Protección Vegetal

y

Manuel D. Sánchez

Grupo de Recursos de Piensos

Dirección de Producción y Sanidad Animal

Esta publicación fue producida en el marco de la
Red internacional de cooperación técnica del nopal

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA
ALIMENTACIÓN
Rome 2003**

[Indice](#)

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen
--

presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe del Servicio de Gestión de las Publicaciones de la Dirección de Información de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

© FAO 2003

Indice

PRÓLOGO

PREFACIO

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN

STEPHEN G. REYNOLDS Y ENRIQUE ARIAS JIMÉNEZ

HISTORIA DEL USO DE OPUNTIA COMO FORRAJE EN MÉXICO

MARCO ANTONIO ANAYA PÉREZ

ECOFISIOLOGÍA DE OPUNTIA FICUS-INDICA

PARK S. NOBEL

RECURSOS GENÉTICOS Y MEJORAMIENTO DE OPUNTIA PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE

CANDELARIO MONDRAGÓN JACOBO Y SALVADOR PÉREZ GONZÁLEZ

PRODUCCIÓN Y USO DE OPUNTIA COMO FORRAJE EN EL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

JUAN JOSÉ LOPEZ GARCÍA, JESÚS MANUEL FUENTES RODRÍGUEZ

OPUNTIA COMO FORRAJE EN EL NORESTE SEMIÁRIDO DEL BRASIL

DJALMA CORDEIRO DOS SANTOS Y SEVERINO GONZAGA DE ALBUQUERQUE

OPUNTIA COMO ALIMENTO PARA RUMIANTES EN CHILE

PATRICIO AZOCAR

OPUNTIA SPP. PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN ARGENTINA: EXPERIENCIAS Y PERSPECTIVAS

JUAN C. GUEVARA Y OSCAR R. ESTÉVEZ

OPUNTIA FORRAJE ESTRATÉGICO Y HERRAMIENTA EFICIENTE PARA COMBATIR LA DESERTIFICACIÓN EN LA REGIÓN WANA

ALI NEFZAQUI Y HICHEM BEN SALEM

VALOR NUTRICIONAL DE OPUNTIA FICUS-INDICA COMO FORRAJE DE RUMIANTES EN ETIOPIA
FIREW TEGEGNE

EL USO DEL NOPAL COMO FORRAJE EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE SUDÁFRICA
GERHARD C. DE KOCK

EL CULTIVO DE OPUNTIA PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE: DE LA REFORESTACIÓN AL CULTIVO HIDROPÓNICO
CANDELARIO MONDRAGÓN JACOBO, SANTIAGO DE J. MÉNDEZ GALLEGOS Y GENARO OLMOS OROPEZA

LITERATURA CITADA

Anexo 1 – SITIOS DE INTERNET CON INFORMACIÓN DE NOPAL

Anexo 2 – LÁMINAS DE COLOR

CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

CUBIERTA POSTERIOR

PRÓLOGO

El género *Opuntia* ha sido utilizado en México desde tiempos pre-hispánicos, y junto con el maíz (*Zea mays*) y el agave (*Agave* spp.), constituyeron una pieza clave en la economía agrícola de la civilización Azteca.

En años recientes se ha incrementado el interés en diversas especies de *Opuntia*, debido al papel sobresaliente que juegan –y que seguramente jugarán– en el éxito de sistemas de agricultura sustentables en áreas marginales de zonas áridas y semiáridas.

El género *Opuntia* se adapta fácilmente a las zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y tierras pobres sujetas a erosión, gracias a que han desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales con el fin de mantener su desarrollo en este ambiente adverso. Entre algunas de sus notables adaptaciones, podemos encontrar su reproducción asincrónica, y su Metabolismo del Ácido Crasuláceo, que le permiten crecer con un alto nivel de eficiencia bajo condiciones limitadas de agua.

Las especies de *Opuntia* pueden contribuir particularmente en tiempos de sequía, funcionando como cosechas “salva vidas” de humanos y animales. Además, constituyen una fuente de energía altamente digerible, y proveen de agua y minerales, que al ser combinados con una fuente de proteína, representan una alimentación completa.

En 1995, la FAO publicó un libro sobre *Agro-ecología, cultivo y usos del nopal*, a través de la CACTUSNET, la red internacional de cooperación técnica en cactus, con solamente un capítulo dedicado al uso de *Opuntia* como forraje. La presente publicación, también preparada a través de CACTUSNET, se enfoca primordialmente, al uso de *Opuntia* como forraje y presenta resultados recientes de investigación y desarrollo.

La preparación de este libro fue coordinada por Enrique Arias y Stephen Reynolds de los Grupos de Horticultura, Forrajes y Pastizales de la División de Protección y Producción de Plantas; y por Manuel Sánchez del Grupo de Recursos de Piensos de la División de Producción y Sanidad Animal.

E. Kueneman

H. Kudo

Jefe del Servicio de Cultivos Forrajeros Jefe del Servicio de Producción Animal
División de Protección y Producción Vegetal División de Producción y Sanidad Animal

PREFACIO

Hacia finales de 1990, alentado por la Embajada de México en Roma, una delegación mexicana formada por investigadores, técnicos y oficiales del sector agricultura federal, visitaron la isla de Sicilia en Italia; con el objetivo de negociar acuerdos de intercambio de información entre ambos países respecto al cultivo y uso de *Opuntia*. Al llegar la delegación a la isla, se observó un desarrollo espectacular de *Opuntia*, lo cual es sorprendente dado que el cultivo formal de *Opuntia* inició apenas en el siglo XIX.

Un año después, se realizó el *Simposio Internacional del Nopal*, con participantes de Chile, Italia, México y Estados Unidos, en Lagos de Moreno (Jalisco, México), con el propósito de alentar a investigadores y productores a incrementar la cooperación entre países participantes y a difundir la información acerca de la importancia de la *Opuntia*.

Como seguimiento de esta reunión, se propuso crear una Red Internacional de Cooperación Técnica en cactus (Internacional Technical Cooperation Network on Cactus Pear-CACTUSNET). La propuesta fue presentada en una sesión especial del *Segundo Simposio Internacional de Opuntia*, realizado en Santiago, Chile, en 1992. CACTUSNET fue establecido bajo el auspicio de la FAO (Food and Agricultural Organization), en una reunión organizada por la Universidad de Guadalajara, México, en Agosto de 1993, con la participación de 10 países de América, Asia y Europa. Posteriormente, varios países Africanos se integraron a CACTUSNET.

Gracias a la cooperación voluntaria de miembros de CACTUSNET de regiones áridas, fue posible iniciar una base de datos en países productores de *Opuntia*. A finales del siglo XX, el área de cultivo de *Opuntia* alcanzó las 900 000 hectáreas, sobrepasando en gran medida el área de frutales (100 000 hectáreas). Para los agricultores de zonas áridas, plantar *Opuntia* es una solución para el problema de sequías recurrentes. La succulencia y el valor nutritivo de *Opuntia* la convierten en un cultivo de emergencia importante, permitiendo a ganaderos en Brasil, México, Sudáfrica y Estados Unidos sobrevivir sequías severas y prolongadas.

Cabe mencionar que la mayor parte de los autores de este libro son técnicos y científicos con amplia experiencia en el cultivo y uso de *Opuntia* como forraje en sus respectivos países. Esta publicación fortalece y amplía la información ya escrita sobre *Opuntia*, ya que muchas de las publicaciones existentes han enfatizado su uso como fruta.

Finalmente, me gustaría informar que la difusión de información de especies como *Opuntia*, permiten valorar su importancia para combatir la sequía a corto plazo, mientras que a mediano plazo, *Opuntia* puede constituir una importante alternativa para contrarrestar cambios climáticos globales y desertificación. Otros beneficios provenientes de *Opuntia* son la conservación del suelo y el agua, así como la protección de la fauna local en zonas áridas y semiáridas.

La publicación de este libro es oportuna, y refleja uno de los objetivos básicos de CACTUSNET, que es la difusión del conocimiento técnico y científico de *Opuntia*.

Dr. Eulogio Pimienta
Universidad de Guadalajara, México
Primer Coordinador General de CACTUSNET

AGRADECIMIENTOS

Para la preparación de esta revisión en Ecofisiología, Park Nobel agradece el apoyo de la Universidad de California, Los Angeles –Programa de Cooperación Ben Gurion, gracias al generoso obsequio del Dr. Sol Leshin. Asimismo, se agradece ampliamente la asistencia financiera otorgada por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Cuyo, para la investigación reportada en el trabajo de Juan C. Guevara y Oscar R. Estévez. Severino Gonzaga de Albuquerque, co-autor del capítulo “El Uso del Nopal como Forraje en el Noreste Semiárido de Brasil”, agradece profundamente a su padre, César Gonzaga – un productor convencido del potencial de la *Opuntia*, quien falleció durante la realización de este trabajo. La edición final, así como el formateo y producción fueron realizados por Thorgeir Lawrence.

Introducción

STEPHEN G. REYNOLDS Y ENRIQUE ARIAS JIMÉNEZ¹¹

ANTECEDENTES GENERALES DE *OPUNTIA*

El uso humano de *Opuntia* se realizó en México desde épocas prehispánicas, donde jugaron un importante papel en la economía agrícola del imperio Azteca. El maíz (*Zea mays*), el agave (*Agave* spp.), y *Opuntia* (nopal) son las plantas cultivadas más antiguas de México.

Existen tres pasos cruciales en la transición del uso de plantas silvestres a cultivos planeados:

- la recolección de plantas silvestres;
- cultivo de plantas (silvestres) cerca de asentamientos humanos, y
- cultivo de variedades, alteradas por métodos de propagación selectiva, en cultivo intensivo con el propósito de mercadeo.

Opuntia es ahora parte del paisaje natural y de los sistemas agrícolas de muchas regiones del mundo. Típicamente, existen tres sistemas principales de producción: comunidades de cactus silvestre, huertas familiares, y plantaciones comerciales intensivas. Las *Opuntias* se han adaptado perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión. Funcionando como cosechas vitales en casos de sequía extremos para humanos y animales. Algunas especies son inclusive consideradas como plantas naturalizadas en países como Sudáfrica y Australia, donde las condiciones ambientales son particularmente favorables.

En años recientes, se han intensificado las plantaciones para fruta o producción de forraje, así como paravegetales o nopalitos y cochinilla, en muchos países de África, América, Asia y Europa. Hay un creciente interés por *Opuntia*, con énfasis en *O. ficus-indica*, y en el importante papel que desempeñan y seguramente seguirán proponiendo para el éxito de sistemas agrícolas sustentables en zonas áridas y semiáridas, donde agricultores y ganaderos deben concentrarse en aquellas especies que pueden no solo sobrevivir sino producir económicamente. Así, *Opuntia*, se ha convertido en un recurso inagotable de productos y usos, inicialmente como planta silvestre, y después, como cultivo de subsistencia y comercial; contribuyendo a la seguridad alimenticia de poblaciones en áreas agrícolas marginadas.

BOTÁNICA

Existen casi 300 especies del género *Opuntia* (Scheinvar, 1995). Solamente en México, Bravo (1978) registró 104 especies y variedades.

De acuerdo con Scheinvar (1995), el nombre "*Opuntia*" viene de un antiguo pueblo griego en la región de Leocrid, Beocia: *Opus*, u *Opuntia*, en donde Tournefort encontró una planta con espinas que le recordó a la *Opuntia* americana, que incluye 11 subgéneros: *Opuntia*, *Consolea*, *Austrocylindropuntia*, *Brasilopuntia*, *Corynopuntia*, *Cilindropuntia*, *Grusonia*, *Marenopuntia*, *Nopalea*, *Stenopuntia* y *Tephrocactus*.

La taxonomía es complicada por diferentes razones: sus fenotipos, que varían en gran medida de acuerdo a las condiciones ecológicas y la poliploidía, con un gran número de poblaciones que se reproducen vegetativa y sexualmente; así como a la existencia de numerosos híbridos interespecíficos. Ya que casi todas las especies florecen durante el mismo período del año y no hay barreras biológicas que las separen.

Scheinvar (1995) menciona nueve especies silvestres de *Opuntia* (*O. hyptiacantha* Web; *O. joconostle* Web; *O. lindheimeri* (Griff. y Haare) Bens.; *O. matudae* Scheinv.; *O. robusta* Wendl. var. *robusta*; *O. sarca* Griff. ex Scheinv.; *O. streptacantha* Lem.; *O. tomentosa* SD. var. *tomentosa* y var. *herrerae* Scheinv.) y tres especies cultivadas (*O. albicarpa* sp. nov.; *O. ficus-indica* (L.) Mill.; *O. robusta* Wendl. var. *larreyi* (Web.) Bravo), así como una especie cultivada del subgénero *Nopalea* (*O. cochenillifera* (L.) Mill.), y ofrece descripciones detalladas de cada una.

La evolución de los miembros de los subgéneros de *Opuntia* en ambientes áridos y semiáridos ha conducido al desarrollo de diversas características de adaptación anatómica, morfológica y fisiológica; y estructuras particulares de plantas, como fueron descritas por Sudzuki Hills (1995).

Las especies del subgénero *Opuntia* spp. han desarrollado adaptaciones estructurales, fenológicas y fisiológicas favorables para su desarrollo en ambientes áridos, donde el agua es la principal limitante en la mayoría de los vegetales. Su adaptación más notable es su reproducción asincrónica, y su Metabolismo del Ácido Crasuláceo (MAC), el cual, combinado

con adaptaciones estructurales, tales como la succulencia, le permiten sobrevivir largos períodos de sequía, y alcanzar niveles de producción aceptables inclusive en años de sequías realmente severas.

TERMINOLOGÍA

En este libro, el término *Opuntia* se usa al referirse al género completo, donde el más conocido es *Opuntia ficus-indica*. Previamente, *Opuntia* fue usado indistintamente para referirse tanto a la planta como a la fruta.

Otros términos importantes utilizados en el presente libro incluyen:

- nopal – planta de *Opuntia* (principalmente en México)
- notuatl – la palabra mexicana original (en tiempos aztecas) para *Opuntia*
- cladodio – órganos que forman el tallo o brotes
- nopalitos – cladodios jóvenes utilizados como verdura
- nopalli – planta de la *Opuntia* en náhuatl
- tuna – fruta del nopal *Opuntia*
- nochtli – fruta de *Opuntia*
- jarabe – un líquido azucarado producto de la fruta
- melcocha – mermelada
- miel de tuna
- nocheztli – tinte rojizo de mucho valor obtenido del cuerpo de la cochinilla (*Dactylopius coccus*) que vive en algunas *Opuntias*. Llamado *grana cochinilla* por los primeros españoles en México, ahora llamado simplemente cochinilla.
- queso de tuna - dulce elaborado con jugo procesado de la tuna
- tenochtli – *Opuntia* sagrada en el México antiguo
- tun/tunas – palabra caribeña para fruta o semilla

Opuntia ficus-indica

Nombres comunes:

- Español: nopal, cardón, chumbera, chumbo, chumbua, higo chumbo, higo de pala, higuera de pala, higo México, nopal de castilla, tuna de España, tuna española, tuna mansa, tuna, tuna real.
- Portugués: palma forrageira, figo da India, figo da pitoira, figueira da India, palmatoria sem espinhos, tabaído.
- Inglés: barbary fig, Indian fig, prickly-pear, cactus pear
- Francés: chardon d'Inde, figue de Barbarie, figuer á raquettes, figuier d'Inde, opunce, raquette.
- Italiano: fichi d'India
- Alemán: frucht des feigenkactus, Indianische feige.

CACTUSNET

Atendiendo la petición de varios países miembros se creó una red internacional, la CACTUSNET, establecida en Guadalajara, México, 1993, bajo los auspicios de la FAO, con la idea de incrementar la cooperación entre científicos, técnicos y productores de diferentes países, y para facilitar el intercambio de información, conocimiento y cooperación técnica sobre *Opuntia*. La cooperación en la colección, conservación, evaluación y uso de los recursos genéticos germoplasma. Asimismo, así como la promoción de los beneficios ecológicos y sociales de la *Opuntia* también son objetivos de la red. Desde entonces se han integrado un total de 22 países. A partir de Octubre del año 2000, la Universidad de Guadalajara en México, y las Universidades de Reggio Calabria y de Palermo en Italia, han organizado la coordinación general, con la coordinación del Instituto Nacional para Investigación Agrícola en Túnez. Las reuniones se llevan a cabo cada cuatro años, en conjunción con el Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla. Además, se han realizado reuniones regionales y de grupos de trabajo en Angola, Argentina, Chile, Italia, México, Perú y Sudáfrica sobre varios otros temas, entre los que destacan factores post-cosecha, recursos genéticos, cochinilla, forraje, producción frutal, etc.

Algunos de los resultados tangibles de la cooperación a través de CACTUSNET, han sido la publicación en 1995, del libro en la FAO: "Agroecology and uses of cactus pear" (*Agro-ecología, cultivo y usos del nopal*), el cual ya ha sido traducido al español y actualmente esta siendo traducido al árabe. Así como la producción de la Lista de Descriptores de los recursos genéticos de *Opuntia*, y la Gaceta anual de CACTUSNET (CACTUSNET Newsletter). La quinta edición, publicada en marzo del 2000, se enfocó al uso de *Opuntia* como forraje y esta disponible en la página web del Grupo de Pastizales de la FAO: <http://www-data.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/publicat/Cactusnt/cactus1.html>

La presente publicación es también un ejemplo de la cooperación voluntaria de instituciones públicas y privadas que participan en CACTUSNET.

OPUNTIA COMO FORRAJE

Felker (1995) nos ha ofrecido una excelente introducción al uso de la *Opuntia* como forraje y una síntesis de recomendaciones para el uso del cactus y el manejo de alimentación de ganado. Donde se citan excelentes reseñas regionales que cubren los usos del cactus como forraje en el Norte de África (Monjauze y Le Houerou, 1965), Sudáfrica (De Kock, 1980; Wessels, 1988), México (e.g. Flores y Aguirre, 1979; Fuentes, 1991), Brasil (Dominguez, 1963) y Estados Unidos (e.g. Russell y Felker, 1978 a, b; Hanselka y Paschal, 1990). El trabajo de Griffiths en Texas, durante las primeras dos décadas del siglo pasado, constituyó también el inicio en el cultivo de *Opuntia* como forraje.

Opuntia es particularmente atractiva como alimento por su eficiencia al convertir el agua en materia seca, y por tanto, en energía digestible (Nobel, 1995). Este cacto es útil no solo porque sobrevive a las sequías, sino también por su conversión es más eficiente que la de pastizales C₃ y las plantas C₄ de hoja ancha. La generación de biomasa por unidad de agua es en promedio tres veces más alta que en plantas C₄, y cinco veces más que en plantas C₃. Bajo condiciones óptimas, los diferentes tipos de plantas pueden producir cantidades similares de materia seca por área de superficie, pero bajo condiciones áridas y semiáridas, las plantas CAM son superiores a las C₃ y C₄.

Los cactus, y específicamente *Opuntia* spp., han constituido una fuente de forraje extremadamente útil en tiempos de sequía, primordialmente porque proveen de energía digerible, agua y vitaminas no solo para el ganado, pues también ha sido usada como forraje para cerdos. Sin embargo, debe ser combinado con otros alimentos para complementar la dieta diaria, debido a que *Opuntia* tiene bajos contenidos de proteína, a pesar de ser rica en carbohidratos y calcio. Ya que crece en tierras severamente degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas donde muy pocos cultivos logran desarrollarse y producir. Se estima que, alrededor del mundo, se cultivan 900 000 hectáreas de *Opuntia* para producción de forraje.

Mientras las variedades sin espina necesitan protegerse contra los herbívoros, las variedades más tolerantes al frío con espinas no requieren de tanta protección. Sin embargo, es necesario quemar las espinas antes de poder utilizarlo como forraje para el ganado.

Felker (1995) señaló la falta de investigación y desarrollo serios, y sugirió áreas prioritarias para realizar investigaciones sobre el uso de *Opuntia* como forraje.

PREOCUPACIONES AMBIENTALES

Opuntia spp. está siendo utilizada en programas para prevenir la erosión del suelo y combatir la desertificación, ya que tiene una gran capacidad de adaptación en tierras pobres, inapropiadas para otro tipo de cultivos, y son ideales para responder a los cambios ambientales globales, como el incremento en los niveles del CO₂ atmosférico. *Opuntia* también es importante para cubrir regiones áridas y semiáridas, debido a que las distintas especies pueden sobrevivir y extenderse bajo condiciones de lluvia escasa y errática, así como altas temperaturas, y desempeñan también un importante papel en la protección de la fauna local.

Sin embargo, esta capacidad de adaptación y rápida expansión han causado problemas, principalmente en donde se introdujo y se ha desarrollado en la ausencia de enemigos naturales y manejo apropiado, para convertirse en maleza nociva en varios países. En la publicación de la FAO de *Agro-ecología, cultivo y usos de la tuna*, un capítulo escrito por Brutsch y Zimmermann fue enfocado a las especies silvestres que amenazaban los recursos genéticos de las plantas nativas, y también a los medios de control integrados mecánicos, químicos o biológicos que se han desarrollado. El control biológico ha sido particularmente exitoso en lugares como Australia y Sudáfrica. Sin embargo, los problemas de países desarrollados no son necesariamente los mismos que en los países menos desarrollados, pues lo que podría ser considerado como maleza en unos países, puede ser una fuente económica importante de alimentación en otros. Por lo que diferentes países e inclusive diferentes áreas dentro del país, pueden tener visiones diferentes de la *Opuntia*.

Este libro enfatiza a *Opuntia* como un valioso recurso natural, que no es aprovechado al máximo en muchos países, pero que puede proveer de forraje a ganado, y contribuir con las actividades económicas para la seguridad alimenticia de poblaciones en áreas agrícolas marginadas.

PROPÓSITO DEL LIBRO

Varias publicaciones han tratado el tema de *Opuntia*. Anteriormente, a través de CACTUSNET, la FAO publicó *Agroecología, cultivo y usos de la tuna*. La presente publicación enfoca primordialmente el uso de *Opuntia* como forraje, y su objetivo es presentar resultados e investigaciones en un solo volumen. Aquí se incluyen desde los relacionados con los primeros usos de la *Opuntia* como forraje en México y su ecofisiología, así como sobre recursos genéticos y cultivo para la producción de forraje en México, Brasil, EUA, Chile, Argentina, Asia Occidental y el Norte de África, Etiopía y Sudáfrica. El capítulo final trata de la producción de *Opuntia* bajo condiciones de hidroponía, seguida por una bibliografía extensa y anexos de sitios de Internet relacionados. Esperamos que el presente libro logre su propósito al proveer a los lectores con una referencia actual en el uso de *Opuntia* como forraje para ganado, recopilando en un volumen los trabajos previos y actuales, y planteando las perspectivas sobre el futuro de la especie.

^[1] Stephen G. REYNOLDS. Enrique ARIAS JIMENEZ Grupo de Pastizales y Cultivos Forrajeros
División de Producción y Protección Vegetal, FAO

Historia del uso de *Opuntia* como forraje en México

MARCO ANTONIO ANAYA PÉREZ^[2]

INTRODUCCIÓN

Opuntia, llamada nopal tunero en México, o solamente tuna como usualmente se conoce en el comercio, es una planta típica dentro del paisaje mexicano, y un importante símbolo de identidad para los mexicanos. Junto con el maíz y el agave, *Opuntia* ha sido un alimento básico y en el desarrollo cultural, como fue en el establecimiento de los grupos chichimecas del centro y norte del país.

Complementario a su importancia como alimento, estaban también sus usos como medicina, bebida, fuente de pigmentos, y como objeto de prácticas mágico-religiosas. Los *tlacuilos* (historiadores nativos del México pre-colombino, quienes usaban pictogramas para registrar eventos), cronistas, viajeros, historiadores y científicos han dejado testimonio de esto. Sin embargo, la importancia económica de *Opuntia* como forraje no fue percibida durante el período colonial español, o inclusive después de la Independencia.

Los pocos registros del uso de *Opuntia* durante las eras coloniales y de post-independencia indican que era usada como alimento para animales, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país. Su uso se incrementó a principios del siglo XVII con la introducción del ganado a las áreas semiáridas y la subsiguiente disminución de pastizales. La situación obligó a los ganaderos a cortar los cladodios de *Opuntia* y, después de quemar las espinas, usarlo para alimentar al ganado, especialmente durante las sequías.

En la segunda mitad del siglo XX, el gobierno de México y algunas instituciones educativas comenzaron a reconocer la importancia del cultivo de *Opuntia*, particularmente para forraje. El Colegio de Posgraduados liberó algunas variedades mejoradas para detener la sobre-explotación de poblaciones silvestres de *Opuntia*, asociado con la alimentación intensiva de ganado durante sequías o como complemento regular de la dieta. Se promovieron plantaciones de *Opuntia* en apoyo a programas de reforestación y recuperación extensas áreas degradadas, con el propósito de controlar la desertificación. Desafortunadamente, hay pocos estudios sobre la historia de la *Opuntia*, con la excepción de la cochinilla, por lo que este capítulo presenta un breve registro del uso de la *Opuntia* como forraje en México.

ORIGEN

Según Flannery (1985), entre el final del Pleistoceno (ca. 100 000 años A.C.) y el principio del quinto milenio A.C., los grupos indígenas prehistóricos de los valles semiáridos de los estados de Hidalgo, México, Guerrero, Puebla y Oaxaca, comenzaron a cultivar una serie de plantas nativas, que después se convirtieron en la alimentación básica de las antiguas civilizaciones de América central. Por siglos, estos nativos americanos vivieron como nómadas, descubriendo qué plantas recolectar y consumir, cómo tostar la *Opuntia* y el agave para hacerlos comestibles, y cómo extraer el jarabe del mezquite (*Prosopis* spp.). El cultivo de frijoles, calabazas, *huatli* (*Amaranthus* sp.), chiles, aguacates, tomates, y, como Flannery (1985) sugiere, tal vez *Opuntia*, agave, y otras frutas semi-tropicales comenzaron entre 7 500 y 5 000 años A.C.

Desde el arribo del hombre a las zonas desérticas y semi-desérticas de México, aproximadamente hace 20 000 años, la especie *Opuntia* ha sido una fuente importante de alimentación, y como bebida o medicinal. Mucho antes de conocer el manejo hortícola de *Opuntia*, los mexicanos antiguos lo consumían en su forma silvestre. Fray Bernardino de Sahagún, en su trabajo *Historia General de las Cosas de la Nueva España*—escrito durante la primera mitad del siglo XVI— reportó que los nativos americanos vivían por muchos años y eran sanos y fuertes. Su vitalidad, según él, se debía a la dieta, la cual no era cocinada con otras cosas. Ellos comían “hojas de cactus con espinas”, tunas con espinas, raíces, vainas de mesquite, flores de yuca que llamaban *czotl*, miel, conejos, liebres, venados, serpientes y aves (Sahagún, 1997).

Sobre el uso de *Opuntia*, o “árbol sagrado”, como bebida para saciar la sed, Fray Toribio Motolinía dijo, “... estos indios a los que me refiero, debido a que son de una tierra tan infértil que a veces carecen de agua, toman el jugo de estas hojas de *nocpal*...” La fruta fresca y aromática de la *Opuntia*, la tuna, también era utilizada con este propósito; hacían *nocochtlí*, o *pulque* (una bebida fermentada, generalmente hecha de maguey— Nota del traductor). Aunque en realidad la palabra *tuna* se originó en Haití y fue introducida por los españoles durante la conquista.

El Códice De la Cruz-Badiano de 1552 describe que *Opuntia* se usaba para tratar algunas enfermedades del cuerpo humano, como curar quemaduras: “La parte quemada del cuerpo se cura con el jugo del *nopalli* que deberá ser usado junto con miel y yema de huevo...” (Velázquez, 1998).

El género *Opuntia* se extendió desde México a prácticamente todo el continente americano (desde Alberta, Canadá, hasta la Patagonia, Argentina). En 1700, Tournefort propuso el nombre de *Opuntia*, por su similitud con la planta de espinas que crecía en el pueblo de Opus, Grecia (Velázquez, 1998). En México, varias especies del género *Opuntia* de la familia de las

cactáceas son llamadas *nopal*. Todas ellas son endémicas en América, y de las 377 especies reconocidas, 104 son halladas silvestres en México, y 60 son endémicas en México.

Hay pocos estudios de la historia de *Opuntia*, excepto en su asociación con la cochinilla. Tibón (1993), en su *Historia del Nombre y de la Fundación de México*, describe el diagrama realizado por el *tlacuilo* Fray Diego Durán, de la fundación de México *Tenochtitlán*:

“A la izquierda de la colina, una hermosa ave con las alas extendidas se ha posado sobre un nopal y canta, según su pico abierto lo indica. Una gran serpiente de lengua bífida se levanta en dirección de la planta...”

“Así, el *tenochtli*, o nopal de *tunas* rojas, fue desde el principio, el árbol de los corazones humanos. La serpiente que emerge desde las entrañas de la tierra es la noche; el ave que canta sobre el nopal es el águila-sol...”

Es de interés que la planta de *Opuntia*, donde se posó el águila, es conocida con el nombre científico de *Opuntia streptacantha*, que viene de *streptos*, “torcido” y *acantha*, “espinas”. La *tuna lapidea*, según el Dr. Francisco Hernández, es similar en sus flores y fruta, pero posee ramas largas, delgadas y torcidas (Granados y Castañeda, 1991).

A pesar de que las fuentes consultadas para el Período Colonial no mencionan el uso de *Opuntia* como planta de forraje, sin lugar a dudas, durante las sequías que afectaron a la Nueva España, el ganado que se extendió a lo largo del país tuvo que haber consumido *Opuntia*, como se reportó en fuentes de los siglos XIX y XX.

DISTRIBUCIÓN

La distribución geográfica del género *Opuntia* en México, según estudios recientes, refleja la abundancia e incidencia natural en asociaciones, pero las especies más importantes son (Granados y Castellanos, 1991; Flores y Aguirre, 1979):

- O. leucotricha* Guanajuato y el este de San Luis Potosí, con distribución irregular y densidades variables. Entre Santa María del Río y la ciudad San Luis Potosí, así como al sureste de Villa de Arista. Al igual que Zacatecas, con densidades altas en Fresnillo y Calera.

- O. lindheimeri* Con una densidad de hasta 1 000 plantas/ha en General Terán, Salinas, y Otros lugares en el estado de Nuevo León, Así Como en Tamaulipas, Guerrero e Hidalgo.

- O. streptacantha* San Luis Potosí: Zaragoza y el norte de la capital, norte de Bocas y el sureste de Moctezuma. Densidades de entre 200 y 600 plantas/ha se encuentran en San Luis Potosí. En Zacatecas: Noria de los Ángeles, Ojo Caliente, Troncoso y Guadalupe.

Esta distribución indica que la región de Mal Paso, al sureste de la ciudad de Zacatecas, tiene la mayor diversidad de especies de *Opuntia*. En contraste, cronistas e historiadores del período colonial registraron abundancia de *Opuntia* en prácticamente todo el país, desde las crónicas de los viajeros o en los trabajos científicos. La presente distribución incluye Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Nayarit y Coahuila en México, y Texas en los Estados Unidos.

Pedro de Rivera, en su viaje al norte de la Nueva España a principios del siglo XVIII, reportó que: “en la dirección de San Juan del Río, Querétaro, encontró gruesa vegetación de mezquites, *huizaches* (*Prosopis* sp.), y *Opuntia*. En dirección de Ojuelos, Jalisco, cerca de San Miguel el Grande, atravesó un llano con vegetación de roble, mezquite y *Opuntia*. En la frontera entre Nueva Galicia y Nayarit, atravesó montañas rocosas repletas de mezquite, guamuchiles, huizaches y *Opuntia*” (Trabulse, 1992a).

Alexander von Humboldt reportó que Villa de Saltillo, provincia de Coahuila, está localizada en planicies áridas que descienden hacia Monclova, Río Grande, y la provincia de Texas, donde en lugar de encontrar el trigo como en las planicies europeas, encontró solamente campos cubiertos de *Opuntia* (Humboldt, 1984).

MÉXICO COLONIAL

Descripción de la planta de *Opuntia*. La morfología de *Opuntia* sorprendió a los europeos, quienes jamás habían visto a una planta similar, lo que condujo a la mejor descripción que ellos podían presentar. Durante el período colonial, los estudios y registros de *Opuntia* comenzaron con el trabajo de José Antonio Alzate sobre cochinilla. El *nopalli*, fue conocido por los españoles como *nopal*, y su fruta, como *tuna*; sin embargo, en el siglo XVI esta planta fue conocida también como *higuera de Indias*, *higuera de pala*, *tunal de Castilla*, *nopal de Castilla*, *chumbos*, *tuna chumbera*, *tuna mansa* y *tunal* (Rojas y Sanders, 1985).

En 1539, Fray Toribio Motolinia, describiendo sus experiencias en Michoacán, reportó que en esta provincia los *tunales* eran abundantes:

“... son árboles que tienen hojas del grueso de un dedo, algunas más gruesas y otras menos, tan largas como el pie de un hombre, y tan anchas como la palma de la mano...” (Motolinia, 1995)

A mediados del siglo XVI, Fray Bernardino de Sahagún escribió:

“El árbol llamado nopal, tiene hojas grandes y gruesas, y verdes y con espinas; este árbol da flores en las mismas hojas (y) algunas son blancas, otras bermellón, otras amarillas, y otras color carne; producidas en este árbol hay frutas llamadas tunas (que) saben muy bien (y) salen de las mismas hojas...” (Trabulse, 1993).

Al describir la *Opuntia*, Fray Bernardino de Sahagún reportó:

“Hay árboles en esta tierra llamados *nopalli*, lo que quiere decir *tunal*, o árbol con tunas; es un árbol monstruoso, el tronco se compone de hojas, y las ramas también se forman de las mismas hojas; las hojas son gruesas, jugosas y viscosas; las mismas hojas tienen muchas espinas... Las hojas de este árbol se comen crudas y cocidas.” (Sahagún, 1997).

Los Nahuas –una tribu pre-colombiana que dominaba México central- identificó varias especies nativas de las que sus nombres científicos, nombres comunes y lugar fueron catalogados de la manera siguiente:

- *Nopalera cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (syn. *Cactus cochenillifera* L.; *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill), también llamado *nochez nopalli* (Náhuatl), *nopal de San Gabriel* (Oaxaca), *tuna mansa* (Puerto Rico), *tuna nopal* (El Salvador). Esta planta y el *nopal de Castilla* (*Opuntia ficus-indica* L.) son especies utilizadas en la producción de la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa). *N. cochenillifera* tiene diferentes variedades; la más conocida y utilizada es *nopalnocheztli*, cochinilla *Opuntia*, que los españoles llamaron *nopal de Castilla*. Otra variedad es conocida como *nopal de San Gabriel*.
- *Opuntia* Miller (Cactaceae)
- El nombre más común para las especies cultivadas de este género es *nopal*, y su fruta es conocida como *tuna*.
- *Opuntia amyclaea* Tenore (syn. *O. ficus-indica* f. *amyclaea* (Ten.) Schelle y *O. ficus-indica* var. *amyclaea* (Ten.) Berger.)
- *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (syn. *Cactus ficus-indica* L.). También conocido como *nopal de Castilla*, *tuna de Castilla*, *nochtli*; utilizado en la producción de cochinilla.
- *Opuntia imbricata* (Haw.) D.C. (syn. *Cereus imbricatus* Haw., *Opuntia rosea* D.C., *O. decipiens* D.C., *O. exuviata* D.C., *O. arborescens* Engelm., *O. magna* Griffiths, *O. spinotecta* Griffiths, *xoconochtli*, *joconochtli* (Jalisco), *xoconochtli*, *joconostle* (Zacatecas), *cardenche* (Durango, Zacatecas), *tasajo* (Chihuahua), *coyonostle* (Nuevo León y Coahuila), *coyonostle*, *coyonostli* (Nuevo León), *tuna joconostli* (Jalisco), *tuna huell*, *velas de coyote*,

entraña (Nuevo México)). El *xoconochtili* es un cactus con tallos cilíndricos, largas espinas y fruta muy agria.

- *Opuntia megacantha* Salm-Dyck (syn. *O. castillae* Griffiths, *O. incarnadilla* Griffiths), el *nopal de Castilla*.
- *Opuntia streptacantha* Lem. También llamado *tecolonochtili* o *tecolonochnopalli*; éste es el *cardon nopal* o *cardona tuna*. La fruta es de un rojo intenso, aromática y refrescante. Es de gran importancia en zonas desérticas y semiáridas (Rojas, 1990).

Fray Francisco de Ajofrín, quien viajó a lo largo de la Nueva España durante el siglo XVIII, reportó que había tunas casi todo el año. Algunas eran blancas, otras amarillas, y otras eran color carne (Trabulse, 1992a). Miguel Venegas indicó en el siglo XVIII que en California, las tunas rojas eran poco frecuentes, y que en la Nueva España les llamaban *tunas taponas* (Trabulse, 1992b).

El físico Francisco Hernández, en su monumental obra, *Historia natural de la Nueva España*, encontró siete tipos de tunas diferentes: *iztacnochtli*, esta *Opuntia* era conocida por los españoles como *higuera de las indias*, que, según ellos, era similar a una higuera, cuando ni la planta ni la fruta tienen parecido alguno con una higuera o un higo (Trabulse, 1992b); *coznochtli*, *tlatonochtili*, *tzaponochtili*, *zacanochtli* (Rojas y Sanders, 1985), y *nopalxochcuetlic* (*Epiphyllum acker* Haw.) (Rojas y Sanders, 1985). Los nahuas clasificaban esta última planta dentro del grupo de las tunas, seguramente por la similitud de sus flores y frutas con los del nopal, el cual pertenece a la misma familia botánica. Esta planta tiene hojas largas, onduladas y carnosas y hermosas flores rojas.

Propagación

Fray Toribio de Benavente explica la reproducción de *Opuntia*:

“... y una hoja de estas plantas se planta, y así una tras otra, y las hojas también salen de los lados, y se convierten en árbol. Las hojas al pie del árbol son muy gruesas, y se vuelven tan fuertes que se convierten en el tronco del árbol... En esta Nueva España, el árbol es llamado *nucpai-nopalli* y la fruta se llama *nuchtli*...” (Motolinia, 1995).

“Donde sea que una hoja de este árbol caiga, otro árbol similar se forma; y lo admirable es que, después de un tiempo, pegadas a las hojas aparece una goma llamada *alquitria*, para la cual muchos coníferos son usados.” (Cervantes, 1991).

Cría de ganado

El ganado traído de la India Oriental (Cosío, 1987) por los españoles provocó una revolución en la economía de la Nueva España, e inmensas áreas antes en desuso para la agricultura, comenzaron a reutilizarse. El ganado llegó desde Cuba, Santo Domingo y San Juan, Puerto Rico. Hernán Cortés trajo caballos (11 caballos y 5 yeguas), y Gregorio Villalobos trajo ganado desde Santo Domingo (Cosío, 1987). El ganado le dio un impulso a la agricultura, ofreciendo tracción animal, transporte y abono. No menos importante fue su contribución al desarrollo de la minería; los animales eran utilizados como fuente de fuerza y transporte. Además, el ganado fue usado como fuente básica de alimentación. Por estas razones y por los inmensos pastizales vírgenes que existían, el ganado se multiplicó y extendió desde la parte norte centro de la Nueva España durante el siglo XVI. A pesar de haber disminuido notablemente en el siglo XVII, los números eran tan grandes que en varias regiones se formaron manadas salvajes.

El término español *mesta*—una organización formal de productores de ganado— también llegó a la Nueva España, donde se compuso de granjeros propietarios (Chevalier, 1982). Los cuales iniciaron pastoreos extensivos de ovejas y cabras, trasladando el ganado de lugar en lugar para el pastoreo de verano e invierno. Las rutas cruzaban la Nueva España en todas direcciones. El *cabildo* (gobierno) de la ciudad de México fundó la primera mesta en la Nueva España el 31 de julio de 1527. Después, le siguieron Puebla (1541), Oaxaca (1543), y Michoacán (1563) (Chevalier, 1982).

Las fuentes contemporáneas indican la magnitud de los cambios:

- Para 1579, no menos de 200 000 ovejas se trasladaron de 300 a 400 km durante el mes de septiembre, a encontrar pastizales frescos cerca del Lago de Chapala y el oeste de Michoacán, para regresar a sus ranchos en mayo.
- El ganado de Tepeaca, Puebla, y alguno del área central, pasaban el invierno en los pastizales de Veracruz, en el Golfo de México.

- El ganado de la Huasteca se trasladó hacia las orillas de Río Verde, en San Luis Potosí.
- En 1648, más de 300 000 ovejas de las montañas de la Nueva España fueron llevadas a las planicies del Reino de Nuevo León, donde pastaron por más de seis meses. Se dice que en 1685 llegaron más de 550 000 cabezas de ganado (Chevalier, 1982; Humboldt, 1984).

A finales del siglo XVI, en las regiones de la Alta y Baja Mixteca, los indígenas llegaron a adueñarse de 250 000 cabezas de ovejas y cabras. En Tlaxcala y Puebla, las comunidades tenían más de 400 000 cabezas; y las de Zimatlán, Oaxaca y Jilotepec, Estado de México, juntas, tenían más de 350 000 cabezas (Rojas, 1990).

El ganado emigrante dañó las cosechas de los indígenas, a pesar de las ordenanzas de 1574, que obligaron a los ganaderos a abrir caminos reservados para que el ganado se trasladara de un lugar a otro, pero la mayoría jamás obedeció. Las áreas irrigadas y cultivadas de los pueblos era lo que les interesaba a los ganaderos, mucho más que las planicies cubiertas de *Opuntia* o las montañas despobladas que cruzaron.

Forraje

La alimentación del ganado era provista en su mayoría por recursos naturales, y eso incluía *Opuntia*. La reproducción del ganado era espontánea, y a menudo, los mismos dueños ignoraban cuantos animales poseían. Ovejas y cabras eran apáreadas bajo pastoreo nómada; el ganado, solo en pequeña escala, era criado en ranchos y haciendas especializadas. Las condiciones ambientales severas afectaban a los animales, y – aunado a pérdidas por robo, plagas, enfermedades, heladas, y sequías- diezmaban el ganado, especialmente porque una gran proporción de los animales era criada en regiones áridas.

Una sequía significaba la falta de agua potable y pasto, seguido por hambruna, desnutrición, enfermedades y finalmente, la muerte. Esta situación obligó a los granjeros a liberar a sus animales para alimentarse por sí mismos. El historiador Francois Chevalier reportó que en 5 años de sequía, los animales morían por millares (Chevalier, 1982).

Las fuentes de los siglos XVI, XVII y XVIII, afirman que el ganado se alimentaba de pasto, rastrojo, maíz y *Opuntia*, entre otras cosas. En 1585, Juan González de Mendoza escribió que en todo el Reino de la Nueva España, el ganado se alimentaba de plantas verdes y maíz, lo cual se consideraba como el trigo de los indios (Trabulse, 1993). Chevalier (1982) reportó que para finales del siglo XVI, los terratenientes engordaban a sus animales con maíz, el cual tenían en abundancia, gracias a los tributos. La calidad de la carne estaba ligada con la calidad del maíz y los pastos (Trabulse, 1993). En lo que se refería a la utilidad del rastrojo, en el siglo 18, José Antonio Alzate escribió:

“Por algunos años observé a un sujeto que obtuvo una mazorca de maíz de *Meztitlán*, la sembró en un pequeño jardín: las plantas crecieron hasta seis o siete pies, y produjeron tres, cuatro, o hasta más mazorcas de mayor tamaño. Esta vegetación excesiva no fue efecto de preparación alguna ni de semilla, ni de la fertilidad de la tierra, ya que si él plantaba otras especies de maíz, el producto correspondía a su naturaleza. Este experimento prevé numerosas ganancias para agricultores que se verían beneficiados si plantaran maíz *Meztitlán*; además, la abundancia del fruto, la paja o *tlazole*, incrementa, lo cual es muy necesario para el ganado.” (Trabulse, 1992b).

En lo que respecta al uso del cactus *Opuntia* como forraje, el periódico *El Nacional*, de la ciudad de México, reportó que durante el período colonial, existían granjeros mestizos que plantaban *Opuntia* en la mitad de sus sembradíos para alimentar animales, y en la otra mitad sembraban maíz y frijoles:

“... y cuando juzgaron que la tierra ya había sido explotada, cortaban la mitad del nopal como forraje para los animales, especialmente el ganado, y el resto era sembrado en tierras agrícolas que se usaban de nuevo dos años después para cosechas ordinarias, repitiendo la misma operación de dejar descansar tierra plantando nopales, lo cual mantiene el suelo húmedo, y al mismo tiempo, crecen pastizales espléndidos; esto previene la erosión de la tierra y provee pasto fresco, húmedo y abundante para el ganado casi todo el año.” (Anon., 1962).

MÉXICO INDEPENDIENTE

Cuando México ganó su independencia en 1821, el territorio nacional consistía en más de cuatro millones de km², lo que incluía los territorios de Texas, Nuevo México, Arizona y California, que pasaron a los Estados Unidos en 1848. En estos territorios, *Opuntia* era utilizada como forraje y una vez cortada, se le daba al ganado (Flores y Aguirre, 1979), una práctica que también era común en los estados mexicanos de la frontera con EU. Esto fue confirmado por un estudio en México a

finales del siglo XIX por el alemán Karl Kaerger (1896), cuyo objetivo era investigar los factores agrícolas en los que Alemania podría invertir, especialmente considerando las facilidades otorgadas por el gobierno de Porfirio Díaz a los extranjeros.

Apareamiento del ganado

La crianza de ganado se desarrolló en su mayor parte en el norte de México. Se establecieron ranchos enormes, la tierra fue concentrada hasta el punto en que la familia Terrazas se había adueñado del Estado entero de Chihuahua.

A finales del siglo XIX, se llevó a cabo una crianza masiva de ovejas en el noreste del país, especialmente en los estados de Zacatecas, Tamaulipas y Chihuahua, en donde había haciendas con ganado desde 70 000 hasta 80 000 cabezas (Kaerger, 1986). Las cabras abundaban en Puebla, Zacatecas, Aguascalientes, Tamaulipas y San Luis Potosí, mientras que el ganado era criado básicamente en el norte de México y la región costera de Veracruz, en donde ya existía ganado, se notaba una mejoría en la crianza con la introducción de toros de Durham y Hereford. Entre los pastizales utilizados para engorda, uno de los más sobresalientes se localizaba en la Huasteca, la zona costera del norte de Veracruz, y la zona costera del sur de Tamaulipas (la mayor parte del Estado de Tamaulipas se dedicaba a la crianza de cabras y ovejas).

El forraje

En el norte del país, los vaqueros, además de montar a diario a lo largo de cierta área de la hacienda para vigilar al ganado de posibles robos, tenían la tarea de obtener alimento adicional para los animales durante las sequías. El alimento se obtenía cortando *Agave*, conocido también como *sotol*, cortando sus hojas, y más importante, cortando pencas de *Opuntia* y quemando sus espinas para que el ganado pudiera comerlas; aunque de vez en cuando la planta era comida aun con espinas. La población más grande de *Opuntia* fue encontrada en San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, donde los granjeros podían distinguir las siguientes variedades:

- *Nopal rastrero*: un cactus con una formación crecimiento lateral y consumido en gran medida por cabras.
- *Nopal cuyo*: un cactus delgado de pocas espinas; consumido por ganado.
- *Nopal cardón (O. streptacantha)*: una especie frutal con pencas anchas. Su fruta se usa para preparar una bebida fermentada, mezclándola con granos de maíz, manzanas y alcohol de caña. El ganado puede comerla solo durante la temporada de sequía, ya que en las lluvias se hincha demasiado (Bazant, 1980).
- *Nopal cegador*: Bastante consumido por el ganado, aunque puede causar ceguera si las espinas llegan a sus ojos.
- *Cardenche o Joconostle*: Tiene un tronco grande y cilíndrico, y es el favorito del ganado.
- *Tasajillo*: similar al tipo *cardenche*, pero los troncos son más pequeños y de menor calidad. Las cabras se comen su fruta (Kaerger, 1986).

Un artículo de un periódico a principios del siglo XX reportó enormes cantidades de tunas de todos tipos producidas en San Luis Potosí. Señala que *Opuntia* crecía en las tierras más pobres, suelos alcalinos y duros, donde no había ningún otro signo de vegetación, lejos de manantiales de agua fresca, en donde había más colinas que llanos; esta tierra promovió el crecimiento del cactus, y le brindó a los terratenientes espléndidas ganancias, ya que no necesitaban cuidados de clase alguna.

“(Las partes) utilizadas del nopal son: las pencas para alimentar al ganado, cuando están frescas; y cuando están secas, son un excelente combustible; y las tunas, de las cuales se logra una deliciosa bebida fermentada llamada *colonche*; y también un exquisito jarabe de tuna, así como mermeladas y licor también extraídos de la tuna...” (Márquez, 1986).

Los animales también consumían otras plantas con espinas sin necesidad de haber sido quemadas, como el mesquite (*Prosopis* spp.), lechuguilla (*Agave lecheguilla*) que es el agave del noreste, el cual se usa para producir fibra), y *huapile*, una bromeliácea que cubre extensas áreas. La lechuguilla es muy nutritiva, a pesar de tener la desventaja de inducir a los animales a un estado salvaje, ya que por lo jugoso de las hojas, no necesitan regresar a tomar agua en los establos (Kaerger, 1986).

DESARROLLO RECIENTE DE *Opuntia* EN MÉXICO Forraje

La importancia de *Opuntia* como forraje en el siglo XIX fue el resultado de la necesidad de alimentar al ganado en las zonas áridas del país, donde las temporadas de sequía son muy largas, ya que *Opuntia* es un excelente alimento para el ganado (Flores y Aguirre, 1979).

El interés del gobierno por el desarrollo de las zonas áridas, que constituyen el 40 por ciento del territorio nacional, condujo a la creación de la Comisión Nacional para Zonas Áridas (CONAZA) en 1970. Esta institución brindaba apoyo a las zonas donde no era posible obtener cosechas lucrativas de grano, a menos que fueran irrigadas. CONAZA propuso un programa para aumentar el uso de plantas silvestres como *Opuntia*, candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*), lechuguilla (*Agave lecheguilla*), fibra yuca (*Yuca filifera*), y mesquite (*Prosopis juliflora*). De acuerdo con un estudio preliminar de un censo de 1970, más del 50 por ciento del ganado y ovejas, y casi un 80 por ciento de las cabras en el país se localizaban en zonas áridas, y fue ahí donde *Opuntia* se hizo indispensable, porque proveía alimentación y agua a los animales (Villáreal, 1958).

A pesar de que durante la primera mitad del siglo XX había numerosas especies de *Opuntia* silvestre, comenzaron a desaparecer, en su mayoría por el suministro a mercados extranjeros. Se promulgaron leyes que prohibían su exportación, pero aún hoy el comercio de *Opuntia* continúa de diversas formas, con la consecuente desaparición de algunas especies (Granados y Castañeda, 1991).

Los habitantes del norte de México han utilizado *Opuntia* para forraje durante varias décadas, y la industria lechera en las zonas áridas del norte continúa usándola como forraje. En 1966, se utilizaban 600 toneladas diarias de *Opuntia* para el ganado en Monterrey y Nuevo León; y 100 en Saltillo y Coahuila (Granados y Castañeda, 1991). El ganado, y sobre todo las cabras y las ovejas, consumen *Opuntia* casi todo el año. Los ganaderos queman las espinas de las pencas seleccionadas, aunque en ocasiones, también queman las de las plantas que aún no han sido cortadas (Flores y Aguirre, 1979).

La Secretaría de Agricultura promovió las plantaciones de *Opuntia* para forraje en varias regiones. La recolección de *Opuntia* para forraje fue prohibida en Coahuila, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, y los ganaderos fueron penalizados por quemar las espinas de *Opuntia* para enviarlas al mercado (Anon., 1961). Asimismo, se apoyó su aprovechamiento industrial, como se registró en Zacatecas, donde el Gobierno del Estado inició una campaña para industrializar *Opuntia*, especialmente el tipo *cardón* que es abundante en dicho Estado (Anon., 1963a).

La reducción de poblaciones de *Opuntia* obligó a la Secretaría de Agricultura a poner en marcha un programa de Mejoramiento Genético del Nopal en 1961, en el Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura con la idea de incrementar la producción de fruta y mejorar la alimentación del ganado en zonas semiáridas del país, que dependen en gran medida del consumo de *Opuntia* durante las sequías. El principal objetivo de los programas de mejoramiento fue obtener variedades sin espinas, que, además de producir fruta de alta calidad, permitirían alimentar al ganado con las pencas (Anon., 1963b).

Para 1975, los genetistas mexicanos habían producido diferentes variedades, incluyendo los cvs. CPF1, Pabellón y CPV1.

Producción de *Opuntia*

Opuntia no es considerada como un cultivo forrajero regular, y las estadísticas sobre la superficie cultivada y la producción no se registraron sino hasta 1984, y con un alto rango de error. A pesar de que el área cultivada ha ido creciendo de manera continua, la superficie era de solo 22 ha en 1984, y se incrementó a 422 ha en 1997 (SARH, 1984 a 1989; SAGAR, 1990 a 1997). Se ha informado la producción de forraje en el norte y centro del país, así como en Baja California del Sur. El uso de *Opuntia* para producción de forraje no puede ser evaluado fácilmente en relación con los cultivos forrajeros tradicionales, por el amplio uso de material silvestre.

^[2] Marco Antonio ANAYA PÉREZ CUESTAAM Universidad Autónoma de Chapingo, México

Ecofisiología de OPUNTIA FICUS-INDICA

PARK S. NOBEL^[3]

INTRODUCCIÓN

Las bases fisiológicas de el éxito ecológico y la utilidad agrícola de las *Opuntias* como forraje son en gran medida el reflejo de su modalidad diaria de apertura de los estomas (los estomas son poros microscópicos encontrados en la superficie de las hojas y tallos que regulan el intercambio de gases entre la planta y su ambiente). La mayoría de las plantas tienen un patrón diario de apertura estomatal, de tal manera que la entrada de CO₂ ocurre simultáneamente con la fotosíntesis, la cual usa la energía de la luz para incorporar el CO₂ de la atmósfera hacia carbohidratos. Las plantas como *Opuntia ficus-indica*, sin embargo, abren sus estomas en la noche, de modo que la entrada de CO₂ y la pérdida de vapor de agua asociada ocurren en la parte mas fresca del ciclo de 24 horas. Este patrón de intercambio de gases es conocido como Metabolismodel Ácido Crasuláceo (MAC) debido a que ha sido estudiado extensamente en las Crasuláceas, aunque aparentemente se haya reconocido primeramente en las Cactáceas (Ting, 1985; Nobel, 1988). Las plantas MAC son nativas de regiones áridas y semiáridas, así como de aquellos microambientes sujetos a sequías recurrentes tales como el de las epifitas que crecen en los árboles de selvas tropicales (Winter, 1985; Nobel 1991a).

INTERCAMBIO DIARIO DE GASES

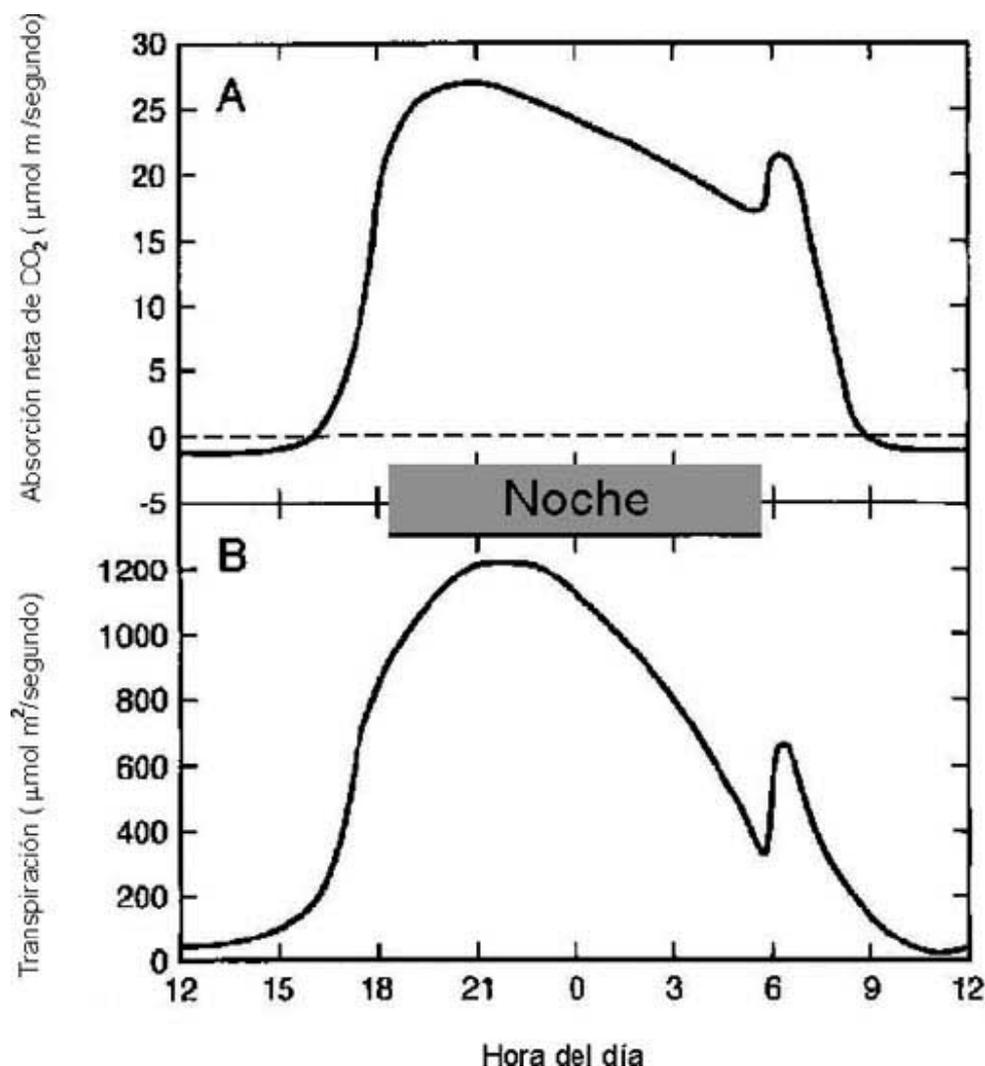
Como ya se ha indicado *O. ficus-indica* absorbe CO₂ principalmente en la noche (Figura 1A). Bajo condiciones de humedad y temperatura moderada, la entrada neta de CO₂ es positiva en la tarde, cuando decrece substancialmente la temperatura del día, y alcanza su valor máximo pocas horas después del crepúsculo. Generalmente, un pico pequeño de entrada de CO₂ ocurre al amanecer (Figura 1A), cuando la disponibilidad de luz permite la incorporación de CO₂ hacia carbohidratos usando el mecanismo C₃ de fotosíntesis durante la parte mas fresca del día. El patrón diario de pérdida de vapor de agua vía transpiración para *O. ficus-indica* (Figura 1B) es similar al patrón de entrada neta de CO₂, reflejando el requerimiento de una apreciable apertura estomatal para obtener un intercambio substancial de cualquiera de los gases con el ambiente.

El CO₂ obtenido por la planta MAC en la noche es incorporado a un compuesto de 3 carbonos, para formar ácido málico, una molécula orgánica de cuatro carbonos. Los ácidos orgánicos acumulados son almacenados durante la noche en grandes vacuolas dentro de las células del clorénquima (la región verdosa que contiene la clorofila), de modo que el tejido se torna progresivamente mas ácido durante el curso de la noche. El CO₂ es liberado de los ácidos orgánicos durante el siguiente ciclo diario causando una reducción de la acidez. Esta liberación de CO₂ -que es prevenida en la planta CAM por el cierre de estomas durante el día-, es incorporada hacia productos de fotosíntesis en las células del clorénquima en presencia de luz. La oscilación diaria de la acidez, característica de las plantas CAM, requiere de vacuolas grandes para la captura y el almacenamiento breve de ácidos orgánicos.

EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

Un índice útil del beneficio/costo del intercambio gaseoso de las plantas es la tasa de CO₂ fijado por la fotosíntesis en relación al agua perdida por transpiración, el cual es conocido como eficiencia de uso del agua (EUA). Para los datos de intercambio gaseoso presentados en la Figura 1, la absorción neta de CO₂ integrada sobre un período de 24 horas es de 1,14 mol/m²/día y la pérdida de agua es de 51.3 mol/m²/día. De ésta manera la EUA es de 0,022 mol de CO₂ fijados por mol de agua perdida para esta planta CAM. Este valor de EUA es el triple de los valores encontrados en plantas C₄ altamente productivas (tales como maíz o caña de azúcar) bajo condiciones ambientales similares. Las plantas C₄ tienen una absorción diaria neta de CO₂ inicial hacia ácidos orgánicos de cuatro carbonos, y cinco veces mas grande que para plantas C₃ altamente productivas (alfalfa, algodón o trigo), los cuales absorben CO₂ durante el día y cuyo producto inicial de fotosíntesis es un compuesto de 3 carbonos (Nobel, 1995).

Figura 1. Absorción neta de CO (A) y transpiración (B) de *Opuntia ficus-indica* sobre un período de 24 horas en condiciones de suelo húmedo temperaturas moderadas y alta luminosidad (Nobel 1995, 1998)



La alta EUA de las plantas CAM se relaciona con la reducida diferencia de concentración de vapor entre la planta y la atmósfera durante el período de máxima apertura substancial. En particular el contenido de vapor de agua en las hojas y en los tallos esta dentro del valor de 1 por ciento del valor de saturación en aire a la temperatura del tejido (Nobel, 1999); la temperatura del tejido tiende a ser mucho mas baja en la noche, y el valor de saturación de vapor de agua del aire se incrementa exponencialmente con la temperatura. Por ejemplo, el contenido de vapor de agua para el aire a saturación es de $0,52 \text{ mol/m}^3$ a 10°C , $0,96 \text{ mol/m}^3$ a 20°C y $1,69 \text{ mol/m}^3$ a 30°C . Si el contenido de vapor de agua en el aire es de $0,38 \text{ mol/m}^3$ (40 por ciento de humedad relativa a 20°C) entonces la caída en la concentración de vapor de agua de la planta en relación con la atmósfera, la cual representa la tensión para la pérdida de agua de la planta, es la diferencia entre $0,52$ y $0,38$, ó $0,14 \text{ mol/m}^3$ a 10°C ; $0,96-0,38$, o $0,58 \text{ mol/m}^3$ a 20°C ; y $1,69-0,38$, ó $1,31 \text{ mol/m}^3$ a 30°C . Para el mismo grado de apertura estomatal, la tensión necesaria para la pérdida de agua es entonces $0,58/0,14$, 4.1 veces más alta a 20°C que a 10°C , y $1,31/0,58$ o 2.3 veces más alta a 30°C que a 20°C . Debido a que la temperatura promedio del tejido típicamente es al menos 10 mas baja en la noche que durante el día en muchas localidades, las plantas CAM tienden a perder únicamente 20 a 35 por ciento de la pérdida mostrada por plantas C_3 o C_4 para una apertura estomatal determinada. Esta es la característica clave para su utilidad como cultivo forrajero en regiones áridas y semiáridas.

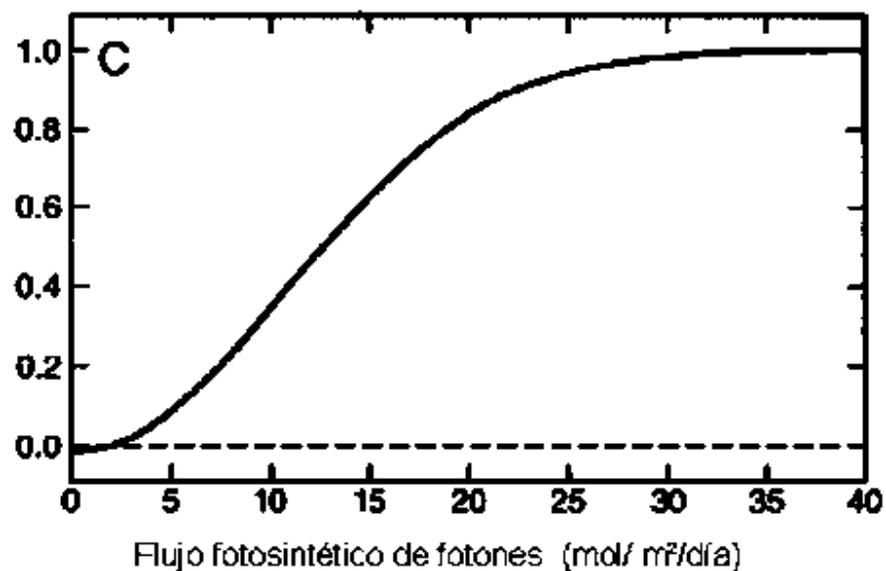
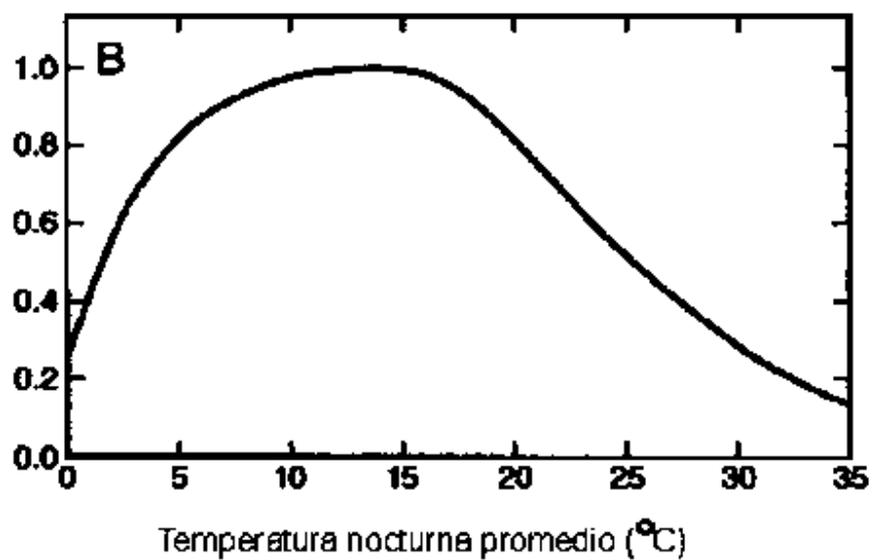
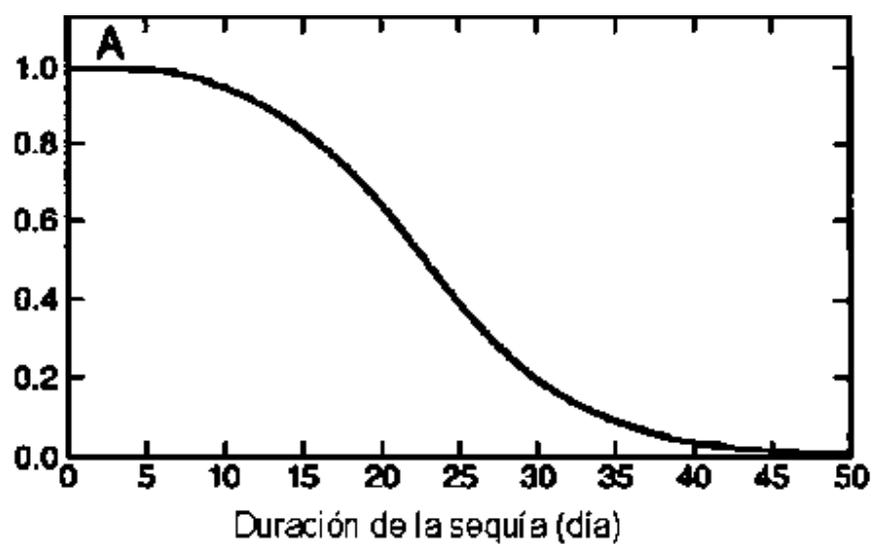
RELACIONES HÍDRICAS

Además de usar el mecanismo CAM –con el consecuentemente alto EUA-, *O. ficus-indica* presenta otras adaptaciones que ayudan a la conservación del agua en la planta. Por ejemplo, la cutícula cerosa sobre sus tallos es relativamente gruesa, generalmente de 5 a $30 \mu\text{m}$ (Conde, 1975; Pimienta *et al.*, 1992, 1993, North *et al.*, 1995). Esto ayuda a prevenir la pérdida de agua de las plantas hacia el ambiente. Adicionalmente la densidad estomatal es usualmente baja para la opuntias, generalmente 20 a 30 estomas por milímetro cuadrado. (Conde, 1975; Pimienta *et al.*, 1992). Consecuentemente la fracción del area de los tallos a través del cual el agua puede moverse de las plantas a la atmosfera es relativamente baja. Además,

los tallos contienen un gran volumen de de parénquima esponjoso de color blanquecino que almacena agua, el cual actúa como reserva para el clorénquima, donde la fijación inicial de CO₂ durante la noche vía el mecanismo CAM mientras que la fotosíntesis tiene lugar durante el día. Por ejemplo durante una sequía que dura tres meses, el clorénquima en los tallos de *O. ficus-indica* decrece en grosor 13 por ciento mientras que el parénquima almacenador de agua decrece 50 por ciento en grosor, indicando una mayor pérdida de agua de este tejido (Goldstein *et al.*, 1991). Como otra adaptación, las raíces de *O. ficus-indica* tienden a ser superficiales, a una profundidad media de 15 cm, facilitando una respuesta rápida a las lluvias ligeras. Por ejemplo, puede formar raíces nuevas dentro de las 24 horas posteriores al humedecimiento de un suelo seco (Kausch, 1965). Sus variadas estrategias de conservación de agua permiten la presencia de un sistema radical pequeño; de hecho, las raíces componen solamente un 12 por ciento del total de la biomasa de *O. ficus-indica* (Nobel, 1988).

La sequía, que comienza fisiológicamente cuando las plantas ya no pueden obtener agua del suelo (debido a que el potencial hídrico del suelo es menor que el potencial hídrico de la planta), conduce a una reducción en la capacidad de los tallos para obtener agua de la atmósfera (figura 2 A). Muy poco cambio en la capacidad neta para obtener ocurre durante la primera semana de sequía para *O. ficus-indica* reflejando el almacenamiento de agua en el tallo y los bajos requerimientos inherentes del mecanismo CAM. también La cutícula cerosa y la baja densidad estomatal permite hasta un 20 por ciento de la absorción máxima neta de CO₂ inclusive un mes después de que la planta este sometida a condiciones de sequía. (Figura 2 A); después de dos meses, una pequeña pérdida diaria neta de CO₂ ocurre, cuando la respiración se torna mayor a la fotosíntesis neta, mientras que los cultivos tipo C3 y C4 presentan pérdidas netas de CO₂ una semana después del comienzo de la sequía. Así, la capacidad de absorción neta de *O. ficus-indica* -y ciertas otras plantas CAM- esta extremadamente adaptada a regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, el agua del suelo es el mayor factor limitante de la absorción neta de CO₂ por *O. ficus-indica* en tales regiones, donde el riego no es económicamente factible.

Figura 2: Influencia de la duración de la sequía (A) temperatura nocturna (B) y luz (C) sobre la absorción neta de CO₂ en un periodo de 24 horas para *O. ficus-indica* Excepto cuando se indica, las plantas están bien regadas, mantenidas durante la noche temperaturas cercanas a 15°C y tuvieron una FIF cercano a 25 mol/m² (día en los cladodios) (Fuente: Nobel and Hartsock, 1983, 1984; Israel and Nobel, 1995)



RELACIONES DE TEMPERATURA

La temperatura no solamente afecta los procesos metabólicos y la absorción neta de CO₂ sino que las temperaturas extremas pueden inducir daños y aun la muerte de las plantas. En este aspecto *O. ficus-indica* es extremadamente tolerante a temperaturas altas del aire, pero no a temperaturas substancialmente abajo del punto de congelación. Cuando las plantas son aclimatadas a temperaturas altas del aire en los ciclos día/ noche de 50/40 °C, las células del clorénquima no son seriamente dañadas por la exposición de una hora a 60 °C, y la mayoría de las células sobrevive 1 hora a 65 °C (Nobel, 1988). Del hecho, el daño por temperatura alta en *O. ficus-indica* es generalmente observado únicamente a nivel del suelo, donde las temperaturas en los desiertos pueden alcanzar 70 °C ; las plantas jóvenes o recién plantadas son especialmente vulnerables al daño. En contraste el daño celular en el campo ocurre a temperaturas de congelación de 5 a 10 °C. El daño varía con el cultivar (Russell y Felker, 1987b), con la rapidez con la que se establece la congelación, de aquí que el tiempo para aclimatarse a la baja temperatura o "endurecimiento" (Nobel 1988) y con el contenido de agua en el tallo, debido a que un bajo contenido de agua conduce a una mejor tolerancia a temperaturas bajas de el aire y el tallo (Cui y Nbel 1994^a, Nobel et al 1995).

Debido a que la absorción de CO₂ en las plantas MAC ocurre durante la noche, las temperaturas nocturnas son mucho mas importantes que las diurnas para la absorción neta de CO₂ de *O. ficus-indica* (Figura 2B). Adicionalmente la temperatura nocturna óptima es relativamente baja, 15 °C, y temperaturas de 5 a 20 °C conducen a un mínimo del 80 por ciento de la entrada neta de CO₂. Temperaturas tan bajas también se asocian con bajas tasas de transpiración. En *O. ficus-indica* conforme la temperatura nocturna se eleva, los estomas tienden a cerrar; por ejemplo a 30 °C los estomas solamente abren un 30 por ciento de lo que abren a 20 °C (Nobel y Hartsock, 1984), lo que ayuda a reducir la entrada neta de CO₂ a la más alta temperatura (Figura 2B). Excepto para temperaturas nocturnas substancialmente debajo de la de congelación o arriba de 30 °C, la temperatura no es generalmente un factor limitante de importancia para la absorción de CO₂ de *O. ficus-indica*, especialmente durante las estaciones cuando la lluvia esta disponible, lo cual es afortunado, debido a que la manipulación de la temperaturas del aire en el campo es cara.

RELACIONES DE LUZ

Otro parámetro ambiental que afecta la entrada neta de CO₂ es luz, la luz incidente sobre los tallos individuales puede ser manipulada fácilmente mediante el espaciamiento entre plantas, aunque las ventajas ocurren entre maximizar CO₂ neto por planta contra CO₂ neto por unidad de area (García de Cortazar y Nobel, 1991). Los tallos de *O. ficus-indica* son opacos, contrario al caso de las hojas de la mayoría de las plantas C₃ y C₄, y la orientación de ambas caras debe ser considerada cuando se evalua absorción de luz. Asimismo, la luz que es relevante se absorbe por los pigmentos fotosintéticos, principalmente la clorofila, la cual es referida como el flujo fotosintético de fotones (FFF; 400-700 nm; también conocida como la densidad de flujo fotosintético de fotones y radiación fotosintéticamente activa (RFA); Nobel, 1999).

Cuando las plantas son mantenidas en la obscuridad, solamente ocurre respiración, y hay una perdida ligera de CO₂ (Figura 2C). Conforme la FFF se incrementa, la entrada neta de CO₂ en *O. ficus-indica* aumenta. La saturación de luz se aproxima con un valor total diario de 25 mol/m²/día (Figura 2C). Debido a la naturaleza opaca de los cladodios, algunas de sus caras no se orientan favorablemente con respecto a la intercepción de luz solar; también el sombreado entre plantas reducira la absorción neta de CO₂. Así, la entrada neta de CO₂ por planta es mayor cuando las plantas estan lejos unas de otras y no se sombreadan. Sin embargo, la entrada neta de CO₂, la productividad por unidad de area es mínima. Si las plantas estan muy juntas el sombreado es excesivo y la mayor parte del area de cladodios recibe menos de 5 mol/m²/día de FFF, valor para el cual la entrada neta de CO₂ es significativamente reducida (Figura 2C). De hecho, la absorción neta de luz por unidad de area para *O. ficus-indica* es máxima cuando el area total de los cladodios (incluyendo ambos lados) es de 4 a 6 veces la unidad de superficie (García de Cortazar y Nobel, 1991). Cuando la proporcion del area total de los cladodios en relacion a la unidad de superficie, conocida como indice de area de cladodios (IAC) es 1,2 y 3, la absorción neta por unidad de superficie para *O. ficus-indica* es 35 por ciento, 62 por ciento, y 85 por ciento de la máxima, respectivamente (Nobel, 2001 a).

RELACIONES NUTRIMENTALES

La absorción neta de CO₂ y la productividad de *O. ficus-indica* son influenciadas por los macronutrientes y micronutrientes del suelo, así como la salinidad y la textura del suelo (Nobel, 1988; Hatzman et al., 1991). Por ejemplo, el crecimiento en un suelo areno-limoso es aproximadamente el 25 por ciento del máximo a un contenido de nitrógeno de 0,03 por ciento de la materia seca, 50 por ciento del máximo a 0,07 por ciento, 75 por ciento del máximo a 0,15 por ciento de N, y se aproxima al máximo cerca del 0,3 por ciento N (Nobel, 1989a) debido a que el contenido de N en los suelos arenosos nativos de las regiones áridas y semiáridas se encuentra generalmente por debajo del 0,07 por ciento, la fertilización nitrogenada usualmente incrementa el crecimiento de *O. ficus-indica* y otras opuntias en tales áreas (Nobel et al., 1987). El protocolo para la fertilización nitrogenada de *O. ficus-indica* ha seguido la las practicas tradicionales desarrolladas para otros cultivos (Barbera et al., 1992; Nerd et al., 1993) donde la forma principal absorbida del suelo es el nitrato (Nerd y Nobel, 1995). Aunque el N es el elemento esencial mas limitante, el crecimiento de las opuntias es también estimulado por la fertilización fosfórica y potásica (Nobel, 1989b). Un contenido de únicamente 5 ppm de fósforo conduce a la obtención de la mitad del crecimiento máximo de *O. ficus-indica* (Nobel, 1989b), pero los cladodios producidos están por debajo de las necesidades nutricionales de fósforo del ganado. En realidad, los cladodios de la mayoría de las opuntias encontradas en suelos nativos pobres contienen aproximadamente 1 por ciento de N en base seca, el cual esta por debajo de las necesidades

nutricionales de N del ganado, pero en cuando se cultivan en suelos agrícolas fertilizados regularmente el contenido puede alcanzar el 2 por ciento (Nobel, 1988).

Como la mayoría de los cactus, *O. ficus-indica* es sensible a la salinidad del suelo. La inhibición del crecimiento es casi lineal con el contenido de sodio, valores de 150 ppm se asocian con una reducción del 50 por ciento de la acumulación de biomasa en *O. ficus-indica* (Nobel, 1989b). Las raíces son mas afectadas por la salinidad que la parte aérea; e.g. el riego con una concentración de 60 milimoles (mM) de NaCl (aproximadamente el 12 por ciento de la concentración del agua de mar) durante seis meses reduce el crecimiento de la raíz en 84 por ciento y de la parte aérea en un 50 por ciento (Berry y Nobel, 1985). La exposición del sistema radical completo de *O. ficus-indica* a 100mM NaCl durante 10 semanas reduce su crecimiento en 38 por ciento (Nerd *et al.*, 1991), en el caso de una raíz expuesta a 100mM NaCl el crecimiento se reduce en 93 por ciento (Gersani *et al.*, 1993). El Na no es transportado fácilmente de las raíces a la parte aérea, ni de los cladodios basales a los brotes nuevos (Berry y Nobel, 1985). En el caso del Na, los cladodios, como casi todas las demás partes de la planta, no llenan los requerimientos de este nutriente del ganado.

CO₂ ATMOSFÉRICO

Actualmente el nivel de CO₂ atmosférico esta incrementando a una tasa aproximada anual de 2 ppm por volumen, lo cual puede conducir hacia un aumento de la absorción neta diaria de CO₂ de *O. ficus-indica*. Por ejemplo, si se duplica el contenido actual de CO₂ causaría un incremento en la absorción neta de los cladodios de dos meses de 49 por ciento y su EUA aumentaría en 55 por ciento, comparado con el nivel actual de CO₂ (aproximadamente 360 ppm, Cui *et al.*, 1993). La productividad en términos de materia seca de la parte aérea de *O. ficus-indica* en el campo es 37-40 por ciento mas alta si se considera el doble del nivel actual de CO₂ (Nobel e Israel, 1994). Aunque el contenido de nitrógeno de los cladodios viejos permanecería cercano al 1 por ciento en base seca, el contenido de N de los cladodios de tres meses es en promedio 1,47 por ciento en base seca bajo los niveles actuales de y alcanzaría promedios de 1,26 si la concentración de CO₂ se duplica (Cui y Nobel, 1994b); el bajo contenido de N a mayores concentraciones de CO₂ atmosférico refleja una menor cantidad de enzimas fotosintéticas, lo cual también es observado en otras especies.

PREDICCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

Las respuestas de absorción diaria neta de CO₂ a factores ambientales sobre un período de 24 horas bajo condiciones controladas permite la predicción de la productividad en el campo, dado que la absorción de CO₂ se asocia con crecimiento e incremento de la biomasa vegetal (Nobel, 1988; 1991b; García de Cortazar y Nobel, 1991). Tales respuestas, especialmente en relación al espaciamiento entre plantas asociado con densidades altas de plantación que maximizan la productividad por unidad de área, han sido usadas para predecir la productividad máxima. Con esta información se han conducido plantaciones experimentales de

O. ficus-indica en Santiago, Chile y Saltillo, Coahuila México, bajo condiciones de suelo húmedo (provistas por irrigación durante todo el año), temperaturas moderadas cercanas a las optimas para la absorción de CO₂, índices de área foliar de 4 a 6, y sin limitaciones de nutrientes del suelo (Nobel, 1991a; García de Cortazar y Nobel, 1991 1992; Nobel *et al.*, 1992). Bajo estas condiciones ideales, la productividad de materia seca es de 50 t/ha/año. Sin embargo, una productividad considerablemente mas baja es esperada bajo condiciones naturales de campo (no ideales), estos valores de productividad pueden ser calculados usando la Figura 2, para obtener respuestas netas relativas de absorción de CO₂.

Una plantación a alta densidad con IAF de 4 a 6 provoca que las raíces de las plantas se traslapen. Una situación mas conveniente bajo condiciones de campo podría considerar un valor de IAF de 2, que permitiría el trazo de callejones útiles para el mantenimiento y de las plantas y la cosecha de cladodios. El clima puede no conducir a condiciones ideales de temperatura, las cuales son esencialmente controlables cambiando la ubicación de los campos de cultivo. En vez de usar riego todo el año, se pueden considerar dos situaciones de disponibilidad de agua, las cuales son típicas del clima mediterráneo o regiones donde el avance de la desertificación favorece el uso de *O. ficus-indica* como forraje, principalmente, donde el patrón de lluvias presenta condiciones de suelo húmedo durante aproximadamente dos meses del invierno y donde la lluvia se asocia con dos períodos húmedos con duración aproximada de un mes cada uno. Usando un IAF de 2 se obtiene hasta el 62 por ciento de la máxima absorción de CO₂ por unidad de área basada en la intercepción de FFF (Figura 2C) y las temperaturas de campo pueden conducir hasta el 80 por ciento de la absorción neta diaria de CO₂ (Figura 2B). Considerando solamente un período húmedo de invierno y usando la respuesta de *O. ficus-indica* a la sequía (Figura 2 A), las plantas podrían tener una absorción neta máxima de CO₂ por dos meses, mas la mitad de la de la máxima durante un mes durante la sequía ó $(82,5/12)(100 \text{ por ciento})$ ó 21 por ciento de la máxima absorción neta de CO₂ que podría ser obtenida bajo condiciones de humedad durante todo el año. Debido a que la respuesta a estos factores ambientales es multiplicativa (Nobel, 1984, 1988, 1991a), la productividad pronosticada es de $0,62 \times 0,80 \times 0,21 \times 50 \text{ t/ha/año} = 5.2 \text{ t/ha/año}$. Para los dos períodos húmedos por año mas la respuesta de la absorción diaria neta a la sequía (Figura 2A), las limitaciones de agua podrían conducir a $[(1.5+1.5)/12 \times 100 = 25 \text{ por ciento}]$ de la absorción neta anual de CO₂, así la productividad estimada es $(0,62) \times (0,80) \times (0,25) \times (50 \text{ t/ha/año})$. Una estimación mas precisa puede ser obtenida usando los valores mensuales, o diarios de las limitaciones causadas por el agua, temperatura y luz sobre la absorción neta de CO₂ (Figura 2). En cualquier caso, las condiciones ambientales en el campo pueden ser usadas para predecir la productividad de *O. ficus-indica* usando respuestas de absorción diaria de CO₂ a la condición hídrica del suelo, la temperatura del aire y el FFF determinado bajo condiciones controladas de laboratorio.

COMPARACIONES CON OTRAS ESPECIES

Aunque la mayoría de los estudios ecológicos sobre opuntias han sido realizados con *O. ficus-indica*, resultados similares ocurren en otras opuntias y otras cactáceas (Nobel, 1988, 1994). Por ejemplo, *O. amychlaea* presenta alta productividad de biomasa, hasta 45 t de materia seca/ha/año, a una IAF óptima y bajo riego en Saltillo, Coahuila, México (Nobel *et al.*, 1992; de hecho el status taxonómico de *O. amychlaea* es incierto pero sí es morfológicamente distinta a *O. ficus-indica*). Entre otras plantas MAC, ciertos agaves usados comercialmente en México, principalmente *Agave mapisaga* y *A. salmiana*, poseen altas productividades de biomasa, promediando 40 t/ha/año (Nobel *et al.*, 1992). En comparación, los cuatro cultivos C₃ más productivos tienen una productividad promedio de 38 t/ha/año, los cuatro árboles C₄ más productivos promedian 41 t/ha/año, y los cuatro cultivos C₄ más rendidores promedian 56 t/ha/año (Nobel 1991a). De gran importancia para la producción de forraje en regiones áridas y semiáridas es la productividad de biomasa cuando la lluvia es severamente limitante. Bajo tales circunstancias las ventajas del mecanismo MAC son relevantes para la

Los agaves y otros cactus también tienen otras respuestas ecofisiológicas similares a las de *O. ficus-indica* (Nobel, 1988, 1994). Por ejemplo, la absorción neta de CO₂, el crecimiento y la productividad de biomasa responden favorablemente a la fertilización con N, y generalmente también con P y K, y casi todas las especies son inhibidas cuando se incrementa la salinidad del suelo (Nobel, 1988b).

Del mismo modo que para *O. ficus-indica*, el incremento del CO₂ atmosférico incrementa la productividad de biomasa de los agaves. Si se duplica el nivel de CO₂ se observa 50 por ciento más biomasa en *Agave salmiana* en 4.5 meses (Nobel *et al.*, 1996) y se obtiene casi el 90 por ciento más biomasa en *Agave deserti* en 17 meses (Graham y Nobel, 1996). Duplicando el nivel de CO₂ atmosférico para *A. deserti* se incrementa la absorción neta diaria de CO₂ por unidad de área foliar en un 49 por ciento, mientras se reduce la respiración diaria en 24 por ciento, conduciendo a un incremento de la EUA del 110 por ciento. Del mismo modo que en *O. ficus-indica*, otras plantas MAC con valor comercial son también sensibles a las temperaturas de congelación, pero altamente tolerantes a altas temperaturas (Nobel, 1988). Por ejemplo, -8 C durante una hora tiene efectos dañinos similares sobre células del cloroplasto de *A. salmiana* y *O. ficus-indica*. Así, la extensión cultivada de ambas especies puede incrementarse debido al aumento de la temperatura del aire que se pronostica acompañara al cambio climático global, y el incremento del nivel de CO₂ atmosférico lo cual incrementara su productividad de biomasa.

CONCLUSIONES

Claramente, *O. ficus-indica* y ciertas otras especies de plantas MAC comerciales están bien adaptadas para ser cultivos forrajeros en regiones áridas y semiáridas, como resultado de su apertura estomatal nocturna que se asocia con absorción neta nocturna de CO₂. Las respuestas de la absorción diaria neta de CO₂, el contenido de agua del suelo, la temperatura del aire y el FFF son conocidas o pueden ser medidas, permitiendo predicciones de su productividad e biomasa en varias regiones. Aunque es posible obtener una productividad extremadamente alta (50 t/ha/año) para *O. ficus-indica*, la productividad predicha de 5 a 6 t/ha/año bajo condiciones de humedad limitante, todavía supera la productividad de especies C₃ y C₄ usadas como forraje. Específicamente, *O. ficus-indica* puede presentar una EUA que es 3 a 5 veces más alta que las especies C₃ y C₄. Adicionalmente, la baja densidad estomatal y la cutícula gruesa reduce la pérdida de agua, mientras que sus tallos fotosintéticos masivos actúan como reserva de agua, extendiendo el período de absorción de CO₂ durante la sequía. *O. ficus-indica* es sensible a temperaturas de congelación pero extremadamente tolerante a altas temperaturas; su tasa de absorción neta de CO₂ y el crecimiento son generalmente mejorados por la fertilización nitrogenada y el incremento del nivel de CO₂ atmosférico pero inhibido por la salinidad del suelo. En cualquier caso, basados en el conjunto de características ecofisiológicas, *O. ficus-indica* tiene posibilidades de mayor utilización como cultivo forrajero en regiones áridas y semiáridas, así como en el combate de la desertificación.

^[3] Park S. NOBEL Department of Organismic Biology, Ecology, and Evolution University of California (UCLA) Los Angeles, CA 90095-1606, USA

Recursos genéticos y mejoramiento de *Opuntia* para producción de forraje

CANDELARIO MONDRAGÓN JACOBO Y SALVADOR PÉREZ GONZÁLEZ¹⁴¹

INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia spp.*) es reconocido generalmente como un cultivo frutícola en regiones subtropicales semiáridas alrededor del mundo. A pesar de que se cultiva para dicho propósito solamente en 5 países: Chile, Italia, México, Sudáfrica y Estados Unidos. En realidad, su mayor importancia radica en la producción de forraje, si se considera la superficie total cultivada y las áreas silvestres en países donde se considera nativa, así como los lugares en donde se ha naturalizado. Las estadísticas mundiales muestran un rango desde un poco menos de 687 000 ha (Nobel, 1994) hasta 2,3 millones ha (De la Cruz, 1994), este último dato incluye poblaciones de baja densidad repartidas a lo largo del norte de México. Y se ha estimado que el 92 por ciento de estos recursos son potencialmente útiles como alimento.

Desafortunadamente, dos de las características anatómicas de la planta presuponen que la aceptación de la tuna en el mercado internacional podría ser lenta y probablemente limitada: la presencia de semillas y de gloquidios. La presencia de espinas desanima a nuevos productores en nuevas áreas con posibilidades para su cultivo pero donde no se tiene experiencia con su cultivo o con el consumo de fruta. Para su consumo como verdura, el mucilago parece ser la limitante más importante para nuevos consumidores. En cambio, su uso como forraje puede ser factible, ya que *Opuntia* puede constituir una fuente importante y continua de forraje durante las sequías, dada su estructura vegetativa no decidua y suculenta, una característica poco común en otras especies forrajeras. El forraje, en cambio, se transformará en productos de mayor valor: leche, carne, piel y lana.

La actividad pecuaria a escala limitada es una estrategia de supervivencia común en tierras semiáridas. En muchos países, los animales domésticos también representan un mayor estatus social, ya que son bienes listos para utilizarse en cualquier momento. Las sociedades pastorales están presentes en todas las regiones subdesarrolladas áridas y semiáridas del mundo, haciendo un uso intensivo de pastizales nativos. Como resultado, la disminución de pastizales es un problema mundial a lo largo de la franja semiárida, contribuyendo así a la desertificación. Por lo que existe una búsqueda permanente de plantas que puedan tolerar las limitantes climáticas y ayuden a contrarrestar el deterioro de la tierra. En este contexto, *Opuntia* tiene un potencial interesante, como ya se ha demostrado en los centros de origen o de mayor diversidad y en muchas otras áreas del mundo, que por razones históricas, se han beneficiado de la introducción y la dispersión de *Opuntia*.

La recolección sistemática y caracterización del germoplasma de poblaciones nativas y naturalizadas, así como los trabajos continuos de hibridación, son necesarios para encontrar nuevas selecciones y desarrollar nuevos cultivares para áreas desérticas, en las que hoy en día, se agotan las opciones para recuperar su productividad biológica.

Se han realizado intentos por mejorar *Opuntia* desde los primeros años del siglo XX, cuando Luther Burbank, en California, comenzó el desarrollo de variedades de nopal sin espinas para forraje (Dreyer, 1985).

Estos podrían ser cultivados alrededor del globo y hacer productivas amplias áreas de tierra semiárida. Es de gran trascendencia que *Opuntia* haya realizado su debut en la escena internacional como cultivo forrajero, contrastando así con el uso tradicional como especie frutícola y como verdura en México.

En este capítulo revisaremos la importancia de los recursos genéticos como base la generación de variedades forrajeras de *Opuntia*, la variabilidad existente y su utilización, así como la necesidad de apoyar los esfuerzos para su conservación a largo plazo. También se discuten las técnicas, los progresos de investigación más recientes, además de las limitantes y objetivos del mejoramiento genético asociados con el desarrollo de variedades forrajeras.

BASES BIOLÓGICAS DE HIBRIDACIÓN

La hibridación natural entre distintas especies de *Opuntia* es común y está relacionada con el nivel de ploidía, y representa una de las principales causas de diversidad. La reproducción asexual es una respuesta de adaptación al bajo rango de germinación y deprecación de semilla encontradas en este grupo (Del Castillo, 1999). La hibridación entre poblaciones naturales en el sur de California fue reportada por Walkington (1996, citado por Gibson y Nobel, 1986), basándose en estudios químicos y morfológicos. Estos hallazgos indican que las plantas de *Opuntia occidentalis* provienen de una cruce entre dos platiopuntias nativas: *O. ficus-indica* y *O. megacantha*, ya que el híbrido tenía características de ambas especies. Scheinvar, (1995) reportó que en poblaciones silvestres de *Opuntia*, las plantas localizadas en la periferia de la población muestran mayor variabilidad que las que crecen en el centro, probablemente gracias a una mayor exposición al intercambio genético con otras especies y poblaciones cercanas.

A pesar de que se trata de una especie autógama, la polinización cruzada, total o parcial, se puede observar en diferentes individuos cultivados o silvestres, por lo que la mayor parte de los materiales cultivados comercialmente son probablemente el resultado de la polinización cruzada. Todos los cultivares mexicanos son informados como productos de hibridación entre *O. ficus-indica* y diferentes formas de *Opuntia* silvestres (Pimienta-Barrios y Muñoz-Urias, 1995).

Las flores de *Opuntia* también son capaces de autopolinización, ya que aún las flores cubiertas son capaces de producir fruta (Nerd y Mizrahi, 1994). La autopolinización fue confirmada por Wang *et. al.*, (1997) gracias a un experimento de hibridación que implicaba a seis diferentes especies de *Opuntia*. El éxito de la autopolinización ha sido confirmado también en huertas comerciales, en donde amplios sectores de un solo cultivar producen fruta y semillas sin una aparente necesidad de variedades polinizadoras especiales, como lo reportó Damigella (citado por Nerd y Mizrahi, 1995; y por Mondragón, 1999).

TÉCNICAS DE HIBRIDACIÓN DE *Opuntia*

Las flores de la *Opuntia* son hermafroditas, aunque pueden ser emasculadas y aisladas con cierta dificultad para realizar cruces controladas. Las técnicas y principios de hibridación de *Opuntia* fueron descritos por Mondragón y Bordelon (1998) y Mondragón (1999), algunos refinamientos de las técnicas fueron añadidos por Bunch (1997). Se han recomendado los siguientes pasos para emasculación de flores de *Opuntia*: (1) cepillar los glóquidos de la parte externa del brote para facilitar el manejo; (2) remover la corola, procurando no maltratar la flor, sin causar heridas y daños mecánicos al pistilo; (3) cuidadosamente remover estambres y anteras, cortando cerca de la base; (4) enjuagar abundantemente con agua limpia para remover residuos de polen y anteras; (5) limpiar la superficie maltratada con una toalla de papel absorbente; (6) dejar secar el tejido maltratado de 15 a 20 minutos; (7) cubrir la flor con una bolsa de papel o de glacín, y sellarla con una liga; y finalmente (8) colocar una etiqueta indicando la fuente de polen.

Las semillas producto de la polinización artificial, se extraen de la fruta madura, después son lavadas y secadas al sol. Se recomienda desinfectarlas con una solución de hipoclorito de sodio al 10 por ciento. La germinación mejora con la escarificación, para lo cual las semillas se deben colocar en agua caliente (80 °C) y dejarlas enfriar a temperatura ambiente, seguido por un remojo durante toda la noche. Las semillas pueden plantarse en medios estándares de germinación, para lo cual se requieren temperaturas altas (30-35 °C) e irrigación regular, con lo que se pueden obtener rangos aceptables de germinación (Mondragón, 1999). La germinación comienza después de una semana, pero puede durar hasta dos meses, dependiendo de la especie y de las condiciones de la semilla, del ambiente inmediato.

Cuando el primer cladodio crece de 5 a 10 cm, puede ser transplantado a pequeñas bolsas de plástico o macetas y colocados en un invernadero. El crecimiento de las plantas en el invernadero puede acelerarse si se les provee de fertirrigación y luz durante todo el día (14 horas). Las plantas que tienen un segundo cladodio (25-40 cm de altura total) son lo suficientemente maduras como para tolerar condiciones exteriores, pero aun son sensibles a heladas, por lo que deberían ser plantadas después de cualquier riesgo de bajas temperaturas (< 0 °C).

LIMITACIONES A LA HIBRIDACIÓN

La habilidad para generar semillas apomícticas derivadas del tejido nucelar de la semilla, y la duración de su período juvenil son las limitantes más importantes en la hibridación de *Opuntia*. Se ha informado apomixis en varias especies, incluyendo *O. aurantiaca* Lindl., *O. dillenii* Haw., *O. glaucophylla* Wendl., *O. leucantha* Link., *O. rafinesquii* Engelm., *O. tortispina* Engelm., y *O. ficus-indica* (L.) Mill. (Tisserat *et. al.*, 1979). Dentro de las especies de *Opuntia* cultivadas, la apomixis también es un fenómeno ampliamente extendido. Mondragón (1999), al trabajar con 17 poblaciones de origen mexicano producidas bajo condiciones de invernadero, encontró que todas las poblaciones producían semillas maternas, en diferentes rangos. Se condujo también un ensayo exploratorio para la identificación de apomícticos con marcadores fenotípicos y moleculares, encontrando que en las plántulas múltiples, aquellas que emergieron después poseían un patrón de ADN polimórfico (RAPD) que fue similar al del progenitor femenino, ofreciendo una herramienta para la identificación temprana de plántulas apomícticas.

El programa italiano de hibridación ha utilizado otro modo efectivo de separar plántulas sexuales. Asumiendo que el embrión más grande de la semilla es de origen sexual, son rescatados de las semillas y cultivados en medios nutritivos (Chessa y Nieddu, 1999), incrementando así el número de individuos cigóticos para la evaluación de campo.

Opuntia puede alcanzar la etapa de reproducción entre el segundo y el quinto año después del trasplante al campo, dependiendo de las condiciones de cultivo. Las plantas derivadas de semillas híbridadas entre los cvs. Cristalina y Reyna (que producen fruta después del tercer año de plantación), bajo óptimas condiciones en el Norte de Guanajuato, México, también comenzaron a producir fruta al tercer año (Mondragón y Fernández, observación no publicada). Afortunadamente, algunas características importantes que permiten identificar individuos superiores para su cultivo como forraje, incluyendo valor nutricional, digestibilidad y carencia de espinas, pueden ser evaluadas desde el segundo año de plantación. Por lo que una vez identificados los individuos más sobresalientes, pueden transplantarse porciones de sus cladodios y transplantarse a sitios de ensayo para su evaluación formal (Mondragón, observación personal).

RECURSOS DE GERMOPLASMA

Material Silvestre

En el norte de México se utilizan numerosas especies de *Opuntia*. Fuentes (1991) y Flores y Aranda (1997) informaron el uso de 10 a 18 especies, 15 de las cuales son platyopuntias, dentro de las que se incluyen *O. streptacantha*, *O. megacantha*, *O. leucotricha*, *O. robusta*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. engelmannii*, *O. cantabrigiensis*, *O. macrocentra* y *O. phaeacantha*, consideradas como las más importantes en cuanto a abundancia, distribución y preferencia por los mismos agricultores. Aunque realmente las más utilizadas son *O. engelmannii* y *O. lindheimeri* (De la Cruz, 1994). Todas las especies mencionadas tienen espinas y deben ser procesadas para un uso más eficiente. *O. robusta* presenta tipos con y sin espinas, pero algunos con pencas lisas son fuertemente atacadas por roedores durante su fase juvenil y no son fáciles de encontrar en estado silvestre. La especie *O. ellisiana* es ampliamente valorada en el sur de Texas y se utiliza *in situ* después de quemar las espinas (Felker, 1995).

Inclusive algunas especies molestas y dañinas al ganado, como *O. mycrodasy* (o *nopal cegador*, llamada así después del daño causado a los ojos por sus numerosos glóquidios) son consumidos cuando otras especies escasean (De la Cruz, 1994). Pueden encontrarse variedades de todas las especies cerca del material original, provenientes de semillas de origen sexual. La mayoría de los materiales silvestres se han informado con niveles bajos de ploidía (4x y 6x), aunque *O. streptacantha* cv. Cardona presenta $2n=2x=88$, como lo observaron Muñoz-Urias *et al.* (1995).

El uso de las plantas completas para alimentar al ganado, pone en peligro a las poblaciones silvestres en el norte de México. Ya que frecuentemente, son eliminadas para incrementar el volumen recolectado y el ingreso monetario, disminuyendo severamente las posibilidades de recuperación. El problema no puede solucionarse fácilmente, ya que las plantas se cosechan para utilizarse en establos lecheros urbanos, lejos de las poblaciones nativas y beneficiando a otros usuarios. El germoplasma disponible en estas áreas, ha sido apenas evaluado, y el riesgo de pérdida de individuos valiosos es en verdadera amenaza, por que los efectos sobre la variabilidad de *Opuntia* pueden ser desastrosos. Se requiere de una iniciativa oficial federal para forzar el uso racional y la conservación *in situ* de *Opuntia* silvestre, junto con esfuerzos intensivos para rescatar el germoplasma útil.

Fuentes de germoplasma en huertas familiares

Los huertos familiares de *Opuntia* son comunes en el área central semiárida de México y representan una etapa intermedia en la domesticación de la *Opuntia*, y constituyeron la fuente original de plantas para las primeras huertas comerciales (Pimienta-Barrios, 1990). En estos sitios, los clones frutales son importantes, pero los clones de uso múltiple, para fruta, verdura y forraje, también están presentes en estas colecciones domésticas. Los materiales mixtos de genotipos con y sin espinas se encuentran disponibles a lo largo y ancho de toda la zona de distribución. Las plantas del huerto familiar representan una fuente de alimento con disponibilidad inmediata para el ganado doméstico durante la sequía. Aunque los genotipos sin espinas son los favoritos por su fácil manejo.

Las huertas familiares son los mejores lugares para encontrar tanto individuos de origen sexual como clonal. *Opuntia* es capaz de un cierto grado de polinización cruzada, permitiendo la generación de nuevos híbridos derivados de cruces naturales. En estos lugares, la depredación de semillas puede ser menor, y las condiciones de crecimiento mejoran gracias al agua de riego y abono de animales domésticos. Los esfuerzos de recolección en México han sido enfocados a huertas familiares, pero se requiere de una evaluación completa para su uso como forraje basado en la alta productividad de biomasa bajo condiciones de cultivo.

PRIMEROS INTENTOS DE CULTIVO DE OPUNTIA COMO FORRAJE

La hibridación de *Opuntia* fue realizada por primera vez por Luther Burbank a principios del siglo XX, lo que condujo al desarrollo de lo que se conocía como cactus "sin espinas". Burbank observó un inmenso potencial para dichos materiales como forraje en regiones semiáridas, por lo que desarrollo diferentes variedades y realizó un agresivo comercio con cinco de ellos (Dreyer, 1985). Se decía que eran el resultado de cruces y selecciones extensivas realizadas entre materiales provenientes de México y otros países. Hoy en día, cuatro de estos cultivares permanecen en la colección de Sudáfrica.

A pesar de la enorme importancia de *Opuntia* como recurso para México, la especie permaneció en el olvido por la comunidad científica mexicana por más de medio siglo. La hibridación formal en México comenzó hasta la década de los años 60. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro inició investigaciones con la idea de seleccionar individuos tolerantes a las bajas temperaturas de las regiones semiáridas del Norte de México (Martínez, 1968, Borrego *et al.*, 1990). Durante esa misma década, Facundo Barrientos (qepd), del Colegio de Posgraduados en Chapingo, fue el pionero en realizar hibridaciones de *Opuntia* en México.

Los cultivares mejorados en México

Las series de cultivares COPENA, como CPF1, CPF2 y CPF3, pertenecen a *O. ficus-indica*, fueron desarrollados por el Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura, y seleccionados para producción de forraje, mientras que el cv.

CPV1 se recomendó para usarse como verdura (Barrientos, 1965 a, b), aunque sus pencas maduras también pueden usarse como forraje. Actualmente, solo CPF1 y CPV1 se cultivan en pequeñas parcelas en el centro de México.

La variedad COPENA-F1, o CPF1, produce pencas largas, delgadas y verdes, excelentes para consumo humano, cuando están maduras. Las frutas de estos cultivos son de color verde claro, con pericarpio delgado y ligero chapete en la parte expuesta al sol. Bajo condiciones de lluvia, se produce al menos una serie de pencas por temporada de crecimiento.

El cv. «Pabellón» tiene pencas ovaladas, gruesas y de color verde oscuro; las plantas adultas producen frutas rojas muy jugosas, similares a las del cv. Roja Lisa. Probablemente, se trata de una selección de Aguascalientes, México. Ambas están disponibles en la mayoría de bancos de germoplasma recientemente formados en México.

Los cvs. ANF1 y ANV1 fueron desarrollados durante la década de los años 60 por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Dado que no producen espinas, son apropiadas para producción de forraje. Su plantación se promovió en el norte de México, pero con un éxito limitado, debido probablemente a la falta de interés en el cultivo, por la abundancia natural de dicha especie en los recursos silvestres en la zona.

Las “Palmas de Brasil”

El nordeste de Brasil es el área más importante para la producción de forraje de nopal en el mundo y en dicha región, los cvs. “Palma Gigante” y “Palma Redonda” (ambas *O. ficus-indica* Mill.) son los más ampliamente cultivados. Junto con el cv. “Palma Miuda” (*Nopalea cochenillifera* Salm. Dick), la cual tolera condiciones más húmedas, son la base de la producción comercial. Estos cultivares producen fruta pequeña y dulce, pero sin valor comercial. Fueron introducidos a Brasil por los portugueses durante la etapa colonial.

El cultivar “IPA-Clon 20” fue seleccionado de semillas de polinización abierta obtenidas de “Palma Gigante” (*O. ficus-indica* Mill.). En ensayos de campo, produjo 50 por ciento más forraje que su progenitor materno (Arruda y Warumby, 1999).

Las selecciones sin espinas de Burbank cultivadas en Sudáfrica

Se cree que *O. ficus-indica* fue introducida a Sudáfrica hace al menos 250 años (Zimmerman y Moran, 1991), brindándole a esta tierra, el registro más antiguo de *Opuntia* introducido como cultivo forrajero. La introducción moderna comenzó hasta 1914 e incluyó 22 entradas: 19 de “hojas” verdes y 3 de “hojas” azules, obtenidas a través de semillas derivadas de la autofecundación controlada. A partir de esta colección inicial, y asumiendo polinización cruzada, se han encontrado numerosos híbridos. Estas selecciones fueron obtenidas por Luther Burbank en California, de material recolectado en América Central (Wessels, 1988).

Las selecciones de Robusta, Monterrey y Chico, descritas como cultivares sin espinas de hojas azules (probablemente *O. robusta*, basado en el tono azul del cladodio, así como en la pulpa y fruta rojas), fueron importadas como semillas de los Viveros Burbank, para ser cultivadas como material de forraje (Wessels, 1988). Robusta y Monterrey son altamente productivas, mientras que Chico presenta cierta resistencia al frío. Todas las *Opuntias* sin espinas de Burbank, poseen glóquidos minúsculos alrededor de las areolas y en el pericarpio (Brutsch y Zimmerman, 1990).

PROGRAMAS ACTIVOS DE HIBRIDACIÓN

Los primeros esfuerzos de selección y mejoramiento genético carecían de bases sólidas, pero actualmente se han iniciado una serie de programas de mejoramiento genético bien enfocados en países como Italia, México, Sudáfrica y EU, basados principalmente en la utilización de germoplasma local. Este interés renovado a sido alentado por la FAO-Naciones Unidas, y ha logrado la recolección de individuos silvestres y semidomesticados, así como la publicación de información sobre prácticas de manejo del cultivo y el desarrollo de nuevos usos para *Opuntia* (Barbera, 1995).

“D’Arrigo Brothers” es una compañía hortícola de California en los Estados Unidos que mantiene un programa privado de hibridación en *Opuntia* y cuyo objetivo principal es mejorar la calidad de la fruta en los materiales sin espinas, lo que ha resultado en la obtención del cv. “Andy Boy” (similar al cv. Rossa, producido y comercializado en Italia). A pesar de que el programa selecciona solamente materiales sin espinas, y no está interesado en el desarrollo de variedades para forraje ni para verdura, algunos de sus materiales más vigorosos deberían ser evaluados por otros grupos.

La Universidad de Texas A&M en la Estación de Kingsville (TAMUK), ha estado involucrada desde 1982 en la recolección e introducción de *Opuntia* en Estados Unidos, así como en la investigación y extensión agrícolas. El programa centra su atención en el desarrollo de materiales tolerantes a heladas, ya que el factor de frío es un problema común en la región (Wang *et al.*, 1997). En 1996, la primera serie de cruces marcaban el inicio de un programa de hibridación a largo plazo. En 1998, el material genético fue transferido a la Universidad Nacional Santiago del Estero en Argentina, donde continúan el trabajo vigorosamente. TAMUK también fue responsable por la popularización de *Opuntia* como verdura y de productos del

nopal en Texas. El cv. «Spineless 1308» (recolectada originalmente en la región tropical húmeda de Tamazunchale en México), ha tenido gran éxito entre productores y consumidores.

Otro programa activo de mejoramiento genético por hibridación se localiza en Sassari, Italia, y está enfocado principalmente a mejorar la calidad de la fruta en variedades sin espinas, y además, trabaja con otras especies de *Opuntia* con de valor ornamental.

La hibridación de *Opuntia* en Brasil, comenzó en 1985, con 85 clones obtenidos de semillas derivadas de polinización abierta del cv. "Palma Redonda", y otros 17 clones colectados en varias localidades brasileñas. La continua introducción de material genético desde Algeria, México, Sudáfrica y Estados Unidos, ha incrementado el número de progenitores a 1 400 clones en el Instituto Pernambucano de Pesquisa Agropecuaria, (Cordeiro y Albuquerque, este volumen), convirtiéndolo en el número más alto de clones para forraje en evaluación en el mundo. Los objetivos de este programa son una mayor productividad y valor nutricional, así como adaptación a ambientes más húmedos y cálidos.

OBJETIVOS DEL MEJORAMIENTO

Tolerancia a heladas

La hibridación entre especies nativas con tolerancia al frío y especies comerciales de alta productividad pero sensibles al frío, deberían ser los objetivos de programas de hibridación para ampliar el cultivo de *Opuntia* (Gregory *et al.*, 1993; Mizrahi *et al.*, 1997). Los cultivares de *Opuntia* más importantes resultan dañados, por lo general de modo irreversible, a temperaturas inferiores a -5°C (Russell y Felker, 1987b; Nobel y Loik, 1993). Algunas especies silvestres de *Opuntia*, como *O. fragilis* (Nutt.) Haworth y *O. humifusa* (Rafinesque), ambas nativas de Canadá, pueden tolerar temperaturas menores a los -20°C al aclimatizarse adecuadamente (Nobel y Loik, 1993). La tolerancia al frío es una característica importante para la producción de *Opuntia* (como fruta y como forraje) en el sur de Estados Unidos, donde ocasionalmente se registran heladas (Parish y Felker, 1997). La susceptibilidad a bajas temperaturas es la principal limitante para la expansión de *Opuntia* como forraje en áreas de producción de ganado en Estados Unidos. Russell y Felker (1987b) informaron que *O. ellisiana*, soportaba temperaturas de -9°C sin daño aparente en Texas, mientras que los materiales productores de fruta y forraje de Brasil, Chile, México y Sudáfrica, presentaban diferentes grados de daño. Los cultivares Sudafricanos para forraje sin espinas fueron los menos afectados.

Desde principios del siglo XX, Uphoff (1916) reportó que algunas especies de cactus con integumentos relativamente gruesos (debido a la presencia de cutícula, epidermis, capas con cristales y varias capas de paredes celulares) eran más resistentes a bajas temperaturas que aquellos con integumentos más delgados. De acuerdo con Goldstein y Nobel (1991), los bajos contenidos de agua y forraje de Brasil, Chile, México y Sudáfrica, podrían ser los responsables de la aclimatación a condiciones de frío.

Un factor clave en la resistencia a frío es el tiempo que permanecen las bajas temperaturas, tal como lo describieron Gregory *et al.*, (1993). En *Opuntia*, la falta de resistencia a heladas, probablemente no se deba a la falta de tolerancia a temperaturas frías *per se*, sino al rango de temperaturas entre el día y la noche, que generalmente va desde 28°C a -12°C en el mismo día en Texas. Lo que impide que la planta se aclimate y resulta dañada por el frío.

Borrego *et al.* (1990) reportó que la selección de materiales resistentes al frío, se inició en la Universidad Antonio Narro en el norte de México, por Lorenzo Medina en 1963, aprovechando un evento inusualmente frío de -16°C . Fueron seleccionados los 31 mejores individuos, junto con materiales sobresalientes productores de fruta y verdura recolectados de huertas familiares, que también sobrevivieron la helada,. Algunos de estos clones fueron introducidos después al sur de Texas por Peter Felker.

Parish y Felker (1997) identificaron varios clones promisorios dentro de su huerta experimental en Kingsville, Texas, un área con heladas recurrentes y temperaturas bajas de aproximadamente -12°C . El clon 1436, obtenido en Saltillo, México, demostró un alto nivel de resistencia a las temperaturas bajas y buena calidad de fruta. También sobresalieron otros dos clones, el 1 452 y el 1 458, recolectados en tierras altas expuestas a heladas tardías y ligera cobertura de nieve en el norte de México. Estos hallazgos indican la existencia de genes de tolerancia y la posibilidad de cultivar *Opuntia* en regiones más frías.

El desarrollo de híbridos con una mayor resistencia al frío en Kingsville, Texas, ha utilizado a *O. lindheimeri* con espinas como fuente de genes de resistencia., ya que junto con *O. ellisiana* han registrado tolerancia a temperaturas de -20°C . Ambas especies fueron cruzadas con progenitores sin espinas de fruta de buena calidad de México (Wang. *et al.*, 1997). La presión de selección ejercida sobre las familias híbridas y segregantes para identificar materiales sin espinas será de gran utilidad para seleccionar también variedades productoras de fruta o para forraje.

O. robusta, no tolera heladas, como se observó en Texas con la cvs. "Robusta", "Monterrey" y "Chico", de los cuales ninguno sobrevivió a -12°C en 1989 (Felker, 1995).

Cladodios sin espinas

La presencia de espinas en las pencas es un serio impedimento para el uso mundial de *Opuntia*, por lo que todos los programas de hibridación tienen como objetivo producir variedades sin espinas.

Se cree que las pencas sin espinas son el resultado del proceso de domesticación, ya que las plantas con pencas lisas no prosperan de manera silvestre. Aunque el factor hereditario de esta característica no ha sido identificado, se ha observado un retroceso de algunos materiales sin espinas a formas con espinas en Sudáfrica. Zimmerman y Morán (1991) informaron que los ejemplares sin espinas fueron introducidos a Sudáfrica hace más de 250 años, pero en ambientes silvestres regresaron a su forma original con espinas a lo largo de un período de casi 200 años. Las plantas con espinas son más agresivas y mejor adaptadas para extenderse. Estas pistas sugieren la existencia de genes recesivos asociados con la presencia de espinas, y confirman la habilidad de la *Opuntia* para reproducirse a partir de semilla.

Productividad

Se han observado sorprendentes diferencias en el vigor de la planta dentro de poblaciones de semillas derivadas de la autofecundación o de cruza, sugiriendo que estas diferencias son el resultado de la capacidad de la planta para realizar el proceso de fotosíntesis, así como de absorber nutrientes y agua. Esto podría expresarse como una mayor densidad de brotes y la capacidad de florecer en primavera, resultando en más cladodios por planta y/o con mayor tamaño. Esta característica constituye un factor de selección importante, particularmente si se asocia con pencas sin espinas, mayor digestibilidad y valor nutricional.

Dado que la producción de forraje involucra el uso total o parcial de la estructura vegetativa, la capacidad de producir nuevos cladodios y de recuperarse rápidamente después de la poda, son características de mayor importancia en los programas de mejoramiento. El tamaño de los cladodios está determinado por el genotipo (Mondragón, 1999), y en menor medida por el diseño de plantación y la fertilidad del suelo. Para promover la producción de biomasa, es preferible identificar y establecer variedades con cladodios de tamaño mediano para incrementar las densidades de plantación.

Alto contenido de proteínas

El contenido proteínico varía significativamente entre variedades y especies, pero generalmente se incrementa con la edad del cladodio. La proteína cruda varió ampliamente entre seis especies de *Opuntia* del norte de México (Fuentes, 1991). El valor más bajo fue observado en *O. rastrera* (2,8 por ciento) comparado con el 5,1 por ciento registrado en *O. ficus-indica*. Asimismo, según Murillo *et al.*, (1994), se han observado diferencias entre *O. lindheimeri* var. *tricolor* (2,81 por ciento), la cual tiene un mayor contenido proteínico que *O. lindheimeri* var. *lindheimeri* (4,0 por ciento). Es difícil separar el componente genético de esta característica, ya que también está fuertemente influenciado por la fertilidad del suelo y el manejo de la cosecha. De este modo, la selección de cultivares con alto contenido proteínico deberá conducirse bajo condiciones cuidadosamente controladas. Es poco probable que la ganancia genética del contenido proteínico asociada con la selección, sobrepase los efectos del manejo eficiente de la fertilidad del suelo.

Tolerancia a plagas y enfermedades

A pesar de que existe la opción del control químico, el desarrollo de cultivares tolerantes podrían ofrecer una alternativa más segura y económica para los productores. Hay numerosas plagas que afectan a *Opuntia*, y aunque se han observado variaciones en la susceptibilidad, aun no se han estudiado con la suficiente profundidad. La cochinilla silvestre (*Dactilopius coccus* Costa) y la chinche apestosa (*Chelindae tabulata*) parecen preferir cultivares con espinas (Mondragón, observación personal). La pudrición blanda ocasionada por *Erwinia*, afecta plantaciones tanto para forraje como para verdura en Italia, México y otros países, pero no existen informes sobre fuentes de resistencia en variedades comerciales.

CULTIVARES DE *Opuntia* MEJORADOS A PARTIR DEL 2000

La recolección de germoplasma de *Opuntia* pretende ampliar la gama de usos: fruta, vegetal o forraje. Por lo que los nuevos híbridos deberán someterse a una evaluación más extensa para incrementar los alcances del mejoramiento genético. La posible utilización de las pencas tiernas como verdura puede realizarse durante la fase juvenil, después del primer año de haber sido plantadas en el campo. Las pencas maduras, necesarias para la evaluación del uso forrajero, pueden obtenerse después del segundo año, sin entorpecer el crecimiento o el desarrollo de las plantas. Además del uso exclusivo para forraje, pueden existir variedades en las que sea posible combinar su utilización, ya sea fruta + forraje, o como verdura + forraje.

Los gustos y preferencias locales por ciertas hortalizas, pueden retardar la aceptación de los *nopalitos* en aquellos países donde no hay una tradición de consumo humano de *Opuntia*. Siendo así, la mejor combinación para productores –que no sean mexicanos– sería de forraje + fruta. La evaluación del contenido proteínico y el valor nutricional deberían incluirse como parte de la rutina para todos los nuevos cultivares. Existe muy poca información acerca del uso de las frutas como

suplemento de pencas maduras, y tampoco sobre el valor nutricional de una dieta basada en *Opuntia*, lo cual sería muy importante para promover su uso en países que no tienen una tradición de consumo de frutas.

Los nuevos cultivares deberán ser libres de espinas para facilitar su cultivo y manejo como forraje, por lo que debería promoverse el intercambio entre programas de mejoramiento genético. Asimismo, la modificación de los sistemas tradicionales de cultivo, podría permitir la introducción de *Opuntia* en nuevas regiones. Pues al promover la práctica de cultivos múltiples intercalados, permitiría la adopción gradual de *Opuntia* por parte de los nuevos productores. Aunque también los mejores cultivares con espinas pueden permitir la recuperación de tierras degradadas, ya que son menos afectados por roedores silvestres.

^[4] Candelario MONDRAGÓN JACOBO. Instituto Nacional de Investigaciones. Forestales y Agropecuarias, Guanajuato. México Salvador PÉREZ GONZÁLEZ. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. México

Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México

JUAN JOSÉ LOPEZ GARCÍA, JESÚS MANUEL FUENTES RODRÍGUEZ
Y ANDRÉS RODRÍGUEZ GÁMEZ¹⁶¹

EL GÉNERO *OPUNTIA* EN EL NORTE DE MÉXICO

Las condiciones ambientales y las variables fisiológicas se asocian con un amplio rango de ecosistemas semiáridos con flora y fauna diversas en el Norte de México, donde *Opuntia* es abundante y está ampliamente distribuida en comunidades específicas llamadas nopaleras. El género *Opuntia* está representado por 104 especies, 60 por ciento localizadas en el desierto Chihuahuense. Las especies más importantes de uso forrajero son: *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y *O. phaeacantha* (Bravo, 1978; Elizondo *et al.*, 1987).

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS NOPALERAS

Marroquin *et al.*, (1964) reconocieron tres grandes regiones cubiertas con opuntias en el Norte de México. Un enfoque más amplio, considerando todo el país, fue propuesto por López y Elizondo (1990), quienes reconocieron cuatro regiones ocupadas por nopaleras explotadas para forraje o fruta, o ambas.

A. Zona centro-sur. Que incluye partes de los estados de Puebla, Querétaro y Oaxaca, se caracteriza por tres tipos de nopaleras cultivadas para cladodios tiernos (nopalitas), fruta (tunas) y forraje. Las especies principales son *O. ficus-indica* (nopal de Castilla), *O. amychlaea* (nopal Alfajayucan), con algunas variedades cultivadas (Barrientos, 1972), *O. megacantha* (tuna amarilla) y *O. tomentosa*.

B. Zona del altiplano. Que se ubica principalmente en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, pero que también comprende partes de Aguascalientes, Durango, Guanajuato, y Jalisco. Incluye vegetación arbórea de *O. leucotricha* (nopal duraznillo), *O. streptacantha* (nopal cardón) así como plantas arbustivas de *O. robusta* (nopal tapón), *O. cantabrigiensis* (nopal cuijo), *O. rastrera* (nopal rastrero), *O. lindheimeri* (nopal cacanapo) y *O. leptocaulis* (nopal tasajillo).

C. Zona norte. Ubicada en el desierto chihuahuense, es la región de mayor tamaño e incluye los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Coahuila. Esta representada por vegetación arbustiva de *O. cantabrigiensis*, *O. phaeacantha* (nopal rastrero), y *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y *O. rastrera*..

D. Zona costera del Golfo de México. Cubre parte de los estados de Coahuila, norte de Nuevo León y Tamaulipas. Plantas arbustivas de *O. lindheimeri* asociadas con otras especies forrajeras;

DISTRIBUCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESPECIES FORRAJERAS

O. leucotricha. Es la especie más ampliamente distribuida en la región B, se encuentra a altitudes entre 1 500 y 2 500 m.s.n.m. con una lluvia anual que varía de 220 a 450 mm. Las poblaciones silvestres han sido severamente afectadas por el crecimiento continuo del área cultivada con maíz y frijol.

O. streptacantha. Esta presente en grandes extensiones de los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, y en menor extensión en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Guanajuato. Esta área está seriamente amenazada por la desertificación.

O. robusta. Crece en asociación con *O. leucotricha* y *O. streptacantha*. Está ampliamente distribuido en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes y Jalisco. Los nopalitas son grandes y suculentos, apreciados para consumo en fresco y en vinagre.

O. cantabrigiensis. Es un arbusto con tronco bien definido y espinas abundantes, usado principalmente para alimentar caprinos. Se encuentra ampliamente distribuido a altitudes de 1 500 a 2 200 m, a densidades relativamente bajas, sobre suelos calcáreos en los estados de Nuevo León, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo, Aguascalientes, Durango, Jalisco, Querétaro y Guanajuato.

O. rastrera. Arbusto de hábito rastrero, menor a 1 m de altura, ampliamente usado como forraje para vacas lecheras en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Aguascalientes. Crece bien en un amplio rango de tipos de suelo, desde delgados hasta profundos, rocosos y calcáreos. Algunas veces es encontrado formando densas comunidades.

O. lindheimeri. Se extiende sobre los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas alrededor de los 1 000 m de altitud, y en áreas con un promedio de lluvia anual de 400 mm.

Esta especie tiene cuatro variedades importantes, todas ampliamente apreciadas como forraje: *aciculata*, *major*, *phaeacantha*, *lindheimeri*, *subarmata* y *tricolor*.

O. phaeacantha. Crece silvestre en Coahuila y la parte sur de Chihuahua y Durango con únicamente 200 mm de lluvia anual a altitudes entre 1 500 y 1 700 m. Se han descrito cinco variedades útiles para forraje: *major*, *phaeacantha*, *discata*, *spinosisibaca* and *nigricans*, todas ellas de buena calidad.

O. engelmannii. Es encontrada al NE de zacatecas, y SO de Coahuila, a altitudes entre 1 700 y 2 200 m sobre suelos delgados y calcáreos. Es usado para alimentar cabras y ovejas principalmente.

O. imbricata. (Nopal coyonoxtle, xoconoxtle, cardenche o choya) exhibe una gran variabilidad y se encuentra ampliamente distribuido en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Chihuahua, Aguascalientes, Durango, Jalisco y Guanajuato. Crece bien en suelos relativamente pobres y es una planta invasora típica de pastizales con manejo deficiente. Usado como forraje de cabras y ovejas después de chamuscar las espinas *in situ*.

O. microdasys es un arbusto bajo sin espinas verdaderas pero con gloquidios pequeños (*ahuates*) y abundantes, los cuales pueden ser desprendidos por el viento y causar ceguera al ganado. Crece en suelos calcáreos, y es usado como forraje bajo condiciones de sequía extrema en la parte sur de Coahuila, norte de San Luis Potosí y Zacatecas.

O. violacea (nopal morado) reconocido precisamente por el color morado de sus cladodios. Es un arbusto bajo (< 1m) que crece en suelos profundos arcillosos de Chihuahua, Noroeste de Coahuila y este de Durango –áreas con solamente 200 mm de lluvia anual, veranos calientes (hasta 45 °C) e inviernos fríos (-8 °C). Su calidad forrajera es pobre.

O. rufida (nopal cegador) es un arbusto que crece hasta 2 m en suelos calcáreos arcillosos, en suelos de pendiente o en valles profundos. Sus cladodios son mas grandes que *O. microdasys*, y su calidad como forraje es también pobre. Es usado únicamente como forraje de emergencia (Elizondo *et al.*, 1987).

PRODUCCIÓN

Nopaleras silvestres

La disponibilidad de forraje de *Opuntia* en el Norte de México depende principalmente de poblaciones silvestres compuestas de las especies descritas anteriormente, las cuales se distribuyen en 283 000 km². Desafortunadamente estas áreas han sido objeto de uso indiscriminado y escaso manejo (Marroquín *et al.*, 1964). La sequía recurrente asociada con la escasez de otros alimentos animales han incrementado la demanda de forraje de *Opuntia*. La productividad e dichos agrosistemas es relativamente baja e inestable, fuertemente dependiente de el clima y las condiciones de manejo.

Los rendimientos varían de 25 a 125 ton/ha, dependiendo de la especie, el vigor de las plantas, el clima, la fertilidad el suelo y el sistema de manejo. Estos rendimientos asumen que el 75-80 por ciento de la masa aérea es usualmente cosechada. El período de recuperación es también significativamente dependiente de la lluvia y la intensidad de uso.

Nopaleras cultivadas

Existen varios sistemas de producción, desde replantación de nopaleras silvestres hasta producción intensiva basada en altas densidades de plantación y riego. Los programas gubernamentales enfocados a la recuperación de nopaleras severamente deterioradas han fallado debido a la falta de entendimiento de la complejidad de los sistemas de producción implicados. Las plantaciones son usualmente establecidas en tierras marginales y bajo manejo deficiente, lo que contribuye al fracaso de estos programas. Sin embargo, los programas federales deben continuar poniendo énfasis en el uso mas eficiente de los recursos naturales, para mejorar las condiciones ecológicas y socioeconómicas de las regiones semiáridas del Norte de México (López, 1977; Medina *et al.*, 1990).

Nopaleras bien atendidas plantadas con 2500 plantas por hectárea pueden producir arriba de 100 t/ha después del quinto año de plantación. El rendimiento observado al séptimo año es de 160 t/ha. Una producción sostenida puede conseguirse cosechando anualmente surcos alternos. Sin

embargo, en general las plantaciones son pobremente manejadas y el rendimiento promedio varia de 5 a 15 t/ha después del quinto de plantación.

Los factores que influyen en el incremento del rendimiento son:

Selección del sitio. Para producción intensiva es recomendable escoger la mejor porción de tierra en términos de condiciones de suelo. La plantación debe ser con alta densidad. Las plantaciones extensivas se sugieren solamente como ayuda para la recuperación del pastizal natural. La plantación bajo estas condiciones implica plantar a bajas densidades. Las plantaciones extensivas pueden ser establecidas en cualquier tipo de suelo.

Variedades. Es necesario contar con un amplio rango adaptación a las condiciones locales, expresados en el vigor, sanidad y productividad. Deben ser adecuadas para la alimentación de ganado, preferentemente sin espinas o con baja densidad de ellas, palatables sin efectos colaterales, de alto valor nutritivo, y de rápida recuperación después de la cosecha. Tolerancia a plagas y enfermedades es también deseable.

Propagación. La fuente de material para propagación debe ser de 1-4 años de edad, y colectado solamente de plantas sanas y vigorosas. Los cladodios son cortados en la base con un cuchillo afilado, el corte es desinfectado con caldo bordelés (1 kilo de sulfato de cobre, 1 kg de cal hidratada en 100 litros de agua) los cladodios se almacenan una semana en la sombra en un sitio seco. Se debe evitar el roce entre cladodios. Estas practicas incrementan el éxito de la plantación.

Preparación del suelo. Para plantaciones extensivas, los cladodios son depositados directamente en hoyos poco profundos sin perturbar la vegetación natural. Dependiendo de la pendiente, puede ser necesario construir terrazas o microcuencas. Una vez que las plantas están bien establecidas la vegetación circundante que sombrea las plantas debe ser eliminada o podada. En sistemas de plantación intensivos, las practicas comunes de preparación del suelo (barbecho y surcado en contorno) deben ser realizadas antes de plantar los cladodios.

Plantación. Bajo condiciones secas de primavera en la región del desierto Chihuahuense, es muy recomendable plantar después de la primera lluvia del verano. Sin embargo, si se cuenta con agua de riego adicional la plantación puede efectuarse en cualquier momento, pero la plantación al final del otoño parece ser la mejor época, debido a que se promueve la formación de raíces previa a la brotación vegetativa.

El mejor material de plantación es incluyendo dos cladodios, y se enterrando el 75 por ciento del cladodio basal. Si no existe suficiente material vegetativo, se pueden usar cladodios individuales, de acuerdo a la experiencia del autor la orientación de los surcos no es importante para el desarrollo inicial de la planta. **Densidad de plantación.** Usando 2 500 plantas/ha es posible producir 100 ton/ha al quinto año y 160 t/ha al séptimo año de la plantación. Si la densidad se incrementa hasta 40 000 plantas/ha en suelo fértil y con manejo intensivo, incluyendo fertilización y riego, el rendimiento puede alcanzar 400 ton/ha (Barrientos, 1972). Sin embargo, los rendimientos actuales en las regiones áridas de Coahuila son muy bajos, variando de 5 a 15 ton/ha.

Manejo del cultivo. El cuidado durante los dos primeros años implica solamente la eliminación de cladodios nuevos que crecen muy juntos, los cuales pueden ser usados para consumo humano (si se cosechan tiernos) o como forraje si son cladodios maduros. Aunque no es común en algunas nopaleras se permite la producción de fruta para satisfacer las necesidades familiares o la demanda de los mercados locales. Bajo estas circunstancias, se practica una poda menos intensiva, dejando unos cuantos cladodios de un año de edad, donde se diferenciarán frutos en el siguiente año.

SISTEMAS DE COSECHA

El uso de *Opuntia* como fuente de forraje para ganado vacuno, ovino o caprino es una tradición antigua en el Norte de México. La cosecha de cladodios varia desde el consumo directo por el animal en el campo hasta varios tipos de cosecha practicadas por los rancheros.

Las variantes observadas en las explotaciones ganaderas intensivas son:

Consumo directo. Las plantas de nopal son consumidas completas, incluyendo las espinas por las el ganado vacuno, caprino u ovino. Esta practica es ineficiente y resulta en daños serios a los animales incluyendo la muerte.

Despunte. La porción superior de la penca -que posee la mas alta densidad de espinas- es removida con cuchillo permitiendo posteriormente al animal alimentarse de las plantas. La principal desventaja es el desperdicio de cladodios.

Chamuscado en pie. La planta es expuesta al fuego completamente, usando un quemador de gas o keroseno, y se permite que los animales consuman la planta hasta la base. Esta practica es combinada con el pastoreo en el caso de ovejas y cabras.

Chamuscado y picado in situ. Los cladodios son cosechados y las espinas eliminadas con leña o quemador de gas. Posteriormente los cladodios son picados y ofrecidos a los animales.

Un caso especial es la cosecha de nopal para usarse en los establos suburbanos. Las plantas se cosechan enteras y se transportan hasta los establos, donde se chamuscan y pican. Dependiendo del tamaño del establo, el picado de nopal se hace manualmente o con maquinaria especialmente adaptada.

Desafortunadamente, todos los sistemas son destructivos hasta cierto punto, ya que están basados en los nopales silvestres, y deben de ser regulados porque ninguno considera la replantación, conduciendo al agotamiento de este recurso natural.

Una práctica adecuada consiste en cortar cladodios en forma extensiva, chamuscarlos para eliminar las espinas y permitir el consumo animal directamente en el campo, o picarlos en porciones pequeñas para facilitar el consumo. Prácticas de cosecha alternativas –y más eficientes- incluyen la cosecha de comunidades densas, transporte a los establos, chamuscado y picado en porciones pequeñas para alimentar a los animales.

CONSUMO POR LOS ANIMALES

Se estima que el ganado vacuno puede consumir de 15 a 40 kg de cladodios frescos/día/cabeza, pero bajo condiciones de sequía extrema el consumo puede alcanzar hasta 90 kg, si hay abundancia de cladodios, mientras que las ovejas y cabras consumen entre 3 y 9 kg/día. Durante la estación lluviosa, el consumo puede decrecer si existe pasto u otros forrajes.

Para ganado estabulado y ovejas, el consumo de nopal varía ampliamente (de 15 a 95 kg/día) dependiendo de la disponibilidad de otros forrajes. Los forrajes más comunes usadas como complemento del nopal son: alfalfa (fresca o henificada), rastrojo de sorgo, harina de maíz o de semilla de algodón. Las fuentes de heno más comunes son el rastrojo de maíz o frijol, trigo o avena, que poseen bajo valor nutricional comparados con opuntia. La demanda de nopal se incrementa día a día, particularmente durante períodos de sequía.

VALOR NUTRICIONAL

El uso de opuntias como alimento humano, para animales domésticos y silvestres ha sido muy importante en las regiones áridas y semiáridas del Norte de México durante siglos. Aunque ha sido considerado pobre en términos de nutrientes y fibra, constituye la principal fuente de agua en los sistemas de producción tradicionales, particularmente durante la época seca de invierno y primavera. Opuntia es un ingrediente clave para suplementar la dieta de los animales domésticos debido a su:

Contenido de agua. Opuntia es una de las principales fuentes de agua para los animales en el norte semiárido. Sin embargo, la cantidad total de agua almacenada depende de la especie y la variedad (Tabla 1). El contenido de agua es fuertemente influenciado por las condiciones ambientales.

Contenido de materia seca (DM). Varios factores afectan significativamente el contenido de DM, endógenos (especie, genotipo y variedad) y ambientales, tales como el suelo, el clima y al estación del año (Tabla 2).

Análisis bromatológico. Hay diferencias significativas entre los datos informados de los análisis de tejidos, asociados con la variación entre especies, factores fisiológicos, fertilidad del suelo, clima, etc. (Tabla 2).

Tabla 1. Contenido de agua entre especies y variedades de nopal forrajero en Saltillo, Coah., México.

Especie	Contenido de Agua	
	Máxima	Mínima
<i>O. ficus –indica</i>	93	88
<i>O. cantabrigiensis</i>	84	68
<i>O. lindheimeri</i> var. Tricolor	86	72
<i>O. lindheimeri</i> var. subarmata	87	76
<i>O. imbricata</i>	84	70

Minerales. Existen pocos informes de estudios sobre contenido mineral de Opuntia en México. De acuerdo con Bravo (1978), los principales componentes minerales de las cenizas de Opuntia son calcio, potasio, magnesio y sodio, usualmente encontrados como sales y silicio. Hierro y aluminio son encontrados en trazas.

Digestibilidad. La tasa de consumo del animal es afectada por la especie, la variedad y la estación del año (Tabla 3), la edad del cladodio (Tabla 4) y sus interacciones correspondientes (Revuelta, 1963; Flores y Aguirre, 1992).

Morrison, (1956) reportó valores de digestibilidad como fibra, 40 por ciento; grasa cruda 72 por ciento; proteína 44 por ciento y extracto libre de nitrógeno (ELN) 78 por ciento, mientras Murillo *et al.*, (1994) en un estudio de la influencia de la adición de levaduras suplementadas con dos fuentes de nitrógeno encontró que con la adición de levadura la digestibilidad fue de 61,6 por ciento; si se combinaba sulfato de amonio con levadura, la digestibilidad aumento a 93,9. La adición de levadura y urea se asoció con una digestibilidad de 76,8 por ciento.

Tabla 2. Análisis bromatológico de diferentes géneros, especies y variedades de nopal (por ciento en base a materia seca).

Especie	MS	MO	PC	GC	Fibra	Ceniza	ELN	Autor
<i>Nopalea spp.</i>	10.69	73.79	8.92	1.51	17.21	26.21	50.7	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.11	4.32	26.55	64.33	Palomo, 1963
<i>O. tenuispina</i>	12.45	70.21	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	"
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.44	68.87	"
<i>O. rastera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	"
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	"
<i>O. cantabrigiensis</i>	11.86	68.46	4.79	1.09	3.71	31.54	58.87	"
<i>O. engelmannii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	"
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	"
<i>O. lindehimeri</i>	11.57	74.51	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	"
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	"
<i>O. streptacantha</i>	16.01	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	Griffiths y Hare, 1906
<i>O. leucotricha</i>	14.01	74.01	7.56	2.66	14.01	26.00	49.78	"
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	"
<i>O. cacanapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.21	27.49	54.04	"
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	"
<i>O. duranguensi</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91	Bauer y Flores, 1969
<i>O. ficus - indica</i>	11.29	86.93	3.81	1.38	7.62	13.07	74.13	"
var. Amarillo oro								
<i>O. ficus - indica</i>	13.36	81.55	3.66	1.76	9.18	18.45	69.95	Baurer y Flores, 1969
<i>O. spp.</i>	10.01	-----	5.71	3.01	8.11	12.01	55.01	Lastras y Pérez, 1978
<i>O. ficus-indica</i>	8.01	-----	6.81	1.01	-----	8.88	81.25	" " "
<i>O. ficus-indica</i>	7.96	-----	4.04	1.43	8.94	19.92	65.67	" " "
<i>O. imbricata</i>	10.41	-----	5.01	1.81	7.81	17.30	68.11	" " "

Clave: MS: materia seca, MO; materia orgánica, PC; proteína cruda, GC; Grasa cruda, ELN; extracto libre de nitrógeno.

Tabla 3. Variación en el contenido de nutrientes digestibles de nopal sin espinas.

Epoca	Proteína Cruda	Grasa Cruda	E.L.N.	Celulosa
Invierno y Primavera	0.2 - 0.3	0.08 - 0.12	3.0 - 5.5	0.4 - 1.0
Verano y Otoño	0.3 - 0.4	0.15 - 0.16	6.5 - 11.0	0.8 - 2.0

Fuente: Revuelta,(1963).

Tabla 4. Nutrientes digeribles en pencas de nopal de diferente tipo y edad.

Variedad	Proteína Cruda	Grasa Cruda	Fibra	E.L.N.
Espinoso				
Pencas de un año	0.24	0.14	0.43	5.22
Pencas de dos años	0.21	0.17	0.51	4.73
Inerme				
Pencas de un año	0.22	0.17	0.49	4.81
Pencas de dos años	0.18	0.19	0.63	4.39

Fuente: Revuelta,(1963).

EL NOPAL Y LA PRODUCCIÓN ANIMAL

La información disponible sobre el uso de *Opuntia* como alimento de ganado en explotaciones productoras de carne extensivas e intensivas así como en la producción de leche denota su importancia (Fuentes, 1966).

Producción de carne

Griffiths, (1905) reportó los primeros resultados, señalando la importancia de *Opuntia* como fuente de alimento para animales domésticos. Estos hallazgos preliminares, fueron derivados de alimentar bovinos para carne, fueron basados en un estudio de 15 semanas:

- La harina de maíz + *Opuntia* es mejor que el grano de maíz+ mezcla de *Opuntia*
- El consumo promedio por animal fue de 48 kg
- La ganancia de peso diaria fue de 0,85 kg, y
- Se requirieron 55 kg de *Opuntia* combinados con 2,5 kg de harina de maíz para producir 1 kg de carne

Experiencias reportadas de Brasil concluyen que el 60 por ciento del requerimiento total de energía podrían ser suministrados por *Opuntia*. Aumentando la proporción de proteína (de harina de maíz y *mamona* (*Melicocus bijugatus*) o proveyendo melaza no incrementó la ganancia de peso de los animales de razas Cebú, Indobrasil, y Guzerat (Viana *et al.*, 1965). La diarrea causada por el exceso de *Opuntia* fue controlada exitosamente proveyendo paja de sorgo a una dosis de 0,75 kg a 1,3 kg/día/animal.

En un estudio conducido por Fuentes (1991) en siete sitios de Coahuila, 685 animales en libre pastoreo y suplementados con rastrojo de maíz, melaza y urea fueron alimentados también con 10 a 20 kg de nopal chamuscado. La ganancia diaria de peso varió de 0,1 a 0,6 kg. *Opuntia* proveyó 7,8 por ciento de la energía total de mantenimiento, 20,6 por ciento de la proteína, 50 por ciento del fósforo y 100 por ciento de los requerimientos del calcio recomendados por el NRC (1984).

Estos resultados apoyan la importancia de incluir *Opuntia* en la dieta de los animales domésticos, basados en experimentos combinando especies, condiciones locales y sus interacciones correspondientes.

Producción de leche

Desde los inicios del siglo XX, la mayoría de las áreas suburbanas del Norte de México proveían de leche a las grandes ciudades, y es una práctica común la inclusión de *Opuntia* en la dieta regular de las vacas lecheras. Existe la creencia de que la suplementación con *Opuntia* incrementa no solo la producción de leche, sino que mejora la calidad de la mantequilla en términos de consistencia, y vida de almacén, así como también imparte un atractivo color "dorado" al producto final (Griffiths, 1934; D'Arces, 1941; Aguilar, 1946; Blanco, 1958; Calvino, 1952; González *et al.*, 1998).

Por el contrario, Gonzalez *et al.*, (1998) reportó que la producción de leche de vacas Holstein decreció con el incremento de *Opuntia* en la dieta. Por lo que recomiendan usarlo solamente del 20 al 30 por ciento (en base seca) y suplementar con heno de alfalfa, avena o sorgo para obtener un balance positivo entre los costos de producción y las ganancias.

El consumo diario de *Opuntia* en el sur de Coahuila (Fuentes,1991) y Nuevo León (Fuentes,1992), oscila entre 20-30 y 25-40 kg/cabeza, respectivamente. Se ha estimado que en tales condiciones *Opuntia* provee el 4,5 por ciento de la energía total requerida para lactancia, 12,2 por ciento de las proteínas, 46 por ciento de la fibra cruda, 15 por ciento del fósforo y 100 por ciento del calcio comparado con los requerimientos recomendados (NRC, 1984).

Ovejas

Bajo el sistema de libre pastoreo en el campo, las ovejas consumen menos *Opuntia* que las cabras, el consumo alcanza aproximadamente 3-5 kg/día.

Otros estudios llevados a cabo fuera de México reportan que bovinos alimentados durante 400 días sin beber agua, no mostraron efectos colaterales serios (Rosouw, et al., 1971). Aunque en Sudáfrica los informes indican hasta 525 días (Havard,1969; Terblanche *et al.*, 1971). Aunque no hay incremento de peso, los animales pueden ser salvados de la inanición.

El consumo de *Opuntia* por ovejas es asociado con mejoramiento de la calidad de la lana, atribuido al incremento del contenido de lanolina, tal como lo reporta Ríos, (1954) y Revuelta, (1963). El efecto fue observado con un consumo diario de 7 kg/ animal en Tamaulipas y Nuevo León (Ríos , 1954) y hasta 9-10 kilos en otras regiones (De Klerk, 1960).

Usando un modelo de regresión lineal, Flores (1977) predijo un incremento de 2 a 3 veces en peso corporal de ovejas alimentadas con *Opuntia* y suplementadas con heno de alfalfa, remolacha, y maíz ensilado para ovejas de 32 kilos de peso.

Terblanche *et al.*, (1971) estudió la influencia de una dieta basada exclusivamente en *Opuntia* sobre el peso de borregos Merino usando nopal fresco (10 por ciento de MS), seco (27 por ciento de MS) y cladodios deshidratados (87,9 por ciento de MS). Este ultimo tratamiento resultó la mejor opción (Tabla 5).

Tabla 5. Influencia del contenido de humedad de cladodios de *Opuntia* en la pérdida de peso corporal de borregos Merino.

Otros animales

En el Norte de México las cabras pastorean libremente y se alimentan con *Opuntia* todo el año, pero consumen mas este cacto desde fines del otoño hasta el final de la primavera. El consumo diario varia de 3 a 9 kilos en el campo, pero se incrementa hasta 11 kg cuando son estabuladas.

El pastoreo abierto, el chamuscado *in situ*, y la recolección de cladodios son los métodos de uso de *Opuntia* para el caso de bovinos.

Las especies mas usadas en el Norte de México para alimentar cabras incluyen: *O. leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O.cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. imbricata*, *O. microdasys* y *O. leptocaulis*. Todas estas especies usadas como forraje presentan espinas abundantes, las cuales son duras y largas y poseen abundantes gloquidios (ahuates), los cuales causan serios problemas en los ojos y boca de los animales domésticos que se alimentan con ellos. *Opuntia* es extremadamente importante para la fauna silvestre, probablemente mas que para los animales domésticos, soportando la rica fauna del desierto Chihuahuense.

PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS

Las sequías recientes en el Norte de México han dado como resultado la perdida de más de 200 000 cabezas de ganado, y consecuentemente la demanda de *Opuntia* se incrementa rápidamente. Hace algunas décadas *Opuntia* era colectado a distancias de 20 km de los centros urbanos, actualmente es necesario transportar plantas de distancias que exceden 100 km (Marroquín *et al.*, 1964).

Los sistemas de producción practicados actualmente destruyen la vegetación y aceleran la desertificación, representando un serio peligro para la flora y fauna nativas del Norte de México. Por lo tanto, es muy importante que se implementen proyectos de rehabilitación que incluyan las especies nativas, tales como *Opuntia*, *Agave*, *Acacia.Mimosa*, entre otras.

^[5] Juan José LÓPEZ-GARCÍA, Jesús Manuel FUENTES RODRÍGUEZ y Andres RODRIGUEZ GÁMEZ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Opuntia como forraje en el noreste semiárido del Brasil

DJALMA CORDEIRO DOS SANTOS Y SEVERINO GONZAGA DE ALBUQUERQUE^[6]

INTRODUCCIÓN

La historia de la introducción de *Opuntia* como forraje en Brasil es un tópico de debate, pero probablemente fue introducido en el S. XVIII, de las Islas Canarias, para la cría de cochinilla (*Dactilopius cacti* L.) en la producción de colorantes (Pessoa, 1967). Después de perder competitividad, la producción de colorantes decayó, y tanto *O. ficus-indica* como *Nopalea cochellinifera* Salm-Dyck pasaron a ser plantas ornamentales. La utilización de *Opuntia* como forraje en la regiones semiáridas del Noreste de Brasil comenzó el S. XX. La introducción de variedades mejoradas en Estados Unidos por el genetista norteamericano Luther Burbank (Hardwood, 1930) es también controvertida (Domínguez, 1963). *Opuntia* fue usada como forraje después de 1915 (Pessoa, 1967) y debido a la gran sequía de 1932, el gobierno federal estableció numerosos lotes de propagación (Duque, 1973) que sirvieron como base para la diseminación de esta especie en el Noreste.

Opuntia es cultivada en el Noreste semiárido principalmente por productores de bovinos, y las mayores superficies de cultivo se encuentran en los estados de Alagoas, Pernambuco y Paraíba. De acuerdo con Correia, (1986) y Timbau, (1987), ca. 400 000 ha fueron cultivadas en el Noreste. Para entender la distribución de *Opuntia*, es necesario conocer las zonas fisiográficas de la región, las cuales en el estado de Río Grande du Norte y en los estados anteriormente citados son definidas en términos de la lluvia, en tres grandes áreas: Mata, Agreste, y Sertão (Figura 3). En los estados de Río Grande del Norte y Paraíba, existen zonas con otros nombres, tales como Seridó y Cariri que forman parte del Sertão. Descripciones más detalladas están disponibles, Silva *et al.*, (1992). Sin embargo para facilitar la comprensión se mantendrá la zonificación más simple,—que también es la más usada popularmente.

En la zona Mata existen dos factores importantes para la agricultura, la alta precipitación —más de 1400 mm anuales- y los suelos fértiles. La región ha sido dedicada al cultivo de la caña de azúcar desde la colonización. La zona Agreste se localiza hacia el interior, en las tierras altas de Borborema, posee una precipitación anual de alrededor de 700 mm, distribuidos irregularmente pero concentrados en los meses de Marzo a Agosto —la estación con la menor evapotranspiración- y con temperaturas nocturnas frescas. El Sertão presenta altas temperaturas, y las lluvias ocurren durante los meses mas calientes. En la zona Agreste , así como en el Sertão, la estación seca es larga, durando de 6 a 7 meses y 7 a 8 meses respectivamente, con sequías severas cada 10 a 11 años. En la zona Agreste los predios son pequeños, alrededor de 40 ha, y dedicados principalmente a la producción lechera. Felker, (1995) reportó, que en el noreste se puede encontrar plantaciones de opuntia de 2 a 10 ha aproximadamente a cada 10 km. En años recientes, las plantaciones de *Opuntia* se han incrementado en la mayoría de los estados norteros. Los autores estiman que actualmente al superficie plantada cubre aproximadamente 500 000 ha.



La variación regional en precipitación es de 300 a 750 mm/año, con una distribución estacional irregular, lo que no ha limitado el establecimiento de esta planta forrajera, que con su mecanismo fotosintético MAC, hace un uso mas eficiente del agua que otras plantas forrajeras C3 o C4.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA

Durante el período de 1965 al 2000, algunos factores importantes que afectaron la agricultura en el noreste semiárido son:

1) algunas especies valiosas perdieron competitividad económica, y fueron retiradas del cultivo, es el caso del algodón perenne (*Gossypium hirsutum* L. Var. *Marie-Galante*), el algodón anual (*Gossypium herbaceum* L.) sisal o henequén (*Agave sisalana* Perr.) y la higuera (*Ricinus communis* L.).

2) Algunos beneficios sociales fueron extendidos a los trabajadores rurales, lo cual encareció el costo de la mano de obra.

3) Probablemente como resultado de los costos de mano de obra, ha habido un éxodo intenso de las áreas rurales a las zonas urbanas y a otras regiones, actualmente, el 32 por ciento de la población de las regiones semiáridas vive en el campo. Al mismo tiempo, los estudios han demostrado que los cultivos alternativos, representados por los cultivos de subsistencia tales como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), no fueron opciones atractivas debido a que la probabilidad de obtener buenos rendimientos era de únicamente el 20 por ciento. Debido a lo anterior, la ganadería se transformó en la actividad más importante del noreste semiárido, aunque su contribución al producto nacional bruto es todavía muy baja.

La ganadería en estas regiones es de doble propósito: leche y carne, aunque cerca de los centros urbanos, la proporción de razas con propósito lechero como Holstein se incrementa. En algunas situaciones se transforma exclusivamente en lechera y la vaca es ordeñada sin la cría. La producción más importante de opuntia se da en Agreste, Cariri, Pernambuco y Alagoas Agreste. La mayoría de los pastizales de Agreste son nativos, basados en el pasto anual *Brachiaria plantaginea* al inicio de la estación lluviosa y el pasto perenne *Chloris orthoton* Doell., en los meses siguientes. Estas dos gramíneas emergen después del desmonte. El pasto Pangola (*Digitaria decumbens* Stent) ha tenido cierta adopción desde los sesentas, pero en años recientes con la reducción de la precipitación ha tendido a la desaparición, siendo reemplazado por *Digitaria pentzii*, pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) y *Urochloa mosambicensis* (Hack.) Dandy. En el Cariri, los pastizales están basados en "caatinga", un tipo de vegetación de selva espinosa de zonas secas.

Opuntia es generalmente plantado en enero-febrero, antes del inicio de las lluvias, aunque en Alagoas algunos productores lo plantan al final de la época de lluvias, con el fin de que se establezca antes de la siguiente estación de crecimiento. Las cosechas las determina la necesidad de forraje, pero no se efectúan anualmente. El transporte a los establos se hace por medio de carretas de mulas o bueyes equipados con arneses de ramas de árboles, así como en camionetas y tractores. Algunos ganaderos lo fraccionan manualmente con machete o cuchillos, mientras que otros usan máquinas picadoras de forraje. Al inicio de los sesentas se diseñó una máquina picadora: esta tiene dos entradas, una para pastos u otros forrajes similares, y otra para opuntia. El material picado es distribuido a los animales usando canastos, carretas de bueyes, o picado directamente en el comedero, los cuales generalmente son techados.

Conscientes de las deficiencias nutricionales de *Opuntia*, cuando se usa como alimento único, los ganaderos han adoptado el forraje de sorgo, como una parte integral de los sistemas de producción de ganado (Melo *et al.*, 1992).

DENSIDADES DE PLANTACIÓN

Las primeras publicaciones sobre *Opuntia* (Silva, 1931; Cesar, 1932) contenían información sobre el cultivo y el valor nutricional, aunque no estaban basados en resultados experimentales. La investigación en *Opuntia* comenzó en el Instituto de Experimentación Agrícola de Pernambuco (IPA) (Souza, 1963). La meta era obtener información de varios factores, tales como densidad, evaluación de los cultivares regionales, fertilización orgánica, etc. Basados en un diseño 3³, cultivar x densidad x dosis de estiércol. Estudios similares se condujeron en los años siguientes (Souza, 1963; Metral, 1965; Lima *et al.*, 1974 a, b).

El cultivo intercalado con sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) en Agreste fue otro factor incluido (Farias *et al.*, 1989), Albuquerque y Rao (1997) estudiaron la densidad de plantación y el cultivo intercalado de sorgo y caupí en Sertão.

Hasta los noventa, los resultados de investigación no indicaron ventajas de la utilización de densidades de opuntia mayores de 10 000 plantas/ha (Tabla 6), con excepción de Farias *et al.*, (1986). En contraste el uso de mayores distancia entre hileras que permite el cultivo intercalado fue más atractivo para los productores ya que facilita el control de malezas. Los resultados de uso de herbicidas no han sido satisfactorios.

Table 6. Rendimiento del nopal a diferentes densidades de plantación.

Densidad (miles de plantas/ha)							
<10	10	13 - 15	20	40	Cultivar	Localidad	Referencia
.....ton/ha							
26.85	36.23		49.73		Los tres cvs.	V. S. Antão - PE	Souza, 1963
52,55	75,61		78,50		Los tres cvs.	Arcoverde - PE	Souza, 1963
32,03	48,29	47,08	47,23		Redonda	Arcoverde - PE	Metral, 1965
21.98	32.82	39.60	50.50		Gigante	Arcoverde - PE	Metral, 1965
8.46	13.00	15.10	14.76		Miúda	S. B. do Una - PE	Metral, 1965
14.88	20.38	22.36			Gigante + Miúda	S. B. do Una - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974a
14.66	18.51	19.22			Gigante + Miúda	Arcoverde - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974a
21.51	22.56		25.00		Redonda + Miúda	S. B. do Una - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974b
19.00	19.13		21.98		Redonda + Miúda	Arcoverde - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974b
28.37	52.13	66.87			Gigante	S.B. do Una - PE	Farias <i>et al.</i> , 1986
41.84	53.32		70.21		Miúda	S. B. do Una - PE	Santos <i>et al.</i> , 1996
3.782	3.122				Gigante	Petrolina - PE	Albuquerque y Rao, 1997
4.002	4.532				Gigante	S. B. do Una - PE	Farias <i>et al.</i> (s.f.)
			100.15	103.50	Miúda + IPA20	S. B. do Una - PE	Santos <i>et al.</i> , 1998
			103.36	100.59	Miúda + IPA 20	Arcoverde - PE	Santos <i>et al.</i> , 1998

² Datos en peso seco (MS).

En este contexto Santos *et al.*, (1988 a), trabajando con *Opuntia* en el arreglo tradicional (5 000 plantas /ha) encontró un índice de área foliar a la cosecha de 0,5, considerado muy bajo comparado con 3 a 5 de otras plantas forrajeras (Peterson, citado por Zimer *et al.*, 1988). Estos resultados y la tendencia generalizada a la reducción del tamaño de las fincas motivo a los productores a adoptar densidades de plantación mas altas.

En 1995, hubo numerosos informes en Pernambuco (Corrêa, 1995; Castaña, 1995) de plantaciones de *Opuntia* establecidas en la zona del Sertao (Municipalidad de Custodia) supervisadas por C. Flores (Universidad Autónoma de Chapingo, México). Densidades que variaron de 40 000 a 80 000 plantas/ha, a un costo aproximado de 1 000 US dólares/ha, incluyendo fertilización química, Sin embargo, las malezas se convirtieron en un problema serio, y el control manual fue tedioso y caro, y durante la estación seca el riesgo de incendio fue mayor.

Aunque la fertilización química tuvo un efecto significativo en el rendimiento, otros resultados no fueron consistentes, concluyendo que la densidad de plantación de 10,000 plantas/ha era adecuada. Los investigadores del IPA establecieron plantaciones densas hasta 40,000 plantas/ha en las municipalidades de Caruaru y Arcoverde. Rendimientos iniciales de 135 ton de materia verde (MV)/ha/año fueron informados en un boletín (IPA, 1988) y en un día de campo. Santos *et al.*, informaron rendimientos de 15,7 y 12,9 ton de MS/ha/año con el clon IPA-20, y 10,7 a 15 ton MS/ha/año para el clon Miüda, usando 20 mil y 40 mil plantas /ha, respectivamente. Basados en los resultados de la zona Agreste, se recomendaron densidades de 40 000 plantas en cosecha bianual. Si se deseaba cosechar después de 3 ó mas años los autores recomendaron 20 000 plantas/ha, ambas densidades pueden ser combinadas: la densidad mas alta sería cosechada cada dos años, mientras que al densidad mas baja se mantendría como una reserva "viva" (permitiendo que continúe creciendo) para usarla en los años mas secos.

Para el Sertão, Albuquerque y Rao, (1997) recomendaron una densidad de 10 000 plantas/ha, distribuidas a 3 x 1 x 0,5 usando hileras dobles (a 1 m de separación) y con calles a cada 3 m. Con 20 ton/ha de estiércol aplicado cada dos años sistemáticamente, probablemente la densidad mas adecuada se encuentre entre 15 000 y 20 000 plantas /ha, usando cuatro líneas de plantación adyacentes se obtiene una densidad aproximada de 17 000 plantas/ha. Los costos de producción de *opuntia* pueden reducirse mecanizando el control de malezas, la distribución de estiércol y el transporte a los comederos. Por lo tanto, una distancia entre hileras de 3 a 3.2 m es muy importante.

Manejo del cultivo

La fertilización es un factor estudiado intensivamente, usando el estiércol vacuno como la fuente principal de abono orgánico. Los datos de la Tabla 7 muestran que la producción casi de duplico al aplicar 20 ton/ha de estiércol vacuno cada dos años. Debe señalarse que esta cantidad no esta fácilmente disponible en los establos, y desafortunadamente los rancheros en pequeña escala no aprecian adecuadamente su valor como fertilizante, vendiéndolo a bajos precios o gratis a los productores de hortalizas. El estiércol es usado en otros países, tales como algunos de Africa del norte (Monjauze y Le Houerou, 1965), EUA (Gregory y Felker, 1992), en Chile para la producción de fruta (Tirón-Compiano y Zúñiga-Oliver, 1983) y en México (Mondragón y Pimienta 1990). Carneiro y Viana (1992) encontraron que la eficiencia mas alta ocurre cuando se el estiércol se distribuyen en surcos antes de la plantación.

Los estudios de la respuesta de opuntia a N y P comenzaron en 1957, y fueron informados por Souza (1963). Metral (1965) en el noreste, encontró respuesta significativa a N y P, pero no a K (potasio). Lima *et al.*, (1974 c) informaron respuesta a N hasta 100 kg/ha, mientras que la respuesta a P fue observada hasta 50 kg de P₂O₅/ha. Santos *et al.*, (1996) informaron 30 por ciento de incremento de la producción de opuntia en S.B. do Una, usando 50-50-50 kg/ha/año de N-P₂O₅. Estos resultados contrastan con los de González (1989), trabajando con *O. lindheimeri* Engelm. en EUA, quien observó respuesta a N-P₂O₅-K₂O a la dosis 224-112-0 kg/ha/año.

Tabla 7. Efecto de la dosis de estiércol en la producción de nopal .

Dosis (t/ha)			Tipo de Estiércol	Cultivar	Localidad	Referencia
Sin	10 t/ha	20 t/ha				
..... t MV/ha						
14.75	33.10	41.05	No especificado	Tres cvs.	V. S. Antão - PE	Souza, 1963
35,49	43,24	57,65	No especificado	Tres cvs.	Arcoverde - PE	Souza, 1963
27.35	31.67	41.10	Bovino	Gigante	Arcoverde -PE	Araújo et al., 1974a
27.35	27.85	34.77	Caprino	Gigante	Arcoverde - PE	Araújo et al., 1974a
1.251		2.861	Bovino	Gigante	Quixadá - CE	Carneiro and Viana, 1992
50.25	96.99		Bovino	Gigante	S. B. do Una - PE	Santos et al., 1996

Preparación del suelo

En áreas cultivadas de la zona Agreste, la preparación del suelo es efectuada antes de la época de lluvias, comenzando con barbecho y surcado, seguido de la dispersión de estiércol (20 ton/ha) en los surcos. Es necesaria la selección rigurosa del material de plantación. Los cladodios granes y sanos aseguran un alto número de yemas activas. Se recomienda plantar los cladodios orientándolos en dirección norte-sur, asumiendo un mejor enraizamiento. Sin embargo Becerra-Rodríguez *et al.*, informaron mayores rendimientos cuando fueron plantados orientándolos este-oeste. La intensidad de luz en México es mas baja que en el noreste de Brasil.

El cultivo intercalado es una manera de optimizar el uso de la tierra. Para cultivos anuales, se ha estudiado alrededor del mundo, pero se han conducido pocos estudios con opuntia. En dos sitios del estado de Ceará (SUDENE, 1972), se intercalaron varios cultivos con algodón perenne (*Gossypium hirsutum* L. Var *Marie-Galante*) y opuntia se asocio con un ingreso neto adicional de aproximadamente 31 por ciento comparado con algodón como unicultivo. Albuquerque y Rao, (1972) encontraron que el caupí redujo el rendimiento de opuntia en 40 por ciento en la primera cosecha trianual, pero en la segunda cosecha hubo un incremento del 20 por ciento, resultando una reducción final del 20 por ciento como promedio de las dos cosechas. La leguminosa ayudo a compensar los costos de control de malezas. El cultivo intercalado de sorgo para grano redujo la producción de opuntia en 40 por ciento, pero los residuos del cultivo compensaron por la pérdida de forraje de opuntia.

La recomendación de plantar cuatro hileras de opuntia, seguidas de una calle de 3 a 3.2 m, permite el uso eficiente de maquinaria, pero además permite el cultivo intercalado de anuales como el maíz, sorgo o caupí.

Altura de corte

La denominación de los cladodios propuesta por Santos *et al.*, (1990 a) usa como cladodio base (el que fue plantado); cladodio de 1er orden, de segundo orden y así sucesivamente, Silva *et al.*, (1974) encontró que dejando todos los cladodios de segundo orden en la planta, la recuperación de la nopalera fue mas rápida, y la productividad más constante entre cosechas. En contraste, una gran cantidad de forraje útil se queda en el campo cuando los cladodios de segundo orden no son cosechados. De esta manera, algunos autores recomiendan dejar todos los de primer orden, y dejar adicionalmente uno de segundo orden a cada planta. Efectuando esta practica la recuperación de la nopalera es razonablemente rápida y se deja menos forraje en el campo. Dejar solamente los cladodios de primer orden es una opción que puede ser considerada. El corte debe ser preferentemente en la base del cladodio, aunque Carneiro *et al.*,(1989) reportó mayor brotación cuando el corte se hizo lejos de la base. Sin embargo, esta practica resulta en plantas de arquitectura irregular, que hara mas difícil el corte de futuras cosechas, además se inducen heridas de mayor tamaño que pueden facilitar la entrada de patógenos.

Comparación de especies

Opuntia esta representada en el noreste de Brasil por tres cultivares, Gigante y Redonda (ambas pertenecen a *O. ficus-indica*) y el Cv. Miúda (*Nopalea cochellinifera*) aunque Gregory y Felker (1992) consideraron a Miuda como *O. cochellinifera*. Los cultivares Gigante y Redonda son cultivadas en zonas mas secas y suelos pobres, mientras que Miúda crece en áreas mas húmedas y con mejores suelos.

Excluyendo los resultados obtenidos en la municipalidad de V.S. Antão, Gigante y Redonda son mas productivas que Miúda (Tabla 8). Sin embargo, los datos de materia verde y contenido de MS de Miúda indican valores mayores que los otros dos cultivares: 16,56 por ciento versus 10,39 por ciento , Santos *et al.*, (1990b). Otro dato que llama la atención es que las vacas perdieron menos peso cuando fueron alimentadas con Miúda que cuando se alimentaron de las otras dos variedades (Santos *et al.*, (1990b) representando una prioridad de investigación para áreas mas secas. Santos, (1992) comparo diez variedades y no encontró diferencias en producción de MS ($P>0,05$) entre Gigante, Redonda y Miuda, aunque el contenido de proteína fue mas alto en Miuda. Este autor concluye que es factible incrementar la productividad de opuntia y el contenido de proteína a través del mejoramiento genético. Santos *et al.*, (1998a,b) condujo investigaciones en Arcoverde y S.B. do Una, con resultados similares (Tabla 8) entre los tres cultivares así como el clon IPA-20. En el trabajo de S.B. do Una, los rendimientos de Miuda y gigante fueron 8,64 y 7,82 ton de MS/ha/ año, respectivamente.

Tabla 8. Productividad de cultivares de nopal.

	Cultivar					
	Gigante	Redonda	Miúda	Clone 20	Localidad	
 t MV/ha					Referencia
	33.35	36.22	37.40		V. S. Antão - PE	Souza, 1963

35,94	38,62	19,24		Arcoverde - PE	Souza, 1963
34.92	38.05	22.40		Arcoverde - PE	Araújo <i>et al.</i> 1974b
21.84		16.58		S. B. do Una - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974a
20.20		14.74		Arcoverde - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974a
	36.00 a ¹	27.86 b		S. B. do Una - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974b
	33.48 a ¹	21.38 b		Arcoverde - PE	Lima <i>et al.</i> , 1974b
25.06	22.44	18.09		Gurjaú - PE	Alves, 1976.
7.82 a ¹	10.07 a	8.64 a	11.95 a	S. B. do Una - PE	Santos <i>et al.</i> , 1998a ²
		12.62 a	14.12 a	Arcoverde - PE	Santos <i>et al.</i> , 1998b ²

¹ Medias con la misma literal en la misma linea no difieren (P<0.05; Newman-Keuls)

² Datos en MS.

En 1985, se inició un programa de mejoramiento de opuntia en el IPA, usando semillas derivadas de polinización abierta del Cv. Gigante para generar 85 clones, los cuales fueron integrados con otros 17 clones de otros sitios para establecer un ensayo de variedades. En 1995, los resultados indicaron que el clon IPA-20 fue superior produciendo 50 por ciento mas que Gigante, el cultivar de mayor importancia en el noreste. El programa de acopio de germoplasma continuo, agregando material genético obtenido de Algeria, México, Sudáfrica, EUA, etc. Se han generado nuevos clones y la colección del IPA posee ahora 1 400 clones.

El nuevo material se encuentra ahora en ensayos en otros estados del noreste, tales como Piauí, Ceara, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe y Bahia. Así con la excepción de Maranhão, en el cual no existen tierras semiáridas, la investigación continua en todos los estados del noreste.

Limitantes ambientales

Las áreas cultivadas con opuntia mas grandes del mundo se encuentran en el noreste semiárido de Brasil, en las cuales predomina *O. ficus-indica*. Esta es una región donde predomina un promedio de lluvia anual de 600 mm, no tan limitante si se compara con otras regiones semiáridas. Sin embargo, la lluvia es muy variable (coeficiente de variación superior al 30 por ciento) y la evapotranspiración potencial puede alcanzar 2600 mm como en el Campo Experimental de Bebedouro (Amorim Neto, 1989). De acuerdo con Nobel (1995), las temperaturas día/noche ideales para opuntia son 25/15. En el noreste, no existe tal temperatura, pero las zonas con la mayor concentración de opuntia son precisamente Agreste-Cariri en Paraíba, Agreste en Pernambuco y Agreste de Alagoas. En estas regiones, la lluvia anual varia de 300 a 700 mm, irregularmente distribuida durante el año, lo cual no ha sido barrera para el desarrollo de opuntia.

La temperatura media anual es alrededor de 14 °C y las lluvias ocurren en los meses mas frescos, cuando la temperatura mínima es alrededor de 14 °C. Temperaturas mas frescas y baja evaporación permite un mejor uso de la humedad del suelo. En lugares con temperaturas mínimas de 18,1 °C, tales como S. B do Una, Caruaru y Arcoverde, con lluvias ocurriendo en los meses mas frescos, opuntia es mas productiva y sana que en Petrolina donde la temperatura mínima es de 20,4 °C, y las lluvias ocurren en los meses mas calientes. Estas condiciones climáticas podrían explicar el enorme tamaño del área ocupada por opuntia en el noreste semiárido. Al mismo tiempo, en algunas zonas, tales como Seridó, opuntia no es cultivada debido a las temperaturas día/noche.

Como resultado de un convenio de colaboración entre el IPA y la Universidad Autónoma de Chapingo se ha introducido un gran numero de clones de nopal, entre los cuales es probable se encuentren algunos adecuados para Serido. (C. Flores, comunicación personal), los cuales se encuentran en evaluación en esa zona.

Sombreo del mezquite (*Prosopis juliflora*)

Para reducir el problema de las altas temperaturas en el Sertao del noreste, se ha hipotetizado que la sombra del mezquite podría crear un microambiente dentro de la nopalera, ayudando así al incremento de la producción. Coelho y Godoy (1964) encontraron que el nopal sombreado permanecía mas turgente, pero la producción no aumento. Alves, (1976) en Paraíba-Cariri –una zona con alta temperatura diurna pero con noches frescas (18 °C)- reportó que el sombreado se asocio con un 56 por ciento de incremento en la producción del cv. Miúda. Con Gigante, se promovió un incremento del 18 por ciento no fue significativo. Los árboles de mezquite plantados a 15 x 15 m (44,4 plantas/ha) no proveen suficiente efecto de sombra, pero la producción de postes y ramas podría justificar la intercalación.

Tabla 9. Productividad del nopal (dos cosechas trianuales) sombreado con mezquite, densidad de plantación del mezquite (árboles/ha) y cobertura.

	Productividad	Mezquite	
Mezquite (distancia entre árboles)	(kg MS/ha/año) (Dic./82-Dic./88)	Cobertura (%) (Julio/88)	Cobertura (%) (Junio/96)
5 x 5 m	848.3	69.0	82.4
7 x 7 m	754.3	49.9	75.1
10 x 10 m	1102.8	41.5	64.8
12 x 12 m	1136.5	31.3	67.8
Sin mezquite	1145.9	-	-

Plagas y enfermedades

La escama armada (*Diaspis echinocacti*) también conocido como piojo (mofo o piolho, en portugués) es el insecto mas importante de opuntia en el noreste. Las colonias de este insecto cubren los cladodios y tanto los insectos juveniles como los adultos dañan los cladodios.

Los insectos jóvenes causan clorosis, seguida de pudrición y muerte de las plantas. El ataque es mas severo en los años mas secos en aquellas plantaciones con manejo deficiente. Esta plaga fue observada por primera vez en Pernambuco en los sesentas, y desde entonces los investigadores del IPA han desarrollado el control biológico en Caruaru, S.B. do Una, Arcoverde y Pedra. El control integrado es la mejor estrategia para el combate de este insecto.

Para el control integrado se han identificado varios enemigos naturales en la región, parasitoides así como predadores. los parasitoides son pequeñas avispas (Hymenoptera) que parasitan la escama armada, las principales especies son; *Plagiomerus cyaneus* (Encyrtidae) y *Prospaltella aurantii* (Aphelinidae). Las catarinitas (Colleoptera, Coccinellidae) son los principales predadores, que se alimentan de la escama armada. La catarinita negra (*Coccidophilus citricola*); la catarinita amarilla-negra (*Chilocarus* sp.); y la catarinita café (*Pentilia* sp). Estos predadores pueden ser multiplicados en cautiverio para ser liberados en los campos de opuntia infestados.

Las prácticas de control químico deben de considerar la presencia de los enemigos naturales. El aceite mineral al 1-1.5 por ciento diluido en agua es recomendado (Longo y Rapisarda, 1995), así como el jabón sólido mas tabaco seco molido (100 g de cada uno, remojados en 20 litros de agua por 20 horas). Observaciones del coautor y la información técnica del Servicio de Extensión Agrícola de Pernambuco (EMATER-PE) indican que la combinación de sal común (1 kg/20 litros de agua) adicionada de aceite mineral (1 por ciento) da resultados óptimos.

Las enfermedades de opuntia han sido poco estudiadas, y son descritas únicamente en términos de ocurrencia, sintomatología y patogenicidad. Las principales enfermedades reportadas en Pernambuco y Alagoas son: pudrición de los cladodios causada por varios hongos (*Lasiodiplodia theobromae*, *Sclerotium rofsii*, *Scytalidium lignicola*, *Fusarium solanii*, *Macrophomina* sp., y *Pollacia* sp. fueron informados por Franco y Ponte, (1980).

De las enfermedades bacterianas solamente se ha informado la pudrición suave de los cladodios (*Erwinia* sp). Estas enfermedades regularmente no causan daños severos al cultivo, probablemente debido al sistema de producción tradicional en el noreste. Sin embargo, la expansión del cultivo y la utilización de altas densidades de plantación pueden contribuir a aumentar la severidad y la incidencia de las enfermedades. No existen medidas de control, excepto la de plantar durante la temporada seca antes de que se establezcan las lluvias para evitar la pudrición de los plantas nuevas.

Control de maleza

El control de maleza es el factor mas importante que afecta los costos de producción. En EUA, Felker y Russel (1988), probaron herbicidas en 30 clones y encontraron un incremento de 9 veces en la producción de opuntia con Hexazinona (8 kg/ha) comparado con el testigo. En el noreste de Brasil, existe muy poca investigación sobre herbicidas. Farias *et al.*, (1989) en Caruaru y S.B. do Una, encontraron que los herbicidas post-emergentes (Terbuthiuron, Diuron, y Ametryne) fueron efectivos y no dañaron a opuntia, en contraste con Glifosato, que resulto tóxico.

Evaluación económica

Opuntia es vital para la producción ganadera en el noreste semiárido, principalmente durante las sequías prolongadas. Sin embargo, es un forraje caro, producido a un costo estimado de 0,05 dólares americanos/ kilo de MS. En S.B. do Una que posee una fuerte tradición de producción lechera basada en el cultivo de opuntia, 32 por ciento de las fincas están cubiertas con opuntia (Chagas, 1992), y los precios de los forrajes pueden elevarse hasta 2 200 dólares por hectárea. En años secos, el comercio regular de opuntia en las cuencas lecheras de Pernambuco y Alagoas, el precio fluctúa alrededor de \$ 600 dólares/ha. El precio también varía de acuerdo a la estación y el volumen disponible. En las mismas regiones el precio de la leche es aproximadamente \$ 0,16 por litro. Los costos estimados de establecimiento, mantenimiento y cosecha para un período de 6 años se presentan en las Tablas 10 a la 14.

Tabla 10. Costos de establecimiento de 1 ha de nopal a cuatro espaciamientos.

Parámetros	Costo (US\$) ¹			
	2 x 1 m	1 x 0.50 m	1 x 0.25 m	3 x 1 x 0.50 m
Preparación de suelo	26.32	26.32	31.58	31.58
Pencas nopal + transporte	36.84	131.58	263.16	63.16
Fertilización orgánica	131.58	131.58	131.58	131.58
Fertilización fosfórica	52.63	52.63	52.63	52.63
Control de maleza (Herbicidas)	84.21	84.21	84.21	84.21
Plantación	47.37	89.47	136.84	52.63
Total	378.95	515.79	700.00	415.79

¹ 1 US\$ = 1.90 R\$, 30 Agosto 1999.

Tabla 11. Costo de establecimiento y mantenimiento de 1 ha de nopal, durante los primeros dos años a cuatro espaciamientos. .

Parámetros	Costo (US\$)			
	2 x 1 m	1 x 05 m	1 x 0.25 m	3 x 1 x 0.5 m
Preparación de suelo ¹	26.32	26.32	26.32	26.32
Pencas de nopal	41.45	165.79	331.58	82.89
Fertilización orgánica	108.95	108.95	108.95	108.95
Fertilización fosfórica	52.63	52.63	52.63	52.63
Plantación	47.37	89.47	136.84	52.63
Control de maleza	337.37	373.16	568.95	262.11
Total	614.08	816.32	1225.26	585.53

¹ Barbecho y surcado.

Tabla 12. Costo de producción de 1 ha de nopal durante los primeros dos años a cuatro espaciamientos.

	Costo estimado (US\$)			
Parámetros	2 x 1 m	1 x 0.5 m	1 x 0.25 m	3 x 1 x 0.5 m
50% de establecimiento	189.47	257.89	350.00	207.89
Intereses	45.26	76.32	104.21	50.00
Subtotal	234.74	334.21	454.21	257.89
Cosecha	263.16	394.74	526.32	236.84
Total	497.90	728.95	980.53	494.73

Tabla 13. Costo de mantenimiento de 1 ha de nopal, para el 3º y 4º año en cuatro espaciamientos.

	Costo estimado (US\$)			
Parámetros	2 x 1 m	1 x 0.5 m	1 x 0.25 m	3 x 1 x 0.5 m
Plantación (incluyendo interés)	117.37	160.00	216.84	128.95
Fertilizantes	78.95	78.95	78.95	78.95
Aplicación de fertilizante	6.32	9.47	12.63	6.32
Control de maleza	94.74	102.63	126.32	94.74
Cosecha	263.16	394.74	526.32	236.84
Total	560.53	745.79	961.05	545.79

Tabla 14. Costo de producción (kg de MS) durante los dos primeros años a cuatro espaciamientos.

	Costo estimado (US\$)			
Parámetros	2 x 1 m	1 x 0.5 m	1 x 0.25 m	3 x 1 x 0.5 m
Costo total (US\$/ha)	497.89	728.95	980.53	494.74
Producción (t MS/ha)	10.0	15.0	20.0	9.0
Costo de producción (US\$/kg MS)	0.050	0.048	0.049	0.055

ESTUDIOS DEL VALOR NUTRITIVO

Aun cuando la adopción de opuntia ha sido amplia durante las décadas recientes, hasta final de los setentas todavía existía el prejuicio sobre su alto contenido de agua, y el uso intensivo del pasto pangola (*Digitaria decumbens* Stent.) animó a los granjeros a abandonar el cultivo de opuntia. Sin embargo, la gran sequía de 1979-1983 probó que el alto contenido de agua de opuntia era vital para la ganadería. En Paraíba, Cariri y Pernambuco Agreste, durante sequías prolongadas, los autores han observado que los rancheros alimentan con opuntia durante todo el año.

COMPARACIÓN CON OTROS FORRAJES

El papel vital de opuntia como fuente única de agua y forraje de emergencia para la ganadería impulsó a los investigadores a dar mayor prioridad a su valor nutritivo. El IPA y la Universidad Federal Rural de Pernambuco han sido las instituciones más activas. En Arcoverde, Viana *et al.*, (1966) comparó opuntia con el ensilado de maíz para engorda de toros, mezclando ambos forrajes con raíces de yuca, concentrado comercial, harina de huesos y sales minerales. Encontraron diferencias ($P < 0.05$) para ganancia de peso vivo (PV) únicamente hasta después de 287 días del ensayo, a favor del ensilado, pero no se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) a los 84 y los 126 días. Los consumos diarios fueron de 17, 19 y 19 kg de ensilado y 29.4, 27.3, 35.1 kg de opuntia después de 84, 126 y 287 días, respectivamente. Considerando que el contenido de MS de el ensilado y opuntia es aproximadamente 35 por ciento y 10 por ciento respectivamente y que el peso vivo de los toros fue superior a 400 kg, los toros alimentados con opuntia consumieron menos MS que los toros alimentados con ensilado en el último período, y consecuentemente ganaron menos peso.

La investigación con ganado lechero fue inicialmente reportada por Santana et al., (1972) alimentando vacas lactantes con ensilado de maíz contra opuntia cv. Gigante. No se encontró diferencia ($P>0.05$) en producción de leche y contenido de grasa. Sin embargo las vacas presentaron ganancias de PV de 437, -465 y -230 g/día cuando se alimentaron de ensilado, opuntia y opuntia+10 kg de ensilado, respectivamente. Lima et al., (1985) evaluaron tres niveles de asociaciones i.e. 25, 50, 75 por ciento de opuntia cv. Gigante contra sorgo ensilado, y concluyeron que no hubo diferencia entre los tratamientos respecto a GPV y producción de leche.

COMPARACIÓN ENTRE CULTIVARES

El siguiente paso fue la comparación entre los tres cultivares más importantes de opuntia usados en el noreste, donde los ganaderos consideran que el cv. Miuda es el mejor para ganado lechero. Se realizó un ensayo con vacas Holstein en S. B. do Una (Santos et al., 1990 b) evaluando contenido de MS, proteína cruda, fibra cruda y contenido de minerales de los tres cultivares, ensilado de sorgo, y concentrado comercial (Tabla 15). El cv. Miuda fue superior ($P<0.05$) a Redonda o Gigante en contenido de MS, pero inferior ($P<0.05$) en proteína, fibra y minerales. El mayor contenido de MS de Miuda podría reducir los problemas asociados a dietas altas en contenido de agua, como lo informaron Lima et al., (1981), y Farias et al., (1984). Al mismo tiempo, los datos sobre proteína y fibra sugieren que opuntia debe ser suministrado en combinación con otros forrajes para asegurar alto consumo de proteína y fibra.

Tabla 15. Materia seca (DM), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), y extracto mineral (ExM) en tres cultivares de nopal, sorgo ensilado, y concentrado comercial.

Alimento	DM	PC	FC	MEx
Nopal cv. Gigante	9.85 b	4.83 a	9.53 a	10.85 b
Nopal cv. Redonda	10.93 b	4.21 a	8.62 a	12.02 a
Nopal cv. Miúda	16.56 a	2.55 b	5.14 b	7.72 c
Sorgo ensilado	37.60	5.49	25.78	5.10
Concentrado	80.66	24.57	3.63	8.2

¹ Medias con la misma literal no difieren significativamente (Tukey; $P<0.05$).

Fuente: Santos et al., (1990b)

Los resultados de digestibilidad in vitro de MS (DIVMS), producción de leche, contenido de grasas y GPV para consumo de opuntia, ensilado de sorgo y concentrado se presentan en la Tabla 16. El consumo de materia verde fue más bajo ($P<0.05$) en el cv. Miuda, seguido de sorgo ensilado y concentrado, debido a su mayor contenido de MS y carbohidratos. En relación a la DIVMS la media de 75.5 por ciento para todos los cultivares indica su valor como planta forrajera. Las vacas de todos los tratamientos perdieron peso, lo cual implica deficiencias en la ingestión de proteína y energía (Gomide et al., 1987). Un valor perdido menor de GPV en vacas alimentadas con el cv. Miuda indica que el déficit de energía fue inferior, lo cual podría ser explicado porque contiene el doble de carbohidratos. En relación a la producción de leche y la proporción de MS consumida/ leche producida, no hubo diferencia ($p>0.05$) entre cultivares.

Se ha demostrado que las vacas Holstein pierden peso cuando se alimentan con opuntia cv. Gigante como forraje único (Santana et al., 1972) o cuando se incluye en una proporción mayor al 73 por ciento (Santana et al., 1990 b). La cría de vacas cruzadas (Holstein x Cebu) las cuales son menos demandantes en sus requerimientos nutricionales, podría ser una alternativa.

Se ha hipotetizado que las vacas cruzadas perderían menos peso, aun si opuntia si la proporción de opuntia alcanza el 73 por ciento, con menor consumo de concentrado. Se condujo un ensayo en Arcoverde, en el cual se usaron vacas Girolando (una cría de 3/8 de Gir x 5/8 Holstein, resultado de cruzar el cebu Gir con Holstein) alimentadas con tres variedades de opuntia, y en general no se encontró diferencia ($P>0.05$) entre cultivares para la producción de leche (Tabla 17), aunque las vacas alimentadas con Miuda aumentaron la producción de leche en 9 por ciento comparadas con el cv. Redonda: 7,2 vs. 7,0 kg/vaca/día. Las vacas cruzadas con cebu, fueron también consideradas, dejando la cría y ordeñándolas, permitiendo un consumo de 3 kg de leche al día a la cría. Considerando la leche consumida por la cría, los autores estimaron una producción diaria aproximada de 10 kg /vaca/día.

Tabla 16. Consumo de forraje, producción de leche, MS consumida/leche producida, y ganancia de peso de vacas Holstein alimentadas con tres cvs. de nopal y digestibilidad "invitro" de MS.

Parámetros	Redonda	Gigante	Miúda	Media	CV(%)
Consumo de nopal (kg MV/vaca/día)	62.30 a ¹	66.30 a	46.72 b	58.44	13,55
Consumo de silo de sorgo (kg MV/vaca/día)	6.24 a	6.15 a	4.51 b	5.63	1622

Consumo de concentrado (kg/vaca/día)	4.18 a	4.18 a	3.85 b	4.07	5.27
Consumo total de MS (kg/vaca/día)	12.14 a	12.14 a	12.35 a	12.18	5.70
Nopal DIVMS (%)	74.11 c	75.12 b	77.37 a	75.53	1.20
Rendimiento de leche (kg/vaca/día)	12.44 a	12.36 a	12.27 a	12.35	6.20
Contenido de grasa de la leche (%)	3.15 a	3.11 a	3.17 a	3.14	6.60
Contenido de grasa de la leche corregido (4%)	10.79 a	10.63 a	10.80 a	10.74	7.66
Consumo de MS /rend. de leche (kg/kg)	1.02 a	1.03 a	0.99 a	1.01	9.22
Ganancia de peso (g/vaca/día)	-565 a	-640 a	-77 a	-	141.08

¹ Medias en la misma línea con la misma literal no difieren (Tukey; P<0.05).
Fuente: Santos *et al.* (1990b)

Tabla 17. Producción de leche, contenido de grasa, densidad y extracto seco, proporción de MS consumida/ producción de leche de vacas Girolando alimentadas con tres cultivares de nopal.

Parámetros	Redonda	Gigante	Miúda	Media
Rendimiento de leche (kg/vaca/día)	7.0 a	7.1 a	7.2 a	7.1
Contenido de grasa (%)	3.9 b	4.1 ab	4.2 a	4.1
Corrección 4 % grasa del rend. de leche	6.8 a	7.2 a	7.4 a	7.1
Densidad de la leche	1.028 a	1.028 a	1.057 a	1.037
Sólidos totales de la leche (%)	12.23 a	11.88 a	12.54 a	12.21
Consumo MS/producción de leche(kg/kg)	1.39 a	1.36 a	1.38 a	1.37

¹ Medias con la misma literal no difieren (P<0.05; Tukey Test)

Fuente : Santos (datos no publicados).

Tabla 18. Consumo y ganancia de peso vivo, de vacas Girolando, alimentadas con tres cultivares de nopal.

Consumo	Redonda	Gigante	Miúda	Media
Nopal (kg MS/vaca/día)	53.64 a	53.13 a	55.87 a	54.21
Silo (kg MV/vaca/día/ kg)	8.16 a	7.97 a	7.60 a	7.91
Concentrado (kg/vaca/día)	1.00	1.00	1.00	1.00
Nopal (kg MS/vaca/día)	5.90 b	5.65 b	6.75 b	6.10
Silo (kg MS/vaca/día)	2.09 a	2.07 a	1.95 a	2.03
Concentrado (kg MS/vaca/día)	0.85 a	0.85 a	0.85 a	0.85
Total MS (kg/vaca/día)	8.84	8.57	9.55	8.98
Ganancia de peso (g/vaca/día)	-323	-111	164	-

¹ Medias con la misma literal no difieren (P<0.05; Tukey Test).
Fuente: Santos (datos no publicados).

Tabla 19. Influencia de la raza de las vacas y la variedad de nopal en el consumo de forraje, rendimiento de leche y ganancia de peso vivo de vacas lactantes.

		Cultivar de nopal
--	--	-------------------

Parámetros	Raza	Redonda	Gigante	Miúda
Consumo de nopal (kg MS/vaca/día)	Holstein ¹	6.80	6.53	7.74
	Girolando ²	5.90	5.65	6.75
Consumo de silo (kg MS/vaca/día)	Holstein	2.35	2.45	1.69
	Girolando	2.09	2.07	1.95
Consumo de concentrado (kg MS/vaca/día)	Holstein	3.37	3.37	3.11
	Girolando	0.85	0.85	0.85
Corrección 4 % grasa del rend. de leche	Holstein	10.8	10.6	10.8
	Girolando	6.8	7.2	7.4
Ganancia de peso vivo (g/vaca/día)	Holstein	-565	-640	-77
	Girolando	-323	-111	164

¹ Datos de vacas Holstein de Santos et al. (1990b).

² Datos de vacas Girolando, del autor (no publicados).

En relación al consumo el cv. Miuda fue superior ($P < 0,05$) a redonda o gigante (Tabla 18). Las variaciones en la ganancia de peso vivo indican que, después de un cierto tiempo, el cv. Miuda puede ser superior a otros cultivares en producción de leche. Un análisis comparativo entre datos de Santos et al., (1990 b) con vacas Holstein y datos del autor (no publicados) con vacas Girolando muestra que estas consumen menos concentrado, pierden menos peso, y aparentemente se comportan mejor en cuanto a producción de leche (Tabla 19). Por lo tanto, las vacas Girolando podrían ser alimentadas principalmente con nopal cv. Miuda.

EFFECTOS DEL ALMACENAMIENTO

El bajo contenido de MS no es una barrera para que *Opuntia* sea considerada como un forraje óptimo, pero el contenido de agua hace que su manejo sea caro. La cosecha de grandes cantidades de *Opuntia*, el almacenamiento cercano a los establos, y suministrándolo en pequeños volúmenes podría resolver el problema. La Tabla 20 muestra el efecto del almacenamiento postcosecha en la composición química y el contenido de MS de tres variedades en montones de 500 kg y almacenados por 0,4,8, 12 y 16 días (Santos et al., (1990 c).

Los resultados no mostraron efectos atribuibles al almacenamiento en el cv. Redonda y únicamente ligeras diferencias en el contenido de fibra y carbohidratos en el cv. Gigante, y en fibra y contenido de MS en Miuda. Los contenidos de MS fueron 15,9, 15,1, y 23,4 por ciento para Redonda, Gigante y Miuda, respectivamente, los cuales son considerados altos si se comparan con otros resultados. Sin embargo, debe anotarse que el contenido de MS de *Opuntia* durante la estación seca varía de acuerdo al año.

Un ensayo conducido con vacas Holstein para estudiar el efecto el comportamiento con *Opuntia* almacenada por 0, 8, y 16 días, demostró que no hubo efecto del almacenamiento (Tablas 20 y 21), asimismo poca variación en la composición química. Esto es muy importante, porque implica que se pueden cosechar grandes cantidades, reduciendo los costos de cosecha y transporte.

En este ensayo, se proporcionó *Opuntia* y silo de maíz *ad libitum*, y no hubo diferencias en el consumo de *Opuntia* entre períodos de cosecha. Es importante hacer notar que las vacas consumieron hasta 104 kg de materia verde/día. La alta palatabilidad y digestibilidad de la MS y el bajo contenido de MS fuerza al animal a consumir grandes cantidades. Estos factores, combinados con el bajo contenido de fibra, alto nivel de calcio y fósforo, induce desequilibrios nutricionales: una causa probable de la diarrea común en animales alimentados con grandes cantidades de *Opuntia*, tal como ocurrió en esta investigación. Santos et al., (1990 b), señala que para solucionar este problema la proporción de *Opuntia* no debe exceder del 40 por ciento del total de la MS suministrada.

El consumo promedio equivalente de 2,68 por ciento del PV para vacas alimentadas con *Opuntia* almacenado durante los tres diferentes períodos puede ser considerado bajo, los niveles recomendados, fluctúan entre 3 y 4 por ciento para vacas lactantes. El consumo de proteína puede también considerarse bajo, de acuerdo los estándares (NRC, 1968). La GPV durante el período experimental fue de -0.13, 131.03, y -87,21 g/día en vacas alimentadas con *Opuntia* almacenada por 0, 8 y 16 días, respectivamente. Estos datos indican gran variación entre tratamientos y no deben tomarse en cuenta debido al corto período del ensayo (21 días) y al hecho de que las vacas no se les sometió a ayuno antes de pesar. Sin embargo, las pérdidas de peso coinciden con Santana et al., (1990 b).

La producción de leche y el contenido de grasa de vacas alimentadas con *Opuntia* almacenada por diferentes períodos fueron similares ($P < 0,05$). Santana et al., (1972) y Santos et al., (1990 b) obtuvieron resultados similares.

Para confirmar que *Opuntia* debe ser mezclado con otros forrajes, se condujo un experimento en Arcoverde por Estolano (datos no publicados), para verificar cual forraje combinaría mejor con *Opuntia* cv. Gigante suministrado a vacas girolando. Se encontró que el bagazo de caña de azúcar in natura y bagazo hidrolizado no afectó la ingestión de MS ni el contenido de grasa de la leche. Las vacas alimentadas con sorgo ensilado produjeron más leche que aquellas que consumieron el bagazo hidrolizado. Las vacas alimentadas con opuntia y bagazo in natura produjeron 13.6 kg de leche/día, mostrando sus ventajas para los establos. El bagazo de caña es un subproducto de las fábricas de azúcar de las zonas de Pernambuco y Alagoas, y esta disponible a bajo precio (\$40 US dólares/ton).

De acuerdo a los resultados globales del IPA/UFRPE, opuntia debe de suplementarse con otros forrajes que tengan alto contenido de MS y fibra. Un estudio de los carbohidratos y minerales presentes en opuntia ayudaría a entender mejor las causas de la diarrea.

Opuntia es cultivado principalmente en el noreste para el ganado lechero, pero es también utilizado para otros rumiantes, tales como cabras y ovejas durante la estación seca. Cunha (1996), en un estudio nutricional con ovejas, encontró que al asociar opuntia con no pasto napier (*Penisetum purpureum* Schumach.) la adición de fibra no afectó la digestibilidad ni la digestión de nutrientes, y no se encontró diferencias en el pH del rumen ($P > 0.05$).

CONSIDERACIONES FINALES

Opuntia es el único forraje que puede ser almacenado "vivo" ya que si se deja en el campo continúa creciendo sin perder valor nutritivo, aun cuando tiene bajo contenido de MS y proteína. Las sequías han probado que es un forraje vital en la región.

Es un forraje caro debido a que los costos de establecimiento, control de maleza y transporte del campo a los corrales requiere de mucha mano de obra, pero los herbicidas y la mecanización podrían reducir los costos.

Opuntia es deficiente en proteína, pero al mismo tiempo es rico en carbohidratos soluble, su digestibilidad es superior al 70 por ciento, la diarrea es un problema que puede estar relacionado a los altos niveles de algunos minerales, pero se necesita más investigación en esta área.

Se pueden obtener cultivares apropiados para diferentes zonas ecológicas, aun aquellas en las cuales regularmente no se cultiva opuntia a través del mejoramiento genético. Son necesarios también cultivares resistentes a la escama armada.

Se ha demostrado que el uso de opuntia con bagazo de caña es factible en Alagoas y la zona Agreste de Pernambuco.

Tabla 20. Contenido (por ciento) de peso seco (MS), proteína cruda (CP), fibra cruda (CF) y carbohidratos solubles (CHS), (por ciento) de nopal, después de varios períodos de almacenamiento.

Redonda

Almacenamiento	MS	PC	FC	CHS
0 (días)	15.35 a	3.51 a	14.53 a	27.95 a
4	15.18 a	3.65 a	12.88 a	30.86 a
8	17.63 a	3.86 a	13.45 a	29.58 a
12	15.18 a	3.58 a	13.15 a	28.25 a
16	16.12 a	3.71 a	14.18 a	29.10 a
Media	15.89	3.66	13.64	29.15
CV (%)	11.95	13,79	10,70	12.38

Gigante

0 (Días)	13.79 a ¹	3.91 a	16.58 a	26.16 b
4	14.61 a	4.08 a	12.90 b	32.96 a
8	17.02 a	5.14 a	13.29 b	29.53 ab
12	14.74 a	4.01 a	13.19 b	29.37 ab

16	15.32 a	4.12 a	13.42 b	29.68 ab
Media	15.10	4.05	13.88	29.54
CV (%)	11.26	10.29	9.75	10.22

Miuda

0 (Días)	22.49 b ¹	2.25 a	12.34 a	56.63 a
4	22.80 b	2.23 a	9.87 ab	57.38 a
8	23.71 ab	2.23 a	11.90 ab	58.85 a
12	24.19 a	2.20 a	9.65 b	57.66 a
16	23.76 ab	1.14 a	10.87 ab	59.20 a
Media	23.39	2.21	10.93	57.94
CV (%)	3.05	12.52	11.98	5.01

¹ Medias con la misma literal no difieren significativamente (P<0,05; Tukey Test).
Fuente: Santos et al. (1990b)

Tabla 21. Contenido (por ciento) de MS, PC, extracto mineral (ExM), grasas (EG), y extracto no nitrogenado digestible (ENND) de nopal cv. Gigante, después de tres períodos de almacenamiento, de silo de maíz y concentrado.

Forraje y almacenamiento	MS	PC	MEx	EG	ENND
Nopal (sin)	10.33	5.27	11.10	2.32	70.12
Nopal (8 días)	8.17	5.12	12.48	2.34	68.26
Nopal (16 días)	9.76	5.22	12.19	2.22	68.39
Maíz ensilado	34.41	6.99	7.22	0.97	58.53
Concentrado	82.97	26.37	10.99	2.19	52.68

Fuente: Datos del autor no publicados.

La utilización de *Opuntia* como forraje en los Estados Unidos de América

PETER FELKER

INTRODUCCIÓN

La literatura sobre los usos de *Opuntia* en los Estados Unidos es muy colorida. Durante la Guerra Civil (década de 1850) las carretas jaladas por bueyes y cargadas con algodón, se dirigían a Brownsville, Texas, el único puerto seguro para exportación en el sur. La ruta pasaba a través de nopaleras silvestres que eran «chamuscadas» al prender fuego a la hierba, y los cladodios eran triturados con machetes, hachas o espadas para usarlos como fuente de alimento a sus bueyes (Griffiths, 1905).

Durante los inicios del siglo XX se utilizaban quemadores de mochila con gasolina blanca en Texas para eliminar las espinas del nopal y alimentar al ganado (Pluenneke, 1990). Cuando el keroseno estuvo disponible durante los años 30, se reemplazó a la gasolina. Y en los años 50, se utilizaron los quemadores con gas butano en mochilas o en depósitos con mangueras múltiples de salida.

Desde 1905 se reportó que *Opuntia* constituía una fuente excelente para alimentar al ganado lechero y de engorda, así como borregos e inclusive cerdos, siempre y cuando se eliminaran las espinas (Griffiths, 1905). Sin embargo, los agricultores Argentinos aseguran que si el nopal se usa para alimentar cerdas preñadas, provoca el aborto. Lukefarh y Ruiz

(1998) condujeron un experimento alimentando conejos con la variedad brasileña Palma Redonda, y encontraron que era atractiva para su consumo e incrementaba moderadamente el peso de los animales.

La opinión pública respecto al uso de *Opuntia* como fuente de alimento para el ganado difiere marcadamente entre distintas regiones del sur y noroeste de San Antonio, Texas. Mientras que en la primera región es vista como un alimento de emergencia para el ganado y de gran importancia para la fauna silvestre, al norte, donde la lluvia es menor y abunda *O. lindheimeri*, los nopales son menos apreciados. En esta zona, los borregos y las cabras se alimentan primero con la fruta, y luego de cladodios con espinas, los cuales se acumulan en sus intestinos y generalmente van acompañados de lesiones e infecciones bacterianas (Merrill, et al., 1980; Migaki et al., 1969).

Las plantaciones de *Opuntia* con variedades sin espinas deberán protegerse contra herbívoros como conejos, ratas y venados, mediante cercas perimetrales de 2.4 m de altura con una malla basal de 5 cm. La adopción de cercados electrificados permitiría controlar la distribución de los animales en áreas específicas por períodos programados.

Mientras que las plantaciones de variedades sin espinas deberán estar cercadas, las que tienen espinas no lo requieren. Pero las espinas deberán eliminarse con quemadores antes de alimentar al ganado. Esta herramienta permite a los agricultores decidir cuando y cuanto recurso podrá utilizar en cualquier momento.

En un estudio realizado en Texas midió toda el agua recibida sobre la producción correspondiente de materia seca en *O. ellisiana* (Han y Felker, 1997). De los 662 mm de precipitación pluvial registrados en la zona, 143 se escurrieron en la superficie, 214 se evaporaron, 17 se almacenaron en la planta, y el resto se usó para producir 17 670 kg de materia seca/ha. Lo cual corresponde a una eficiencia en el uso del agua (EUA) de 162 kg por cada kg de materia seca producida. Esta EUA supera a la de todas las plantas forrajeras C₃ y C₄, lo cual subraya la ventaja fisiológica de las plantas con Metabolismo del Ácido Crasuláceo (MAC) en la región. Y también fue muy significativo que al cuarto año en el campo se registró un peso fresco de 194.2 ton/ha, que contenían 170 ton de agua, con lo cual se podrían atender las necesidades del ganado durante los períodos de sequía. Por lo que si se usan 45 kg diarios de nopal fresco para alimentar a cada animal, y le permitirían satisfacer los requerimientos de agua por un período de 11,8 años (4 315 días).

PROPIEDADES NUTRITIVAS Y REQUERIMIENTOS ADICIONALES

Es de esperarse que existan marcadas diferencias en la calidad nutritiva de distintos cactus debido a la edad, (Gregory y Felker, 1992), época del año (Retamal et al., 1987b) y a la fertilidad del suelo (González, 1989; Gathaara et al., 1989). A pesar de la gran importancia que los cactus representan para los animales domésticos y la vida silvestre, existen muy pocos informes sobre la calidad nutritiva de *Opuntia* en la dieta animal (Griffiths y Hare, 1906); Shoop et al., 1967; De Kock, 1980; Meyer y Brown, 1985). Los valores representativos para los componentes nutritivos en dichos estudios incluyen al calcio, 4,2 por ciento; potasio 2,3 por ciento; magnesio, 1,4 por ciento; energía 2,6 Mcal/kg; carotenoides 29 ig/100g; y ácido ascórbico, 13 mg/100g. Los valores de digestibilidad in vitro fueron de 72 por ciento para proteína, 62 por ciento para materia seca, 43 por ciento para fibra cruda y 67 por ciento para materia orgánica.

Otra ventaja importante de los nopales como fuente de alimentación animal es el hecho de que normalmente es la única fuente de forraje verde durante la estación de sequía, capaz de proporcionar precursores de vitamina A. En lo que respecta al consumo humano, Rodríguez-Félix y Catwell (1988) informaron que están disponibles 29 ig de carotenoides y 13 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de tejido fresco de cladodios.

La única información disponible sobre energía metabolizable y digestibilidad proviene de Texas y Colorado. Everitt y González (1981) encontraron que la especie con mayor digestibilidad de materia seca (76 por ciento) fue de *O. lindheimeri*, aunque también mostró el menor contenido de proteína (6 por ciento), estos resultados fueron confirmados ampliamente por Meyer y Brown (1985).

La información existente sobre energía digerible y contenido proteico de *O. polyacantha* (planta pequeña y de crecimiento lento), de los pastizales de Colorado, puede servir como una guía útil para otras especies de forraje de *Opuntia* (Shoop et al. 1977). A pesar de que ésta especie contiene menos proteína cruda (53 por ciento) que el heno de pastizal (5,7 por ciento) o de alfalfa (16,8 por ciento), su energía digerible de 2,61 Mcal/kg, supera al pastizal (2,08 Mcal/kg) y es casi igual que la alfalfa (2,64 Mcal/kg). *O. polyacantha* tiene 85 por ciento de fibra detergente neutral y 70 por ciento de fibra detergente ácida, pero contienen 55 por ciento más de hemicelulosa y 40 por ciento más de carbohidratos solubles (Shoop et al., 1977). Debido a su crecimiento acelerado y menor lignificación, *O. ficus-indica* tiene mayores valores de energía digerible, desde 3,32 a 3,54 Mcal/kg (Retamal et al., 1987b).

Mientras que el perfil de aminoácidos en los tallos de *Opuntia* es útil únicamente para la nutrición de animales que no son rumiantes. Teles et al. (1984) encontraron que el perfil de aminoácidos de los tallos del nopal inmaduro tiene un valor biológico de 72, comparado con la proteína del huevo de gallina que es de 100.

El ganadero texano Bill Maltsberger ha invertido muchos años desarrollando suplementos de proteínas y minerales para sus 800 animales Santa Gertrudis en 4000 ha de pastizal al sur de San Antonio.

No obstante que Maltberger rutinariamente agregaba cactus a la harina de semilla de algodón como suplemento de proteína y permitía al ganado libre pastoreo, hubo una ligera evidencia de problemas nutricionales. Después de realizar algunas análisis post-mortem de los órganos en busca de residuos de elementos, encontró que el ganado tenía deficiencias de cobre, molibdeno y zinc. Sobre la base de estos análisis, Maltberger comenzó a usar los suplementos mostrados en las Tablas 22 y 23. Las inyecciones regulares de vitamina E también fueron útiles después de varios meses de alimentación con ésta dieta a base de cactus. Cuando el ganado fue alimentado con nopal que había sido chamuscado para eliminar el problema de las espinas (como será discutido mas adelante), fueron suplementados con cubos de proteína y minerales. Se lograron excelentes incrementos en peso, conformación del cuerpo e índices de concepción del 90 por ciento. Este suplemento también parece haber reducido el porcentaje de anomalías en los becerros recién nacidos.

Tabla 22. Suplemento proteico para el ganado durante épocas de sequía.

Ingredientes	Cantidad (kg)
Semilla de algodón	475.00
Soya	450.00
Sulfato de manganeso	2.75
Óxido de zinc	1.5
Sulfato de cobre	1.25
Vitamina E -20	3.125
Sulfato de cobalto	0.080
Dihidróxido de etilendiamida (DEDA)	0.025
Mezcla de óxido de selenio 0.2%)	0.0625
Vitamina A -30	0.45
Masonex (arcilla integradora)	12.5
Melaza	53.5
Total	1000

Fuente: Cortesía de Bill Maltberger, ganadero, Cotulla, Texas.

Maltberger (1993, comunicación personal) enfatizó que las deficiencias minerales en sus animales no fueron causadas directamente por el nopal, sino que se originaron durante las sequías, ya que el ganado no tiene otra fuente de vitaminas y minerales. Por ello en períodos de sequía, cuando no están disponibles otras fuentes de forraje durante varios meses, resulta crítico alimentar al ganado con minerales y proteínas.

La ración de proteína (Tabla 22) es fabricada en forma de cubos de 2 cm, y sólo se proporcionan durante los períodos de sequía, cuando no está disponible ningún otro forraje. Pero la fórmula a base de minerales (Tabla 23), que contiene fósforo en forma de harina de carne y hueso, debe estar disponible durante todo el año, independientemente del grado de sequía.

Ingredientes	Cantidad (kg)
Hueso	450.00
Carne y hueso	150.00
Cloruro de sodio	300.00
Sulfato de manganeso	22.00
Oxido de zinc	11.50
Sulfato de cobre	10.00
Vitamina E-20	25.00
Sulfato de cobalto	0.625
Dihidróxido de etilendiamida (DEDA)	0.20
Mezcla de oxido de selenio (0.2%)	0.50

Vitamina A-30	3.65
Molzasas	26.5
Total	1000

* Este suplemento se debe utilizar durante todo el año.
Fuente: Cortesía de Bill Maltsberger, ganadero, Cotulla, Texas.

Mientras que las raciones de alimentación han sido diseñadas para el ganado, es razonable esperar que pueden ser fácilmente adaptadas a otros ruminantes tales como cabras, ovejas y venados. Existen informes muy antiguos sobre el uso del nopal para el ganado porcino. Desafortunadamente, no existen ensayos bien fundamentados al alimentar a los cerdos. Lukefahr y Ciro-Ruiz (comunicación personal) han alimentado conejos exitosamente utilizando dos variedades de nopal en Brasil (Palma Redonda, #1 270). Es interesante señalar que a los conejos no les agradó la variedad #1 308 de *O. cochellinifera*, y prefirieron la variedad #1 270.

MÉTODOS PARA INCREMENTAR EL CONTENIDO PROTEÍNICÓ DEL FORRAJE DE *Opuntia*

Afortunadamente, hay varias técnicas para incrementar el contenido proteínico del nopal para forraje y minimizar el costo del suplemento proteínico. El primer método es con fertilizantes a base de N y P. Desde que González (1989) descubrió que la proteína cruda en *O. lindheimeri* se incrementó de 4,5 por ciento a 10,5 por ciento, utilizando una mezcla que contenía 224 kg N y 112 P/ha. Esto es especialmente importante, debido a que este tratamiento incrementó el contenido proteínico sobre los requerimientos del ganado seco y del lactante, en 6,0 y 9,25 por ciento respectivamente.

Ya que la mayor parte de las plantaciones de nopal reciben fertilización un N, es razonable pensar que el contenido N de las pencas de estos huertos se aproximarían al 9 por ciento de nivel de contenido proteínico. Potgieter (1997, comunicación personal) en Sudáfrica, obtuvo 40 ton de pencas de la poda anual de los huertos de nopal de fruta, y podrían ser una fuente importante de forraje con alto contenido de proteína para el ganado.

Dado que los animales consumen 40 kg/ha de pencas, Maltsberger utilizó una mezcla recurriendo a la poda de cladodios (Tabla 24). Las podas anuales proveerían aproximadamente 3 años de forraje por hectárea por animal.

Ingredientes	Cantidad (kg)
Nopal fresco	40.0
Suplemento proteínico	1.4
Suplemento mineral	0.1

Fuente: Cortesía de Bill Maltsberger, ganadero, Cotulla, Texas.

La segunda forma para incrementar la proteína del forraje es mediante el uso de nuevas y mejores selecciones que contengan mas proteína. En una comparación de ocho clones de *Opuntia* para forraje, Gregory y Felker (1992) encontraron que un clon Brasileño (#1270, cv. Palma Redonda) de CPTSA en Petrolina, tenía más del 11 por ciento de proteína, y cuatro veces mas P (0,41 por ciento) que el nopal nativo de Texas, que contenía 11 por ciento de proteína solamente en los cladodios más jóvenes, pero tan solo 5 por ciento en los mas viejos.

Finalmente, es también posible que la inoculación de las raíces de nopal con bacterias fijadoras de nitrógeno en asociación libre, tales como la *Azospirillum* sp., podrían incrementar el contenido proteínico de los cladodios, desde que Rao y Venkateswarlu (1982), Caballero-Mellado (1990) y Mascarúa-Esparza et al. (1988) informaron un incremento del 34 por ciento el peso seco de la raíz de nopal y un incremento del 63 por ciento en el contenido N de raíz con la inoculación de *Azospirillum*. Dicha inoculación puede también ayudar a controlar la pudrición de los cladodios causados por *Erwinia*, que ataca las nuevas plantaciones, ya se ha demostrado que *Azospirillum* inhibe el crecimiento de *Xanthomonas* y *Erwinia*.

PLANTACIÓN, CULTIVO, FERTILIZACIÓN Y MANEJO

El problema más común con las nuevas plantaciones de nopal es la pudrición del material de plantación en la superficie donde fueron cortados los cladodios. Por lo que se recomienda secarlos en la sombra por varios días para que sane permitir la superficie expuesta, o tratarlos con una solución de sulfato de calcio o de cobre. El suelo deberá ser barbechado y

cultivado como cualquier otra especie. Los cladodios deben ser plantados con aproximadamente 1/3 de su altura bajo la superficie del suelo y con la superficie plana del cladodio hacia el este-oeste.

Durante las etapas iniciales, el crecimiento del nopal puede ser severamente inhibido por la maleza. Por lo que es muy importante proveer buen control de la hierba hasta que el nopal esté bien establecido. Algunos herbicidas pre-emergentes, como el karmex, simazina y el treflan, proveen buen control de hierba a dosis de 2-4 kg/ha, sin que el nopal resulte dañado. Si no está disponible ningún herbicida pre-emergente, es esencial plantar en un arreglo que permita el fácil y frecuente control herbáceo mecánico, tal como el rastreo. Si está disponible una unidad con un disco de 2,5 m para el control de la hierba, es recomendable plantar en hileras de 1 m x 4 m para permitir el fácil acceso para el disco y el tractor.

En Argentina, los caballos son admitidos a las plantaciones de nopal sin espinas, ya que comerán la mayor parte del forraje pero no al cactus. Como será discutido más adelante, después de que las plantas de nopal superen 1 m de altura, el ganado puede ser admitido a índices de 1 vaca por ha. Entonces el ganado consumirá tanto al pasto como al nopal, eliminando la necesidad de controlar la maleza.

Aun el material no seleccionado de *O. lindheimeri* puede ser muy productivo si se fertiliza. Cuando González (1989) comparó 8 tratamientos de fertilización en lotes de silvestres durante un período de 4 años en una zona con 430 mm de lluvia anual, encontró que la productividad de biomasa en materia seca se incrementó de 7 a 62 ton/ha/año utilizando las dosis máximas de 224 kg de N y 112 kg de P por ha, superando a otras especies forrajeras. Por lo que el autor recomendó la fertilización con 224 kg/ha de N cada 2 años para mantener al 10 por ciento los niveles de proteína cruda y una producción de 50 ton/ha/año.

COMPARACIÓN ENTRE VARIETADES DE NOPAL CON Y SIN ESPINAS

Hay diferencias significativas en las variedades con (VCE) y sin espinas (VSE). Las plantaciones con VSE deben ser cercadas para que el ganado y otros animales salvajes no consuman las plantaciones menores de 2 años. En Texas, el venado, los jabalíes (cerdos salvajes) y los conejos consumen por completo las plantaciones nuevas. En áreas donde los venados son abundantes, es necesario establecer cercas de 2 m de altura alrededor de las plantaciones. En contraste, las variedades espinosas no requieren cercado, pero las espinas tienen que ser quemadas con quemadores de propano previo a su utilización. En Texas, al comprar propano al mayoreo (40,000 litros/camión), el precio es de 0,11 \$US por litro. En una plantación de *O. linheimeri*, un hombre, usando un tanque de propano de 8 litros y un quemador de propano, puede chamuscar suficiente nopal para alimentar entre 100 y 200 cabezas de ganado al día, equivalente a 1,0 a 1,3 litros de propano por animal (Maltsberger, 1989). Para evitar la sobre cocción del cactus, debe regularse la flama para quemar las espinas de ambos lados de la planta. Maltsberger también recomienda el quemar más cactus del requerido para que dure hasta la siguiente alimentación y no sobre utilizar el recurso, dejando al menos una articulación de cladodios arriba del suelo sin chamuscar.

Para reducir el costo de quemar nopales silvestres, Plunneke (1990) describió algunos sistemas en los que los cactus fueron plantados en hileras. En situaciones especiales, como cuando es necesario llevar los cladodios al establo, pueden ser transportados a corta distancia hasta donde se encuentran los animales. Se han desarrollado herramientas especializadas para cortar primero al nopal en la base y luego lanzarlo 1 m sobre la altura de la cabeza, hacia un remolque o camión. En Texas, este nopal después fue oreado (secado a la sombra), las espinas quemadas y alimentadas a una trituradora de ensilaje motorizada con un tractor. En México, las espinas no fueron quemadas, sino tan sólo pasadas por la trituradora antes de alimentar al ganado bovino (Felker, observación no publicada).

Parecería muy atractivo usar los principios de la cosecha manual y pasar el cactus cortado a mano por una trituradora de ensilaje motorizada por un tractor, adaptándolo a operaciones mecanizadas de mayor escala. Por ejemplo, sería muy útil si un tractor impulsado por sí mismo o un cosechador de ensilaje de tractor pudiera ser modificado para cosechar el nopal plantado en hileras, triturarlo y enviarlo hacia un remolque en el campo. Este cactus triturado sería útil principalmente para el ganado bovino o de carne en regiones áridas. Alternativamente, sería posible usar una podadora de disco rotatorio condicionada para cortar y orear al cactus. Y después de secarlo por varias semanas, sería útil si una cosechadora de forraje modificada pudiese moverse por las hileras, recoger el cactus seco, triturarlo y depositarlo en el remolque.

A pesar del esfuerzo que implica quemar las espinas del cactus, existen algunas ventajas, ya que el ganado no come el cactus que no ha sido quemado, además de que permite controlar la cantidad de cladodios que puede ser utilizada por día. Asimismo, el ganado rápidamente aprende a distinguir el sonido del quemador de propano y pueden ser atraídos desde una distancia de 700 m. Este condicionamiento al sonido del quemador de propano permite al ganado ser recogido hacia los corrales y establos.

Las variedades sin espinas evitan el trabajo que implica quemarlas, pero es necesario un manejo intensivo del ganado doméstico para mantener la reserva de nopal sin ser sobre utilizada. Ya que las VSE no son tan resistentes al frío como las formas espinosas de *O. linheimeri*, por lo que las VSE para forraje deben seleccionarse cuidadosamente.

Si no existen problemas de heladas (temperaturas mínimas no menores a -5 °C por algunas horas), la variedad de forraje brasileña #1270 es especialmente prometedora, ya que muestra crecimiento acelerado y contiene cerca del 10 por ciento

de proteína cruda, contra 6 a 9 por ciento en otras variedades (Gregory y Felker, 1992). Una variedad sin espinas (accesión #1233), que es posiblemente un híbrido entre la nativa de Texas *O. lindheimeri* y un tipo de *O. ficus-indica*, sufre tan solo daños menores a -12 °C, lo cual mataría a la variedad #1270. En áreas en donde se registran regularmente bajas temperaturas (-18 °C), el único tipo sin espinas disponible es *O. ellisiana*, aunque es de lento crecimiento. En un espaciamiento de 1,2 x 1,2 m y con buen manejo de la plantación, esta selección tan sólo producirá 1 600 kg M/ha en el primer año y 4 400 kg al segundo año. Sin embargo, después de que alcance un índice de área foliar de cerca de 1, podrá producir 11 000 kg MS/ha en el tercer año, y 17 670 kg al cuarto año.

Considerando índices de producción anual de peso fresco cercanos a los 100 000 kg/día, una vez que los índices de área foliar alcanzan valores de 2, y con un consumo de 40 kg/día por animal, sería posible que si se deja 1 vaca/ha, el ganado nunca podría agotar los recursos forrajeros. Por lo que solo es necesario plantar, cultivar y cuidar al nopal hasta que tenga una altura de cerca de 1 m.

COMPARACIÓN DEL CACTUS CON EL HENO

Las variedades de nopal con y sin espinas son equivalentes a 200 ton/ha de peso fresco de heno. Por lo que varias hectáreas de nopal pueden proveer una reserva considerable de alimento animal durante períodos de sequía. Además, diferente a lo que sucede con el heno almacenado en la granja, el nopal en el campo no se deteriora en calidad y no existe el problema de las ratas comiéndose el heno en almacenamiento. Aún durante los períodos de sequía en el verano o el invierno, el nopal permanece verde, con vitamina A y tan sólo necesita la eliminación de espinas mediante quemadores, o bien, admitir al ganado dentro del área cercada. En períodos de sequía, el ganado tiene que caminar largas distancias para obtener agua, aún si ésta es proporcionada en un sitio determinado, el ganado tendrá que caminar hasta ahí. Al alimentarse con 40 kg de cladodios al día (considerando un contenido del 85 por ciento de agua), el ganado ingiere 35 litros de agua al día, que puede ser benéfico durante períodos de sequía.

CONCLUSIONES

Tanto los clones con espinas como los sin espinas al ser plantados en hileras, fertilizados y controlando la maleza, se pueden lograr producciones de materia seca y materia verde del orden de 17 000 kg/ha y 170 000 kg/ha respectivamente, con concentraciones de proteína cruda cercanas al 10 por ciento. Cuando el ganado es suplementado con proteínas, minerales y vitaminas elementales, se logran índices excelentes de crecimiento y concepción. El nopal tiene gran potencial para incrementar la producción en años con precipitaciones promedio, además de proveer una reserva importante de forraje para los animales en años de sequías severas. Así como forraje verde y una fuente muy apreciada de agua para el ganado.

^[6] Djalma CORDEIRO DOS SANTOS. Estacion Experimental de Arcoverde IPA. Petrolina, Brasil
Severino GONZAGA DE ALBUQUERQUE. CPATSA-Empresa Brasileira de Pesquisa.
Agropecuaria. Petrolina, Brasil

Opuntia como alimento para rumiantes en Chile

PATRICIO AZOCAR^[1]

INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas, los pastizales utilizados por cabras y ovejas están caracterizados por grandes cambios de estación en la producción de forraje, y marcadas fluctuaciones anuales y de estación en la calidad del forraje. En Coquimbo, al noreste de Chile, los registros anuales muestran producciones de materia seca de 3 t/ha en años lluviosos y menos de 0,2 t/ha en años secos. Las especies arbustivas varían de 36 por ciento a 95 por ciento del total de materia seca en años secos y húmedos respectivamente (Azocar y Lailhacar, 1990).

En Chile, la crianza de cabras está basada exclusivamente en pastizales, permitiendo tan solo su mantenimiento y supervivencia. Consecuentemente, para alcanzar los niveles de ingreso en producción de ganado es necesario suplementar la alimentación de los animales con alimentos de bajo costo que suplementen energía y proteína en los períodos críticos, para extender el período de lactancia y mantener la producción de carne y leche. (Azocar y Rojo, 1991; Azocar *et al.*, 1996). En relación al manejo de la alimentación del ganado, se encontró que el uso de cladodios de *Opuntia* para alimentar ovejas en crecimiento incrementa en un 30 por ciento la eficiencia de la utilización del agua potable.

La productividad vegetal varía considerablemente entre las especies de acuerdo a las condiciones ambientales (García de Cortázar y Nobel, 1991). Las plantas con Metabolismo de Ácido Crasuláceo, como *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, son generalmente consideradas con menor productividad que las plantas C₄ o C₃. Sin embargo, las *Opuntias* son altamente eficientes en el uso de agua y soportan sequías y altas temperaturas. Estas características las hacen muy prometedoras para suelos pobres y con poca disponibilidad de agua para riego (Silva y Acevedo, 1985).

La productividad mundial de *Opuntia* bajo condiciones de cultivo es generalmente menor a 10 t/ha al año, aunque puede alcanzar 20 t/ha al año. Es una fuente de alimentación importante en las praderas de zonas con clima Mediterráneo árido, y es usado en la producción de lácteos y carnes (Azócar y Rojo, 1991; Azócar 1992; Azócar *et al.*, 1996; Ben Salem *et al.*, 1996; Santana, 1992).

El uso de *Opuntia* para la alimentación del ganado es una práctica antigua en Brasil, Chile, México, Sicilia (Italia); Sudáfrica, Túnez, el sur de los Estados Unidos de América, y otros países (Santana, 1992). La mayoría de las especies forrajeras mexicanas poseen espinas para protegerse de los herbívoros, lo que es el principal obstáculo en su uso como alimento de ganado. El problema es superado mediante el uso de técnicas simples, como quemadores de propano (Felker, 1995). Algunas especies de *O. ficus-indica* tienen espinas, y son fácilmente consumidas por el ganado.

Otra limitante de las especies mexicanas es su baja digestibilidad, que podría ser superada cortando el material en porciones pequeñas para facilitar su ingestión, incluyendo otros ingredientes en la ración (como la paja), y utilizando plantas con dos o tres años de edad, ya que las plantas más jóvenes son más laxantes, tanto como las plantas con más de 4 años (INIF, 1983).

Las ventajas de la *Opuntia* incluyen alta producción de biomasa, buena palatabilidad y valor nutritivo, perennifolios, resistencia a sequía y adaptación al suelo (Monjauze y Le Houérou, 1965; Le Houérou, 1992; Nefzaoui *et al.*, 1993; Ben Salem *et al.*, 1996). *Opuntia* tiene altos contenidos de ceniza (260 g/kg MS) y agua (926 g/kg peso fresco), pero bajos contenidos de

proteína cruda (58 g/kg MS) y fibra detergente neutra (185 g NDF por kg MS) (Ben Salem *et al.*, 1996). Los mismos autores informaron que el consumo de agua potable de las ovejas se redujo substancialmente al incrementar los niveles de consumo de *Opuntia*.

CULTIVO DE *Opuntia* PARA FORRAJE Clima

Opuntia no se adapta a zonas con temperaturas extremas. En su lugar de origen, las regiones montañosas de México, las temperaturas raramente superan los 40 °C ó -10 °C (Felker, 1995). Las mejores temperaturas para la producción de *Opuntia* varían entre los 18 y 26 °C, aunque algunas especies pueden tolerar temperaturas tan altas como los 40 °C y tan bajas como los -8 °C. Crece en zonas con precipitaciones anuales de 200 a 250 mm, pero los límites para la producción comercial son alrededor de 450 mm/año (Pimienta, 1995).

Requerimientos de agua

Opuntia utiliza el agua mas eficientemente que los cultivos forrajeros convencionales, tal como se ilustra en la Tabla 25 (Le Houérou, 1994, citado por De Koch, 1998; Silva y Acevedo, 1985).

Tabla 25. Eficiencia de uso del agua (EUA) en condiciones de temporal y riego.		
Crop	Eficiencia de uso del agua (EUA)	
	kg H ₂ O/kg MS	mg MS/g H ₂ O
Nopal(1)	43-15	23-65
Agave	93	10.7
Nopal	267	3.7
<i>Atriplex nummularia</i>	304	3.3
Mijo perla	400	2.5
Cebada	500	2.0
Sorgo	666	1.6
Trigo	750	1.3
Alfalfa	1000	1.0
Pastizal	2000	0.5
Fuentes: (1) De Koch, 1999; Le Houérou, 1994.		

Cultivo

El cultivo de *Opuntia* se basa principalmente en la propagación vegetativa, que es preferida por los productores por su simplicidad (Mondragón y Pimienta, 1995). Las plantaciones comerciales se realizan mediante surcos (De Koch, 1998). Las hileras son generalmente puestas de 2 a 6 m de distancia y los cladodios son plantados de 1 a 2 m de distancia.

Dependiendo el propósito, la densidad del cultivo puede variar entre 850 y 5 000 plantas/hectárea. Los resultados de investigaciones de modelaje, predicen que *Opuntia* podría lograr una productividad de biomasa mayor mediante plantaciones intensivas, a mayores densidades (García de Cortázar y Nobel, 1990).

Productividad

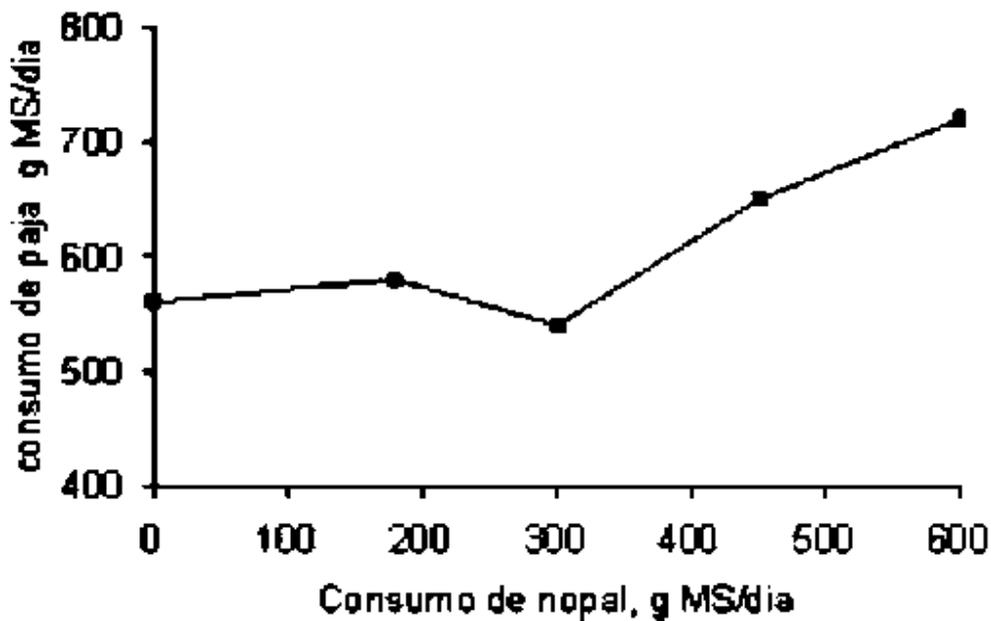
En Brasil, Santana (1992) reportó un rango de producción de peso fresco neto de 106,9 a 205,0 t/ha al año (aproximadamente 16 a 31 t/ha al año), con producciones variando de acuerdo a la zona geográfica, tipo de suelo, dosis de fertilizante utilizado, densidad de cultivo y asociación con otros cultivos.

En Chile, las producciones de cladodios varían entre 13 t de materia seca (MS)/ha por año, en plantaciones que tan solo cubrían el 30 por ciento del terreno, y 40 t MS/ha/año en situaciones simuladas de cultivo de alta densidad, irrigación óptima y buena fertilización. Producciones promedio de 8 t/ha en tierras no irrigadas de la zona central de Chile han sido reportadas por García de Cortázar y Nobel (1990) y Riveros et al. (1990).

Tabla 26. Composición química del cladodios de nopal y heno de alfalfa usados como suplemento de cabras lactantes. (Estacion Experimental Las Cardas, Universidad de Chile)		
	Heno de alfalfa	Cladodios de nopal
Materia seca MS(%)	93.06	15.04
Materia organica MO (%)	88.75	90.00
Proteina cruda PC (%)	18.86	3.51
Energia metabolizable EM (Mcal/kg)	2.52	2.25
Ca (%)	1.68	2.01
P (%)	0.29	0.11
Fuente: Azócar y Rojo, 1991		

Tabla 27. Composicion quimica y digestibilidad de materia organica of <i>Acacia cyanophylla</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>O. ficusindica</i> y heno de cebada (Estacion Central Experimental Ousseltia, INRAT, Túnez)				
Composición	<i>A. cyanophylla</i>	<i>A. halimus</i>	<i>O. ficusindica</i>	Heno de cebada
MS (g/kg)	555	464	100	808
MO (g/kg DM)	900	799	779	916
PC (g/kg DM)	129	161	38	64
Fibra cruda (FC) (g/kg DM)	254	164	154	350
Fibra detergente neutral (FDN) (g/kg M)	469	328	197	605
Digestibilidad de materia organica (%)	51.2	79.3	82.3	-
Fuente: Ben Salem, Nefzaoui y Abdouli (1994)				

Figura 4. Consumo de nopal versus consumo de fibra (Fuente: Ben Salem et al., 1996, citado por Nefzaoul y Ben Salem, 1998)



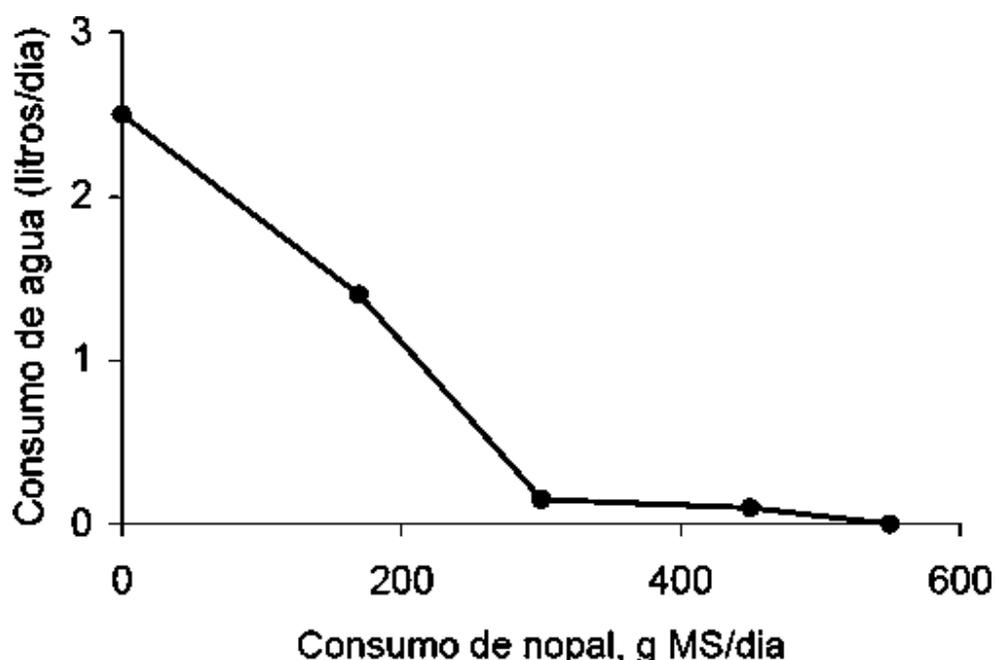
El contenido de proteína cruda se reduce de 5 a 3 por ciento y la fibra cruda incrementa (9 a 20 por ciento de materia seca) con la edad del cladodio (1 a 5 años, $R^2 = 0,6$). Esta tendencia es similar a otras fuentes de forraje, donde los nutrientes más valiosos se reducen con la edad de la planta por el incremento relativo en contenido de fibra (Nefzaoui y Ben Salem, 1998).

EFICIENCIA DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN ZONAS SEMIÁRIDAS

El proporcionar agua a los animales durante el verano y períodos de sequía es un problema serio en zonas áridas. Los animales utilizan mucha energía para llegar a los pozos de agua, con la degradación correspondiente de los pastizales en las áreas circundantes.

En Túnez, Nefzaoui y Ben Salem (1998) mostraron que los animales no beben agua cuando el consumo diario de cactus es cercano a los 300 g de materia seca. El volumen del agua que toman los animales se redujo de 2,4 litros para la dieta del testigo, a 0,1 litros cuando el nivel de cactus sin espinas era superior a 300 g de MS, inclusive dejaron de beber en el nivel más alto de consumo de cactus (Figura 5).

Figura 5. Consumo de nopal (g MS/día) versus consumo de agua (litros/día) (Fuente: Ben Salem *et al.*, 1996, citado por Nefzaoui y Ben Salem, 1998)



Riveros et al. (1990), en la zona semi-árida de Santiago (Chile), estudiaron el efecto que tiene el reemplazar heno de alfalfa por cladodios de Opuntia sobre el peso y el consumo de agua en las ovejas. Durante dos meses de verano, se asignaron dos tratamientos al azar a 20 ovejas de 6 a 7 años de edad. Un grupo se alimentó con heno de alfalfa para alcanzar solo el nivel de sobrevivencia. Y el otro grupo con heno de alfalfa además de cladodios de Opuntia hasta reemplazar el 25 por ciento de los requerimientos diarios de manutención de materia seca. Los grupos fueron estabulados y el consumo de agua se registró diariamente, al igual que la evaporación diaria. Los resultados mostraron que el peso mostró pequeñas variaciones semanales ($P < 0,05$).

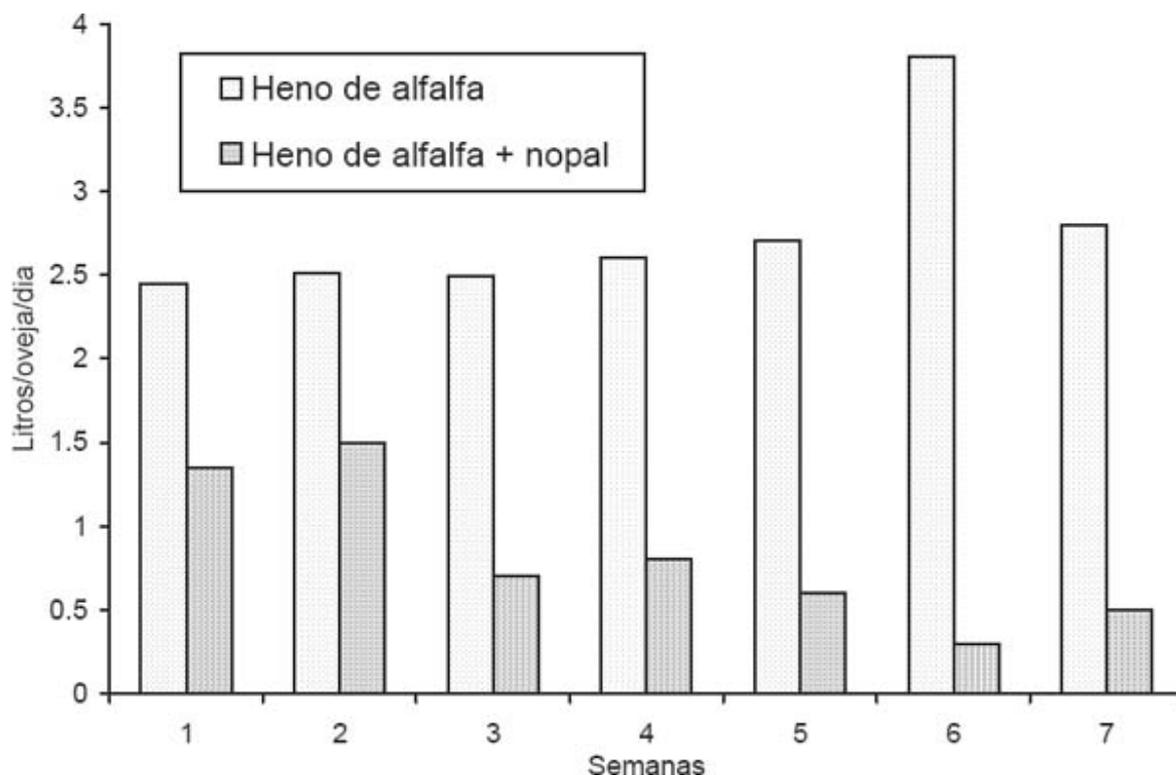
El consumo de materia seca fue muy similar entre los tratamientos ($P < 0,05$), el grupo alimentado con heno de alfalfa mostró incrementos de 0,87 a 1,35 kg/animal al día. Mientras que el grupo que se alimentó con alfalfa y Opuntia tuvo incrementos de 0,65 a 1,32 kg/animal al día, y a partir de la segunda semana consumió 28,1 a 31,8 por ciento de materia seca a partir de Opuntia de la materia seca total ingerida.

El consumo de agua varió significativamente entre tratamientos ($P < 0,01$): mientras que el grupo alimentado con alfalfa fluctuó de 2,48 a 3,26 litros/animal/día, el grupo alimentado con Opuntia + alfalfa bebió diariamente entre 0,71 y 1,51 litros/animal. Tomado en cuenta el consumo directo e indirecto de agua, derivado de los requerimientos de alfalfa y Opuntia para producir 1 kg de materia seca, los animales que consumieron alfalfa y pencas, fueron 30 por ciento más eficientes en el uso del agua respecto a los que se alimentaron solo con alfalfa. Por lo que se concluyó que el uso del nopal podría ser una posibilidad interesante para incrementar el forraje y la productividad de animales, particularmente como una alternativa para mejorar la eficiencia del uso de agua en zonas secas (Figura 6).

Tabla 28. Producción de leche de cabra en la Estación Agrícola Experimental Las Cardas, Coquimbo, Chile. Medias de los dos últimos meses de lactancia.	
Tratamiento	Rendimiento De leche (g/cabra/día)*
Control en pastizal sin suplementos	193 c
Pastizal + heno de alfalfa <i>ad libitum</i>	300 b
Pastizal + 84% heno de alfalfa + 16% nopal	374 b
Pastizal + 79% heno de alfalfa + 21% nopal	393 ab
Pastizal + 66% heno de alfalfa + 34% nopal	436 a
Nota: * Medias seguidas de la misma literal no son diferentes (Prueba de Duncan)	
Fuente: Azócar y Rojo, 1991	

En la zona árida de Coquimbo, Azócar y Rojo (1991) se observó que al complementar la alimentación de las cabras con alfalfa y cladodios de *Opuntia* en el período de lactancia, se incrementó significativamente (55,4 por ciento) la producción de leche. Si la alimentación con alfalfa se combinaba con 16, 21 y 34 por ciento de cladodios, las producciones se incrementaban en 93,8, 103,6 y 125 por ciento respectivamente. Bajo condiciones locales fue posible reemplazar la alfalfa por cladodios hasta un 34 por ciento para estimular la producción de leche. Este efecto puede ser atribuido al alto contenido de agua en los cladodios. Lo cual muestra una buena alternativa durante el verano para incrementar la producción de leche en zonas con un clima Mediterráneo árido (Tabla 28 y Figura 7).

Figura 6. Consumo semanal de agua por ovejas Suffolk en la Estacion Experimental La Rinconada de Maipú, Universidad de Chile, Santiago. (Fuente: Riveros al., 1990)



INTEGRACIÓN DE NOPAL CON OTRAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN NATURAL EN ZONAS ÁRIDAS

Opuntia no debe ser usada como fuente única de alimento por su pobre contenido de nitrógeno, por lo que es necesario complementada con una fuente apropiada y barata de nitrógeno, tal como *Atriplex* sp. o con nitrógeno agregado a la paja. Nefzaoui et al., (1995, citado por Nefzaoui y Ben Salem, 1998) mostraron que las dietas con *Opuntia* pueden ser eficientemente complementadas con *Atriplex nummularia*. El consumo de *Acacia cyanophylla* fue bajo por su alto contenido de taninos (7 por ciento de materia seca), que también son responsables por la baja digestibilidad de la proteína cruda en la *Acacia* (Nefzaoui y Ben Salem, 1998).

Azócar et al. (1996) evaluaron el consumo y su influencia sobre el peso animal y en la producción de leche en animales alimentados con forraje verde de *Atriplex nummularia* y de *O. ficus-indica*, con el 30 por ciento en una dieta basada en alfalfa. Los tratamientos fueron: (1) 100 por ciento heno de alfalfa; (2) 70 por ciento alfalfa y 30 por ciento de *A. nummularia*; (3) 70 por ciento alfalfa y 30 por ciento *Opuntia*. Las cabras fueron confinadas permanentemente y la sustitución de alfalfa con las otras dos fuentes se basó en el contenido de materia seca. El heno de alfalfa fue usado como alimento sin cortar, mientras que los cladodios de *Opuntia* y *A. nummularia* fueron cortados. El consumo fue registrado diariamente, y la cantidad ofrecida fue ajustada semanalmente. Tanto el peso animal como la producción de leche se midieron al inicio y luego cada 20 días.

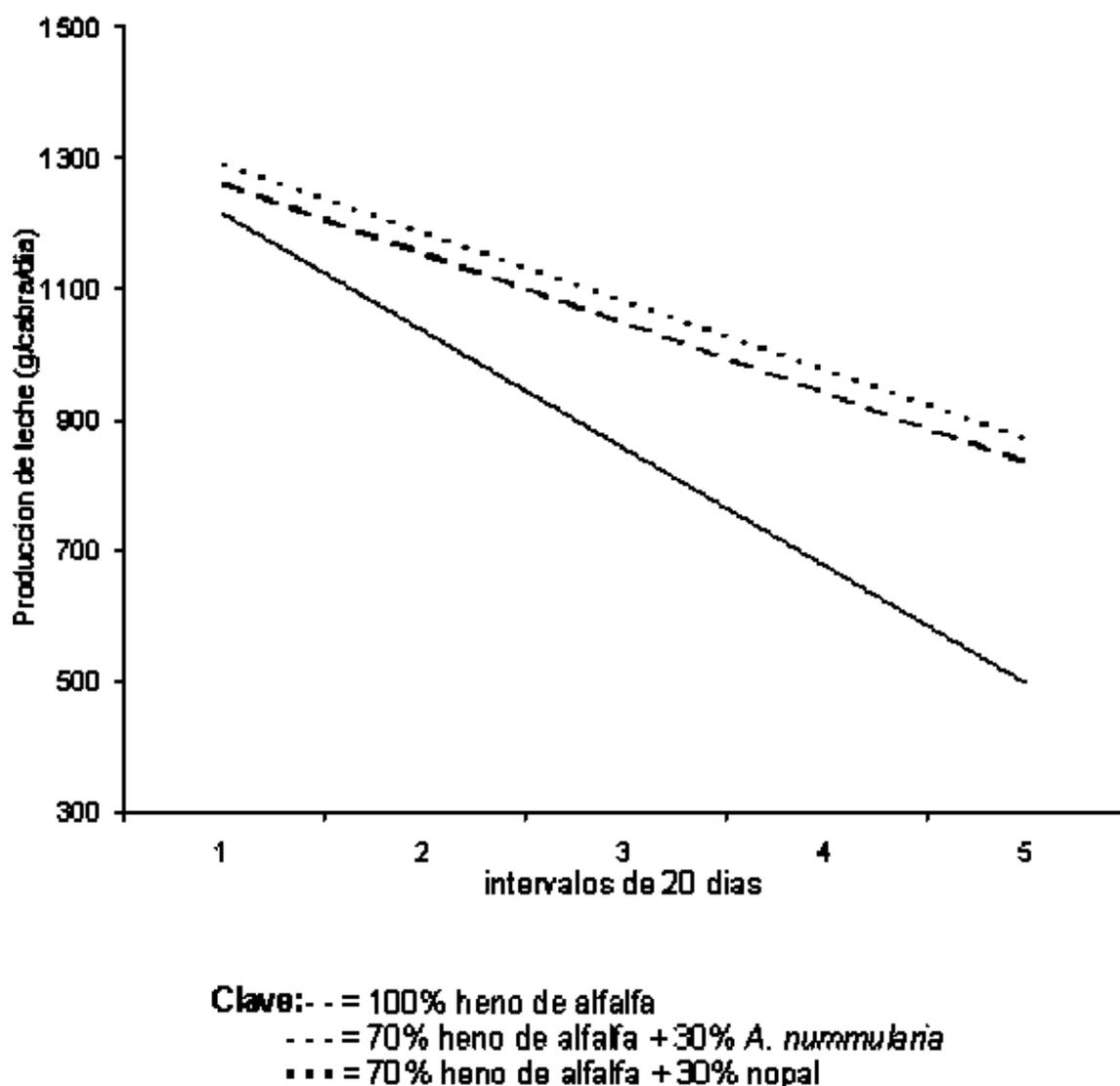
Los resultados indicaron diferencias significativas en el consumo de materia seca entre los tratamientos 1 y 2 ($P < 0.05$), y en el consumo promedio, significativamente mayores para el tratamiento 3 (Figura 7). Las ganancias totales en peso y las ganancias diarias se redujeron significativamente con la inclusión de *A. nummularia*. *Opuntia* produjo un efecto positivo en la producción de leche (Azócar et al., 1996). Por lo que se pudo concluir que:

(i) Es posible reemplazar hasta el 30 por ciento de la ración de heno de alfalfa con Opuntia, sin afectar significativamente el consumo, el peso y la producción de leche;

(ii) La inclusión de cladodios de Opuntia en la ración diaria de las cabras durante el período de lactancia promueve a una mayor consumo e incrementa la producción de leche, que es probablemente por el “efecto de lactosa”, aún sin explicar; y

(iii) El reemplazo de heno de alfalfa con 30 por ciento de *A. nummularia*, no afectó significativamente el consumo de materia seca, pero tuvo un efecto negativo en el peso del animal y redujo significativamente la producción de leche.

Figura 7. Producción de leche de cabra intervalos de 20 días (Fuente: Azócar et al, 1996)



Opuntia spp. para la producción de forraje en Argentina: experiencias y perspectivas

JUAN C. GUEVARA Y OSCAR R. ESTÉVEZ[®]

INTRODUCCIÓN

El nopal es extensivamente utilizado como un alimento de ganado de emergencia durante épocas de extrema sequía, como "seguro contra la sequía" (Le Houérou, 1994), en áreas áridas y semiáridas del mundo (Noreste de Brasil, México, Sudáfrica, EUA, y en el Mediterráneo).

Las plantaciones de nopal en Argentina se han incrementado de cerca de 90 ha en 1993 a 840 ha en 1997. La mayor parte de las plantaciones están localizadas en las provincias de Tucumán (39 por ciento), Catamarca (22 por ciento), Santiago del Estero (14 por ciento), La Rioja (12 por ciento) y Salta (10 por ciento) (Ochoa de Cornelli, 1997). Entre los principales usos tradicionales, actuales y potenciales del cactus (Barbera, 1995), el consumo de fruta fresca o procesada en jalea son los más importantes en Argentina (Ochoa de Cornelli, 1997). La mayor parte de los productores de cactus lo usan como actividad complementaria a sus sistemas agrícolas. La producción del nopal es muy popular en explotaciones de propietarios de minifundios, donde los cladodios son usados como forraje para el ganado y las cabras (Ricarte *et al.* 1998), aunque principalmente en invierno, cuando la provisión de agua para el ganado es limitada (Ochoa de Cornelli *et al.*, 1992).

Algunos estudios y experiencias han sido informados en el uso de opuntia como forraje en Argentina. La productividad ecológica y el contenido nutricional de los cladodios (Braun *et al.*, 1979), el estado actual de las plantaciones (Ricarte *et al.*, 1998) y su productividad bajo diferentes prácticas de manejo (Reynoso *et al.*, 1998) han sido estudiadas para *Opuntia ficus-indica* L. F. *inermis* (Web.) Le Houérou en Los Llanos de la Provincia Rioja.

Nuestros estudios con *Opuntia* spp. comenzaron en la llanura de Mendoza a finales de 1995 en respuesta a las sugerencias de Le Houérou (1995 a). Los experimentos abarcan el efecto de los fertilizantes, irrigación y distancia de plantaciones en producción de biomasa; evaluación de la supervivencia de las plantas y su producción en tierras marginadas (Guevara *et al.*, en prensa) y producción de cabras (Guevara *et al.*, 1999) han sido valoradas.

Este capítulo resume los estudios y las experiencias en Argentina del *Opuntia* como producción de forraje y sus perspectivas.

CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS.

La información colectada en 40 estaciones climáticas fue clasificada (Le Houérou, 1999) basándose en dos índices principales: a) la relación entre la lluvia (R) y la evapotranspiración potencial (EP), L/EP, para representar el estrés hídrico, y b) la temperatura media diaria del mes más frío (m), que representa al estrés térmico invernal.

Estos dos criterios permitieron la construcción de una matriz ortogonal (Figura 8). Los valores umbrales discriminatorios en la clasificación fueron:

Estrés hídrico

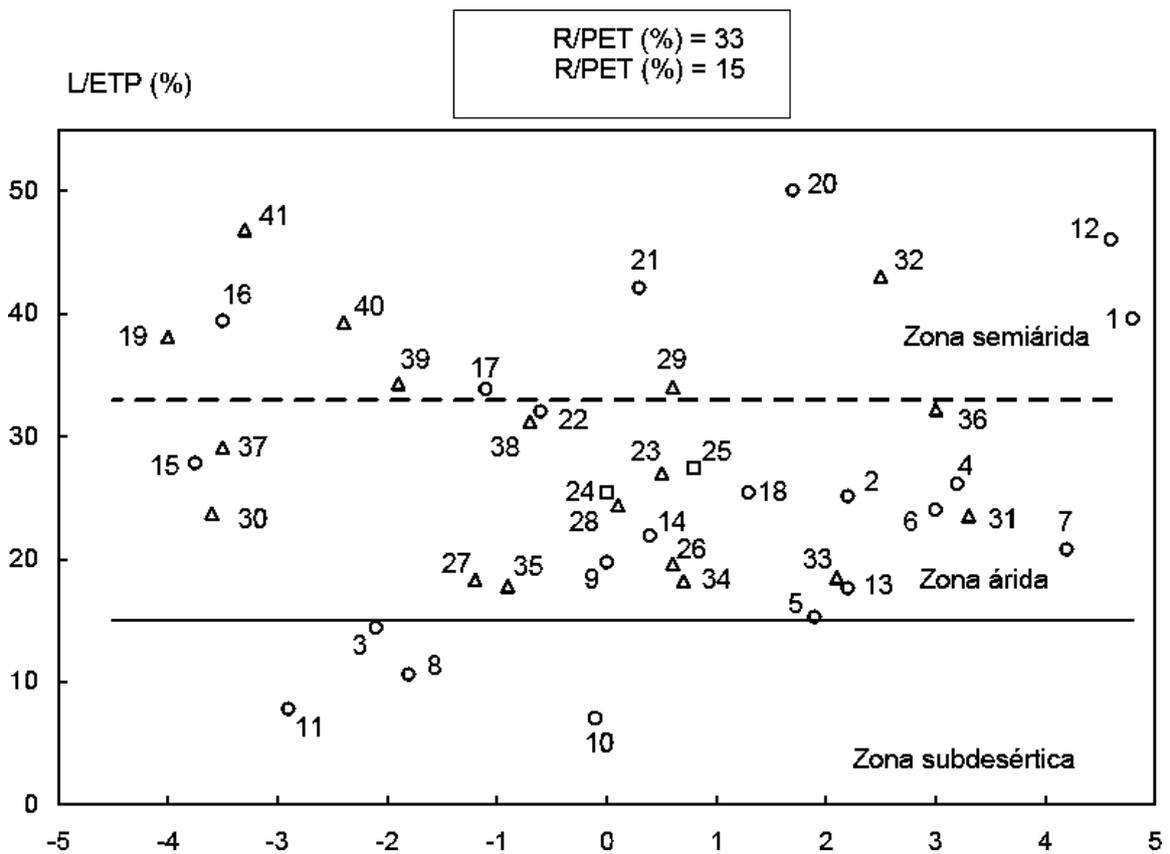
Zona semidesértica:	0.06 < L/ETP < 0.15; 100 < R < 200 mm
---------------------	---------------------------------------

Zona árida:	0.15 < L/ETP < 0.33; 200 < R < 400 mm	
Zona Semiárida:	0.33 < L/ETP < 0.50; 400 < R < 600 mm	
	L/ETP (%)	Estrés térmico invernal
	-5 < m < -3:	Invierno extremadamente frío
	-3 < m < -1:	Invierno muy frío
	-1 < m < 1:	Invierno frío
	1 < m < 3:	Invierno fresco
	3 < m < 5:	Invierno templado

Las estaciones climáticas fueron clasificadas también de acuerdo a los regímenes de lluvia: tropical (más del 70 por ciento de la precipitación anual cae durante la el verano); Mediterráneo (más del 70 por ciento cae como lluvia de invierno); y bien balanceados (entre el 40 y 60 por ciento de la precipitación anual en invierno).

Las temperaturas mínimas absolutas para la mayoría de las estaciones de clima fueron desde -5 °C (La Rioja) hasta -13 °C (Chos Malal, Neuquén). Las temperaturas más bajas registradas fueron -18 °C (El Divisadero, Mendoza) y -23 °C (Malargüe, Mendoza).

Figura 4. Clasificación bioclimática de las zonas áridas y semiáridas de Argentina bajo régimen pluvial tropical (○), mediterráneo (□) y bien-balanceado (△) (ver referencias en Figura 9)



Source: adapted from Le Houérou (1999).

LOCALIDADES



1 Santiago del Estero	15 El Divisadero	29 Río Colorado
2 Andalgala	16 San Carlos	30 Maquincha
3 Tinogasta	17 San Rafael	31 San Antonio Oeste

4 Catamarca	18 General Alvear	32 Carmen de Patagones
5 Chilecito	19 Malargüe	33 Puerto Madryn
6 La Rioja	20 San Luis	34 Trelew
7 Chepes	21 Unión	35 Sarmiento
8 S.J.de Jachal	22 Santa Isabel	36 Comodoro Rivadavia
9 Punta del Agua	23 Puelches	37 Gobernador Gregores
10 San Juan	24 Chos Malal	38 Puerto San Julián
11 Barreal	25 Las Lajas	39 Puerto Santa Cruz
12 Villa Dolores	26 Cutral-Có	40 Lago Argentino
13 Mendoza	27 Cipoletti	41 Río Gallegos
14 La Paz	28 Choele Choel	

PRINCIPALES LIMITACIONES PARA LAS PLANTACIONES DE *OPUNTIA*

Temperatura

Bajo diversas condiciones climáticas, el límite térmico para especies sensibles a bajas temperaturas, como es el caso de *Opuntia ficus-indica*, se delimitan con valores de *mde* 1,5 a 2,0 °C en las zonas áridas de las estepas del norte de África (Le Houérou, 1995b).

Las observaciones realizadas en diferentes especies y clones establecidas en las llanuras de Mendoza, sugieren que las temperaturas frías del invierno constituyen la mayor limitante para el cultivo del *Opuntia*. Cuando las temperaturas nocturnas en el El Divisadero descendieron hasta -17 °C en agosto de 1999, resultaron seriamente dañados los cladodios jóvenes de plantas de 9 meses de *O. ficus-indica*. Mientras que las plantas de 3 años de edad de *O. ficus-indica*, *O. spinulifera* Salm. Dick f. *f. nacuniana* Le Houérou, f. *npv.* y *O. robusta* Wen, solamente mostraron daños del orden de 25, 5 y 2 por ciento respectivamente.

Las investigaciones realizadas para determinar la producción de forraje de las especies más resistentes al frío, como *O. ellisiana* Griff. y el clon #1 233 (híbrido con *O. lindheimeri* Engelm.) se iniciaron recientemente en la llanura de Mendoza. Este material está siendo examinado ya que *O. ellisiana* no fue dañada cuando las temperaturas en Kingsville, Texas, bajaron a -12 °C en 1989 (Gregory, *et al.*, 1993). Igualmente, *O. ellisiana* no experimentó ningún daño y el clon #1 233 sufrió daños mínimos de esta helada cuando temperaturas de -20 °C fueron registradas en un lugar localizado a cerca de 500 km al norte de Kingsville (Wang *et al.* 1997).

De acuerdo con Han y Felker (1997), el uso promedio de eficiencia de agua (EUA) de *O. ellisiana* fue de 162 kg agua por cada kg de materia seca (MS). Dicho valor se encuentra entre los más altos registrados hasta hoy para cualquier especie de plantas.

Sin embargo, *O. ellisiana* es una especie de crecimiento más lento comparado con *O. ficus-indica*. De hecho, la relación de productividad entre *O. ellisiana* y *O. ficus-indica* fluctuó de 0,35 (Han y Felker, 1997) a 0,5 (Le Houérou, pers. com.). Se determinó que *O. ficus-indica* requiere de 250-350 kg de agua por kg de MS (Le Houérou, 1996a), por lo que la EUA de dicha especie es 55 a 85 por ciento menor que para *O. ellisiana*. Por lo que podemos concluir que la menor productividad de *O. ellisiana* se debe a su mayor tasa de transpiración. El clon #1 233, introducido por P. Felker (comunicación personal) en Santiago del Estero, mostró una alta productividad de biomasa.

Precipitación

Las cactáceas y otros arbustos tolerantes a la sequía son eficientes en el uso de agua, por lo que pueden sobrevivir con precipitaciones tan bajas como 50 mm al año, pero sin crecimiento ni producción (Le Houérou, 1994). Las precipitaciones anuales promedio de 100-150 mm corresponden al mínimo requerido para establecer plantaciones con especies más eficientes en el uso del agua y tolerantes a sequía (Le Houérou, 1994), siempre y cuando los suelos sean arenosos y profundos (Le Houérou, 1996a). Estos límites se basan en las observaciones realizadas en la cuenca Mediterránea, y al sur y norte de América (Le Houérou, 1994). Por lo que ha sido necesario evitar plantaciones en las regiones áridas ($L/ETP < 0,03$; y $L < 50$ mm) e hiper-áridas ($0,03 < L/ETP < 0,06$; y $50 < L < 100$ mm) de Argentina.

Tenencia de la tierra

El tipo de tenencia de la tierra puede constituir una enorme factor limitante para el establecimiento de plantaciones arbustivas, que definitivamente requieren de planeación a largo plazo. Ya que se requieren inversiones relativamente altas, es necesario tener seguridad en lo que respecta a la tenencia del terreno para poder recuperar las inversiones realizadas y asegurar el movimiento del ganado para permitir la regeneración de las plantas (Le Houérou, 1996b).

PRODUCTIVIDAD DE BIOMASAAÉREA

La textura del suelo y la precipitación son los principales factores relacionados con la productividad de *O. ficus-indica* (Tabla 29). En suelos arenosos, la productividad varía desde 2,1 a 2,4 t de MS/ha/año en áreas con 300 mm de lluvia. Esto significa una eficiencia promedio en el uso de agua de lluvia (EUAL) de 7,4 kg de MS/ha/año/mm. Estos valores de producción y eficiencia de uso de lluvia son menores que los que se registran en zonas áridas con un promedio de precipitación de 200 a 400 mm, en suelos profundos y arenosos (de 3 a 9 t MS/ha/año y de 15 a 22,5 kg MS/ha/año/mm, respectivamente), cuando la competencia de la vegetación nativa es eliminada o reducida al mínimo (Le Houérou, 1996a). La baja producción de biomasa en las plantaciones de nopal en el El Divisadero se puede atribuir a la presencia de maleza, ya que produjeron 300 por ciento menos biomasa que las plantaciones sin maleza (Felker y Rusell, 1998). En suelos arenosos y salinos, la productividad solamente alcanzó 0,75 t MS/ha/año en un lugar con precipitaciones ligeramente mayores a 200 mm, con un factor EUAL de solo 3,5.

Tabla 29. Productividad de biomasa aérea de *Opuntia ficus-indica* en Argentina.

Sitio	Lluvia anual (mm)	Textura de suelo	Trazo de la plantación (m)	Edad de la plantación (años)	Productividad (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)
Los Llanos (La Rioja) ¹ (30° 22'S, 66° 15'W)	317	Arenoso	3x3	5-7	2.4
Los Llanos (La Rioja) ² (30° 30'S, 66° 15'W)	317	n.d	4x4	10	1.7
El Divisadero (Santa Rosa, Mendoza) ³ (33° 45'S, 67° 41'W)	294	Arenoso	3x1	3	2.1
Mendoza ⁴ (32° 53'S, 68° 50'W)	215	Limoarenoso	5x1	3	0.75

MICROPROPAGACIÓN DE LA OPUNTIA ELLISIANA

O. ellisiana se multiplicó mediante técnicas *in vitro* usando porciones de cladodio (explantes) que contenían areolas (Juárez y Passera, 1998). El mejor procedimiento de esterilización (con sólo el 12 por ciento de las areolas contaminadas) consistieron en la inmersión de los cladodios enteros en hipoclorito de sodio y Tween 80, y luego transferidas a una solución de cloruro de benzalconio.

Los explantes se mantuvieron en un medio de Murashige y Skoog complementado con sacarosa y diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) y 6 benzil-amino-purina en una cámara de crecimiento con temperatura regulada a 27± 2 °C, 100 por ciento de humedad relativa y un fotoperíodo de 16 horas. Los explantes en el medio con 2,25 mg/litro de IBA mostraron un excelente crecimiento que se disparó a los 35 días en el medio de cultivo. Con una longitud promedio de 10,2 mm a los 49 días.

Se logró un 100 por ciento de inducción de raíces en los brotes en un medio con 5 mg/litro de IBA después de 12 días de cultivo. Los mayores valores de enraizamiento se registraron cuando los brotes se cultivaron en un medio enriquecido con 5 mg/litro de AIB a los 48 días de cultivo.

La aclimatación de las plantas regeneradas *in vitro* se logró en el invernadero y fueron trasplantadas con éxito al terreno de cultivo.

VIABILIDAD ECONÓMICA DE LAS PLANTACIONES *Opuntia* PARA FORRAJE

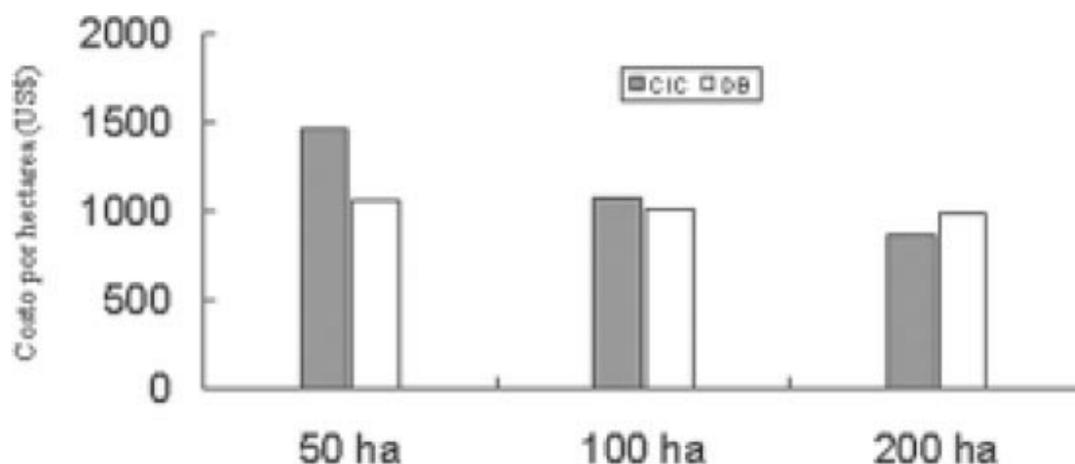
Producción de ganado

Se evaluó la viabilidad económica de plantaciones de 50, 100 y 200 ha de nopal en las llanuras de Mendoza utilizando modelos de simulación (Guevara *et al.*, en prensa). Considerando 200, 300 y 400 mm de precipitación anual y dos sistemas de manejo: corte y acarreo (CA) comparado con el consumo directo (CD). El estudio se basó en varios supuestos relacionados con estrategias de espaciamiento y densidades, disponibilidad de material de plantación, calendario de producción y utilización, contenido nutrientes de cladodios, composición de la ración diaria del ganado, y el costo de oportunidad de pastoreo limitado.

Se utilizaron dos enfoques para asignar valores monetarios al forraje consumido respecto al desperdiciado por el ganado. En el primer caso, los precios fueron calculados usando costos locales de energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) en los concentrados (precio base, PE). En el segundo caso, los autores fijaron como precio base el de la venta de carne obtenido a nivel del productor (precio base, PB). Esta última aproximación también supuso un índice de conversión de 115,4 MJ de EM por kilogramo de ganancia de peso neto. (Le Houérou, 1989). Por lo tanto, los valores monetarios (en US dólares por tonelada de MS) fueron 95,4 (PE) y 66,3 (PB) para el nopal; 102 (PE) y 59,4 (PB) para el rango de producción de forraje.

La información obtenida mediante el establecimiento y monitoreo de plantaciones experimentales de opuntia en las llanuras de Mendoza fue utilizada para estimar los costos de establecimiento (Figura 10). Los valores corresponden a un promedio de los dos precios base. El costo se estimó en 1 490 \$ dólares para una plantación de 50 ha usando PE como precio base, y de 850 dólares para una plantación de 200 ha en el sistema CA. Y desde 1 080 \$US para una plantación de 50 ha, usando EP como precio base, y 970 dólares para una plantación de 200 ha, usando PB como precio base en el sistema CD.

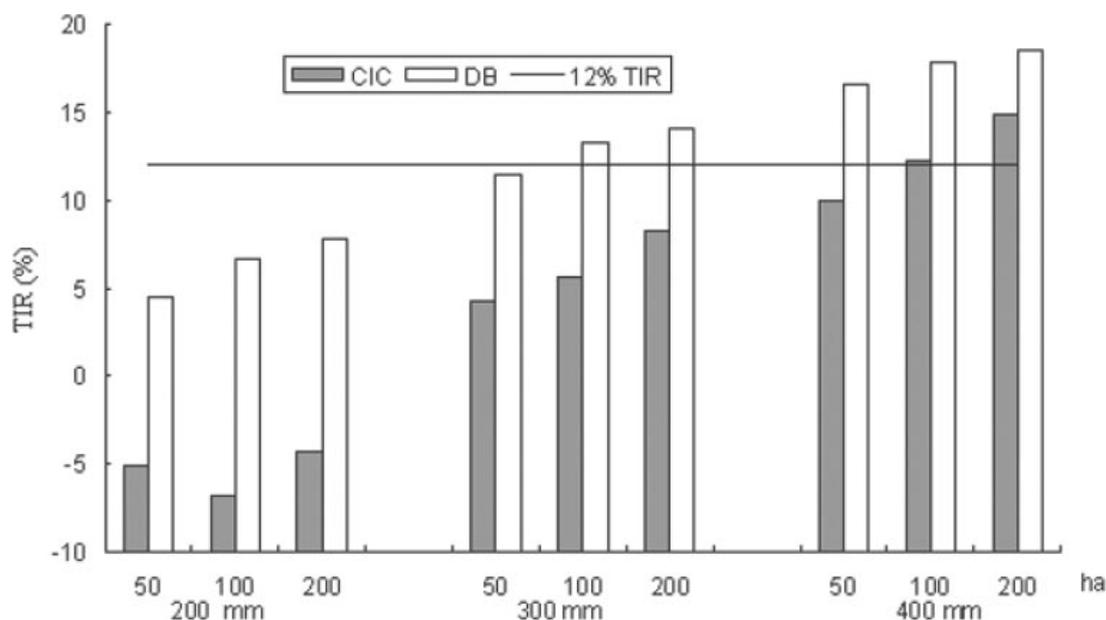
Figura 10. Costo promedio de establecimiento de plantaciones de nopal en las planicies de Mendoza de acuerdo al tamaño de la plantación y el sistema de manejo



Fuente: Guevara et al. (en prensa)

Usando el 12 por ciento como el costo capital de oportunidad y el precio base de carne, la producción de nopal fue estimada como viable en los sistemas de CD con precipitaciones de 300 mm en una plantación de 100 ha, y con 400 mm de precipitación en una plantación de 50 ha en los sistemas CA con 100-200 ha de plantación y precipitación de 400 mm (Figura 11).

Figura 11. Tasa interna de retorno (TIR) de plantaciones de nopal en las planicies de Mendoza de acuerdo al tamaño de plantación, lluvia y sistema de manejo (Fuente: Guevara et al., en prensa)



El análisis económico no tomó en cuenta los beneficios secundarios mencionados por Le Houérou (1994, 1996a), tales como el control de erosión, estabilidad climática, aumento en el nivel de fertilidad del suelo, estabilización de la producción animal y reducción de las necesidades hídricas del ganado. Lo cual se manifestó como una subestimación del impacto económico de las plantaciones de opuntia.

Sin la incorporación de las plantaciones de nopal, las dimensiones requeridas para generar ganancias en la llanura de Mendoza fueron estimadas en 37 500 ha (Guevara *et al.*, 1996). Considerando la producción acumulada durante un período de tres años y el consumo correspondiente de 36 kg de nopal fresco por unidad animal (UA), la plantación de este cacto requeridas para alimentar todo el ganado (1 580 y 2 270 UA en áreas con 300 y 400 mm de precipitación respectivamente), sería el 0,3 por ciento del área total del rancho. Esta plantación de nopal incrementaría la inversión actual del rancho en 7 a 10 por ciento (Guevara *et al.*, 1996).

Cabras para producción de carne

El estudio se enfocó a pequeños ganaderos (con 50 a 200 cabras), localizados en áreas con precipitaciones promedio de 200 mm (Guevara *et al.*, 1999). Sus sistemas de producción de poseían las siguientes características: (i) las cabras son básicamente alimentadas en pastizales (ii) la mayor parte gestan en la temporada seca (otoño-invierno), cuando el forraje disponible es aún insuficiente para los requerimientos nutricionales para la lactación de las cabras; y (iii) hay un alto nivel de mortalidad de cabritos como consecuencia del déficit alimenticio en este período.

Un modelo de simulación examinó los costos y beneficios derivados de la introducción de plantaciones de nopal en estos sistemas de producción de cabras. Se generaron varias probabilidades mediante la variación del tamaño del rebaño (50, 100, 150 o 200 unidades y la probabilidad de lluvia anual (f), de 0,1 a 0,9.

Las suposiciones fueron las mismas descritas anteriormente, aunque, algunos aspectos particulares se añadieron al estudio. Las plantaciones de nopal pueden establecerse en áreas abiertas, cerca de los asentamiento de los ganaderos, en áreas sobre pastoreadas y/o deforestadas. La vegetación herbácea que podía crecer entre las hileras era escasa, por lo que no se consideró el costo de oportunidad de exclusión de pastoreo. Solo se consideró el 10 por ciento de los salarios como costo de oportunidad del ganadero y el sistema de manejo propuesto fue el de CA. Este tipo de manejo se recomienda para áreas en donde no existe experiencia en pastoreo y por lo tanto se registra un alto riesgo de destrucción de la nopalera (Le Houérou, 1989).

El decremento de mortalidad anual fue de 10 a 2 por ciento y se consideró un monto adicional de cabritos por cabra como beneficios directos de la reducción del déficit de forraje en el período de otoño-invierno. Un beneficio externo adicional fue la reducción del consumo de agua por las cabras en términos de valor monetario.

La Figura 12 muestra el costo de establecimiento de plantaciones de nopal para tres probabilidades de precipitación seleccionadas. Los costos variaron entre los 525 \$US/ha (con rebaños de 50 cabras; y con un valor de $f=0,1$), hasta 242 \$US/ha (con rebaños de 200 cabezas y $f=0,9$). El costo del establecimiento podría considerarse alto, por lo que no todos los ganaderos podrían cubrir tales inversiones. El costo de instalar la cerca, la principal parte del costo del establecimiento

está en la mayor parte de las probabilidades analizadas, podría reducirse si se establecieran setos espinosos, que podrían establecerse con sólo el 40 por ciento de costo de una cerca metálica (Le Houérou, 1989). Una cerca con doble fila de nopal espinoso a una distancia de 1 m y 1 m entre plantas deberá plantarse al menos dos años antes de la plantación (Le Houérou, 1989).

El monto anual adicional de cabritos requeridos para alcanzar un índice de retorno interno (IRI) equivalente al costo de oportunidad de capital (12 por ciento) se muestra en la Figura 13. Este se incrementa con la probabilidad anual de lluvia. Se estima un incremento anual adicional de 0,2 cabritos por cabra mediante el suplemento con nopal sin espinas. En rebaños de 50 cabezas, el umbral de 0,2 cabritos se alcanza con $f=0,5$. Y se puede obtener el mismo número de cabritos con calores de f entre 0,7 y f 0,8 con rebaños de 150 y 200.

Si se considera un valor de $f=0,8$ para las posibilidades de lluvia, los cabritos adicionales por cabra requeridos para alcanzar un TIR de 12 por ciento, varía entre 0,21 y 0,29 para rebaños con 200 y 50 cabras, respectivamente. De cualquier manera. Se requieren investigaciones adicionales para establecer, la cantidad real de cabritos que pueden obtenerse con alimentación suplementaria de nopal.

Figura 12. Costos totales de establecimiento y cercado en las planicies de Mendoza, para tres posibilidades de lluvia anual (+) y cuatro tamaños de rebaño (Fuente: Guevara et al., 1999)

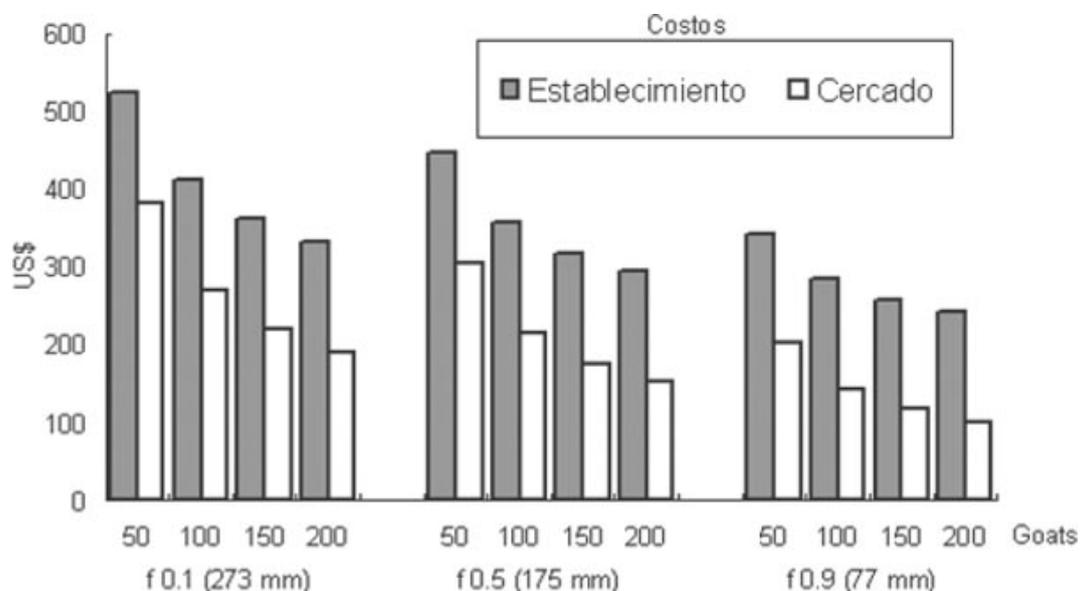
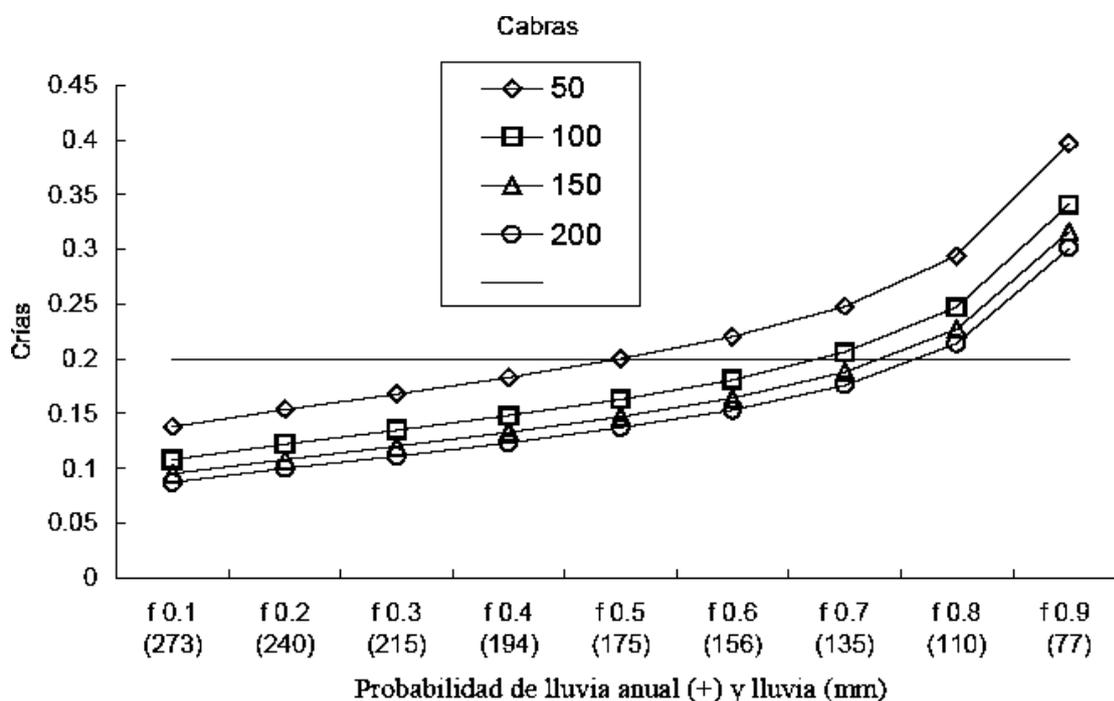


Figura 13. Cantidad adicional de crías por cabra requerido para alcanzar una TIR del 12% en las planicies de Mendoza de acuerdo a la probabilidad anual de lluvia y tamaño del rebaño (Fuente: Guevara et al., 1999)



PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

Las plantaciones de nopal podrían desarrollarse con éxito en la mayor parte de las zonas áridas y semiáridas de Argentina, considerando la utilización de especies o clones tolerantes a heladas. Los experimentos indican que *O. spinulifera* Salm-Dyck y *O. robusta* son las especies más tolerantes a heladas y son las más prometedoras para la producción de forraje.

El costo del establecimiento de plantaciones de nopal parece ser alto y fuera del alcance de la mayor parte de los ganaderos. Pero la investigación y la extensión serán necesarias para hacer plantaciones más atractivas en términos de su valor alimenticio, su papel como "seguro contra sequías", y en particular para reducir el costo del establecimiento. Al mismo tiempo, el gobierno debería considerar incentivos apropiados y herramientas legales que favorezcan la seguridad de la tenencia de la tierra.

El sistema aplicado en Túnez con *Acacia saligna* y en Siria con *Atriplex halimus* (Le Houérou, 1996b) podría ser adoptado en Argentina. Dicho sistema está basado en tierras controladas por el Estado y las plantaciones, usualmente cercadas y excluidas del ganado, están abiertas a los ganaderos temporalmente, sujetos a pagos de cuotas de pastoreo, bajo el control del Servicio Forestal, quien decide sobre el tiempo de pastoreo, el número de animales admitidos y la cuota diaria por animal.

Por otra parte, en Túnez hay incentivos legales para el desarrollo de la producción de forraje. Estos incentivos incluyen la asistencia estatal mediante préstamos, cuando son económicamente justificables, para el establecimiento de plantaciones cultivos forrajeros, en especial si se trata de nopal sin espinas, *Atriplex* y *Acacia*.

^[8] Juan C. GUEVARA y Oscar R. ESTEVEZ Instituto Argentino de investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA) Mendoza Argentina

Opuntia forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región wana

ALI NEFZAOUY Y HICHEM BEN SALEM^[9]

INTRODUCCIÓN

La región de Asia Occidental-Norte de África, (WANA por sus siglas en inglés) comprende grandes áreas con inviernos lluviosos y veranos secos y calientes. La WANA se caracteriza por su alta tasa de crecimiento poblacional, las lluvias escasas y erráticas, escasa tierra arable, desiertos inclementes y recursos hídricos limitados para la irrigación (Nordblom y Shomo, 1995).

Aproximadamente el 50 por ciento de los pastizales áridos pueden haber perdido su vegetación desde la segunda guerra mundial, y la población se ha incrementado cuatro veces desde entonces (Le Houerou, 1991 a). La población de ovejas ha aumentado 75 por ciento y la carga animal subió de 0,25/ha a 1,0/ha entre 1950 y 1989. La degradación del pastizal es simplemente el resultado del incremento de la actividad agrícola y del uso de granos como forraje.

De esta manera, la contribución de los pastizales a los requerimientos anuales del ganado está disminuyendo continuamente, de 80 por ciento hace tres a o cuatro décadas, a menos de 25 por ciento en la actualidad. El sobrepastoreo y deterioro asociado del pastizal son los principales factores que han forzado a los pastores a cambiar sus patrones de migración y de alimentación de ganado.

En algunos países, los animales son fuertemente suplementados con grano de avena y otros alimentos concentrados. La Tabla 30 resume un calendario de alimentación típico de los sistemas agropastorales de las zonas áridas y semiáridas de la Región WANA.

Periodo	Etapa fisiológica	Área	Tipo de alimento	Suplemento
Mayo a Julio	Carga a gestación temprana	Tierra agrícola	Residuo de cereales	Salvado, cebada, nopal
Agosto a Septiembre	Gestación (G)	Tierra agrícola	Residuo de cereales, paja	Salvado, cebada, nopal, arbustos (<i>Atriplex</i>)
Octubre a Enero	Termino de G e inicio de lactancia	Pastizal y tierra agrícola	Heno, pasto natural	Cebada, salvado, residuos de olivo
Febrero a Abril	Destete, engorda	Pastizal y Tierra agrícola	Pastoreo natural, barbecho, cebada, paja	Hojas y ramas de olivo, cebada, salvado

Por lo tanto, la mayoría de los países de WANA están buscando herramientas apropiadas para prevenir la degradación del pastizal y restablecer su productividad. Algunas de las técnicas de mejoramiento del pastizal son, i) reducción de la carga animal, ii) pastoreo controlado o diferido, iii) descanso periódico, iv) ampliar suministros de agua, v) resiembra, y vi) plantación de arbustos.

Adicionalmente, la productividad puede ser mejorada incrementando la disponibilidad de alimento animal derivado de fuentes alternativas, incluyendo, i) leguminosas y otros cultivos forrajeros cultivados en lugar de dejar la tierra en descanso, ii) bancos de forraje de leguminosas nativas fertilizadas con fosfato, iii) tratamiento y suplementación adecuada de rastrojos, iv) otros residuos de cultivo de desechos agroindustriales. Además, de una planeación gubernamental estratégica de alivio de la sequía debe reducir el riesgo de que los productores de ganado menor e incrementar la producción.

La búsqueda de especies vegetales apropiadas para cultivarse en zonas áridas es una preocupación permanente de la mayoría de la gente viviendo en ambientes difíciles. Las cactáceas llenan la mayoría de los requerimientos de un forraje tolerante a sequía. De acuerdo con De Kock, estos deben de:

- ser relativamente tolerantes a sequía, sobrevivir a sequías prolongadas, y producir grandes cantidades de forraje durante la estación de lluvias, la cual puede ser utilizada en la época seca.
- tolerar carga animal alta.
- proveer forraje succulento a los animales durante la sequía.
- no tener efectos adversos en la salud de los animales que los consuman.
- tolerar utilización severa y poseer buena capacidad de recuperación.
- tener un bajo costo inicial de establecimiento y mantenimiento.
- tolerar un amplio rango de condiciones de suelo y clima, de manera que puedan ser plantados donde la producción de forrajes comunes es incierta.

El futuro de las zonas áridas y semiáridas del mundo depende de el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables y de la siembra de cultivos apropiados. Los cultivos para estas áreas deben de tolerar sequía, baja temperatura y baja fertilidad de suelo. Los nopales llenan la mayoría de estos requerimientos y son importantes para la economía de las zonas áridas, tanto para condiciones de subsistencia como para las orientadas a la mercado (Barbera, 1995).

IMPORTANCIA DEL NOPAL EN ZONAS ÁRIDAS

La creciente importancia del nopal en zonas áridas es atribuible a su capacidad de

- Ser más eficiente que los pastos o leguminosas en la conversión de agua a materia seca, basada en su mecanismo fotosintético especializado (MAC) (Russell y Felker, 1987 a Nobel, 1989 a).

- permanecer succulento durante sequía

- producir forraje, fruta y otros productos útiles y

- prevenir la degradación de largo plazo de ambientes ecológicamente susceptibles

Se ha especulado que los cactus y *Opuntia* en particular, fueron introducidos en la región WANA por los moros españoles. Sin embargo, las plantaciones grandes y formales no fueron establecidas sino hasta los 1900. Estas plantaciones fueron implementadas con la idea de contar con bancos vivos de forraje para alimentar a los animales durante las sequías y para combatir la desertificación.

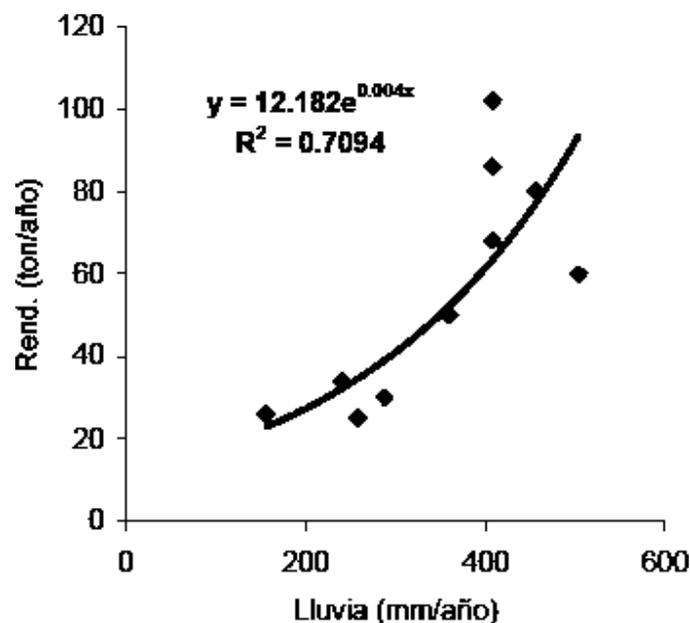
EL NOPAL COMO BANCO DE FORRAJE

Las opuntias usadas como alimento animal son abundantes, fáciles de cultivar, palatables y tolerantes a sequías (Shoop *et al.*, 1977). Tales características los hacen un forraje potencialmente importante para el ganado, particularmente durante periodos secos y de baja disponibilidad de forraje. Una gran porción de la planta de nopal es material vegetativo sin frutos, que puede ser suministrado al ganado como forraje fresco o almacenado o ensilado para uso posterior (Castro *et al.*, 1977). La idea de usar nopal como forraje no es reciente. Griffiths (1905) estaba convencido de que la alimentación con nopal al forraje empezó en los EUA antes de la Guerra Civil, asimismo antes y después de la guerra hubo intenso movimiento de clados entre Brownsville, Indianola, San Antonio y Eagle Pass en Texas. El nopal se ha convertido en un forraje importante en muchas partes del mundo, en base a plantaciones y poblaciones naturalizadas. Es cultivado en África, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Israel, Italia, México, España, EUA, y Perú (Barbera *et al.*, 1992; Clovis de Andrade, 1990; Curtis, 1979; Pimienta, 1990; Russell y Felker, 1987; y Sáenz, 1985).

Se encuentran grandes áreas en Algeria, el nordeste de Brasil, México y Sudáfrica. El nopal es usado todo el año, como forraje de emergencia durante la sequía. En muchas zonas áridas; México, sur de Texas, Sudáfrica y Túnez, etc. Los productores usan el nopal extensivamente cosechándolo de las plantaciones cultivadas y poblaciones silvestres para prevenir las consecuencias desastrosas de las frecuentes sequías severas (Le Houerou, 1992).

Desde inicios del S. XX en África del Norte, se han introducido varias estrategias para reducir la erosión hídrica y eólica y la degradación de los pastizales, usando arbustos (*Acacia cyanophylla*, *Atriplex numularia* y *A. halimus*) y nopal (*O. ficus-indica f. inermis*). Grandes áreas han sido plantadas en Algeria, Marruecos y Túnez desde los cincuentas. Se estima que en áreas de escasa precipitación existen de 700 mil a 1 millón de hectáreas de plantaciones ayudan a combatir la erosión y desertificación y a proveer de forraje para el ganado durante la sequía.

Figura 14. Rendimiento *O. ficus-indica* var. *inermis* y lluvia en Túnez (adaptado de Monjauze y Le Huérou, 1965)



La importancia del nopal se hizo evidente cuando la investigación mostró que las plantas MAC pueden tener alta productividad en zonas secas. Debido a su alta eficiencia en el uso del agua (Nobel, 1989 a), su productividad es mucho mas alta que cualquier otra planta de zonas áridas.

En Túnez, bajo condiciones de temporal y sin aplicación de fertilizantes, el nopal sin espinas puede producir 20 ton/ha/año de cladodios frescos en áreas con precipitación de 150 mm anuales, o 100 ton/ha/año en áreas con lluvia anual de 400 mm (Figura 14).

USO DEL NOPAL CONTRA LA DESERTIFICACIÓN EN AFRICA DEL NORTE

Las tierras marginales son ecosistemas frágiles, y cuando están sujetas al cultivo y a la remoción indiscriminada de la vegetación, La escasez y desaparición de varias especies vegetales indican la magnitud de las pérdidas genéticas y edáficas.

Para revertir la desertificación y restaurar la cubierta vegetal en esas áreas, se usan paquetes integrados de monitoreo del pastizal, ganado y conservación de recursos naturales. Los nopales sin espinas (*O. ficus-indica*) es usado en Algeria y Túnez para aminorar y dirigir el movimiento de las dunas, mejorar la restauración de la cubierta vegetativa y evitar la erosión de las terrazas construidas para reducir la escorrenría.

En el sur y centro de Túnez, las plantaciones de nopal proveen de grandes cantidades de forraje para el ganado y juegan un papel clave en la conservación del suelo. Las terrazas son dañadas fácilmente por la escorrenría, pero las raíces del nopal ayudan a mantenerlas en su lugar, asegurando su estabilidad. Se plantan dos hileras de nopal en el margen interior de las terrazas. La humedad almacenada en la base de la terrazas mejora el crecimiento de la planta.

Adicionalmente, las pencas son cosechadas y usadas como forraje durante los períodos de sequía. Los nopales pueden usarse en combinación con barreras de cemento u hojas de palma cortadas y acomodadas para reducir la erosión eólica y el movimiento de arena, manteniendo el suelo y mejorando la cubierta vegetativa.

USO DEL NOPAL COMO FORRAJE

El nopal no es un alimento balanceado y mas bien debería se considerado como una fuente barata de energía. Los cladodios tienen un bajo contenido de proteína cruda y deben ser suplementados con otras fuentes de proteína. También son bajos en fósforo y sodio.

Composición química

Hoffman y Walker analizaron el contenido de nutrientes de *Opuntia* en 1912. estas investigaciones iniciales indicaban que los nopales con y sin espinas poseen prácticamente la misma composición y son de igual valor nutritivo para el propósito de

alimento animal (Woodward, 1915). Los cladodios tienen alto contenido de agua (90 por ciento), cenizas (20 por ciento en base seca), Ca (ca. 1.4 por ciento en base seca) carbohidratos solubles y vitamina A. Tienen bajos contenidos de proteína cruda (PC) (ca. 4 por ciento MS), fibra cruda (FC ca. 10 por ciento MS) y fósforo (P ca. 0.2 por ciento MS) (Nefzaoui et al., 1995).

Tabla 31. Composición química promedio (% de MS) de *O. engelmannii* y *O. lindheimeri*

Fracción	Contenido	Fracción	Contenido
Agua	85	Ácido fosfórico	0.33
Proteína cruda	1.4-4.4	Potasio	3.04
Extracto libre de N	7.85	Magnesio	1.6
Grasa	1.55	Calcio	2.84-13.85
Fibra cruda	8.65		

Fuente: Hoffman y Walker, (1912).

Tabla 32. Composición química promedio de cladodios *O. ficus-indica* producidos in Túnez.

	MS (%)	Contenido (% de MS)							
		Cenizas	PC	FC	ELN	P	Ca	K	Na
Promedio	13.48	27.41	3.84	8.55	58.16	0.04	8.66	1.09	0.05
Mínimo	8.95	23.11	1.90	7.39	52.60	0.02	7.56	0.43	0.001
Máximo	21.48	33.70	7.51	10.60	63.79	0.07	10.62	1.92	0.17
Desviación estándar	4.50	3.77	1.48	1.03	4.02	0.02	1.09	0.45	0.05

Clave: MS = materia seca; PC = proteína cruda; FC = fibra cruda. ELN = extracto libre de nitrógeno; P = fósforo; Ca = calcio; K = potasio; Na = sodio.

La tabla 32 resume el contenido de nutrientes de los cladodios determinado en Túnez. El contenido de agua es alto (80-95 por ciento) y el contenido de cenizas puede alcanzar 33 por ciento de la MS. El contenido de PC es bajo, frecuentemente menor al 5 por ciento de la MS. El contenido de fibra es también relativamente bajo, su valor promedio es cercano al 9 por ciento de la MS. Estos datos son similares a aquellos reportados para otros países (Tabla 33).

Tabla 33. Composición química promedio de cladodios de nopal

	MS (%)	Contenido químico (% de MS)			
		Caniza	PC	FC	ELN
Promedio	11.01	17.19	4.76	10.91	65.30
Mínimo	4.74	8.18	2.50	7.82	56.70
Máximo	7.00	23.53	7.87	14.50	72.67
Desviación estándar	3.87	4.61	1.90	2.24	5.25

Clave: idem. Tabla 32.
Fuente: De Kock, 1965; Theriez, 1965; Lozano, 1958; Morrison, 1957; and Teles, 1978.

Los contenidos de macroelementos mostraron valores muy bajos de P y Na y altos niveles de Ca. Investigaciones recientes (Ben Salem y Nefzaoui, datos no publicados) muestran que el nopal posee un alto contenido de oxalatos. El oxalato total es cercano a 13 por ciento de la MS, del cual el 40 por ciento se encuentra en forma soluble. Los oxalatos probablemente están ligados al Ca, haciendo este anión menos disponible a los animales. Los altos valores de oxalato pueden también explicar los efectos laxantes del nopal cuando se suministra a los animales.

El porcentaje de fibra cruda es un pobre indicador de el estado de la fibra, y con métodos mejorados tales como el procedimiento fraccionario de Van Soest, es mas apropiado. Es posible que, comparado con la alfalfa, el nopal posea un

alto contenido de lignocelulosa o lignina, las cuales pueden ser responsables por la baja digestibilidad de los forrajes. De acuerdo con estos datos, la digestibilidad de los cladodios de nopal podría esperarse que fuera alta.

Tabla 34. Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulosa, celulosa y contenido de lignina (% de MS) de algunas especies de <i>Opuntia</i> comparadas con alfalfa.					
Especies	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
Alfalfa (referencia)	45.15	29.91	15.24	21.49	7.93
<i>O. engelmannii</i>	31.18	11.29	19.88	7.95	2.89
<i>O. filipendula</i>	33.30	15.31	17.99	10.49	3.97
<i>O. versicolor</i>	39.85	18.98	20.87	13.73	3.86
<i>O. polyacantha</i>	31.16	18.42	12.74	12.69	4.79
<i>O. fragilis</i>	35.08	15.47	19.61	10.97	3.91

Key: idem Tabla 32.
Fuente: Ben Thlija, 1987

El contenido de cenizas de los cladodios es alto, y varía de 10 a 25 por ciento, debido principalmente al alto contenido de calcio. La mayoría de las especies de opuntia poseen niveles de fósforo inferiores a los de mantenimiento (Tablas 31 y 32).

La deficiencia de agua y los altos niveles de compuestos de calcio en las zonas áridas y semiáridas conducen a la acumulación de altas cantidades de solutos de calcio en los cladodios. Este proceso permite a la planta extraer a través de osmosis, la máxima cantidad de agua posible del suelo. En cualquier caso, el contenido de Ca, excede los requerimientos de los animales. El exceso de calcio probablemente no es un problema en sí, pero un desbalance de Ca/P requiere corrección. La mayoría de los autores reportan una relación de Ca/P aproximada de 35.

Shoop et al., (1977) en un trabajo con *O. polyacantha*, indicó que el contenido de fósforo está por debajo de los requerimientos de la dieta del ganado. Los niveles de calcio parecen adecuados, pero la proporción de Ca/P, 36/1, es muy alta para un rendimiento adecuado del ganado. De acuerdo con la misma fuente, los otros minerales (manganeso, cobre, zinc, magnesio, y hierro) tuvieron concentraciones en un rango aceptable para dietas de rumiantes, excepto por el sodio, que fue relativamente bajo (0,02 por ciento).

El contenido de proteína de los cladodios es bajo, pero tiende a incrementarse con la aplicación de fertilizantes. La especie y variedad también afectan este parámetro. Así, Gregory y Felker (1992) encontraron que algunos clones de Brasil presentaron más de 11 por ciento de proteína cruda.

González (1989) encontró que los fertilizantes nitrogenados y fosfóricos incrementaron el contenido de proteína cruda de los cladodios de 4,5 por ciento a 10,5 por ciento de la MS. Estos datos son espectaculares. Sin embargo, en la región WANA, las plantaciones grandes de nopal están ubicadas en áreas secas con suelos pobres, baja precipitación y limitados recursos económicos que no permiten la aplicación de fertilizantes. Por lo tanto, otros métodos de incrementar el contenido de N de los cladodios —a través de selección, hibridación o inoculación— son muy atractivos. La deficiencia de proteína puede también ser resuelta a través de suplementos adecuados y/o la combinación de fuentes de alimentación.

Poca atención se ha dado a la calidad de la proteína de los cladodios. Investigaciones conducidas en el laboratorio de los autores mostraron la composición de aminoácidos de los cladodios es satisfactoria y comparable a la del grano de cebada (Tabla 35).

La calidad nutritiva del nopal depende del tipo de planta (especie y variedad), edad del cladodio, y condiciones agronómicas (tipo de suelo, clima, condiciones de crecimiento, etc.). La variación del contenido de nutrientes es similar en cladodios de uno y dos años. La tendencia general es que el contenido de MS es alto durante los meses de verano, cuando la proteína cruda se encuentra en su valor más bajo.

La tendencia del contenido de cenizas es menos clara, pero parece ser más alta en la primavera. La fibra cruda es menos variable y es más alta durante el invierno.

Table 35. Composición de aminoácidos de cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>inermis</i> (g N/16 g N).				
Aminoácido	Opuntia PC (4.24 % de MS)	Opuntia PC (7.51 % de MS)	Opuntia PC (4.24 % de MS)	Cebada grano CP

		(Sitio: Ousseltia)	(Sitio: Bourebia)	(11% de MS)
Acido aspártico	9.29	11.66	10.98	5.70
Treonina	3.83	4.96	4.22	3.40
Serina	4.19	4.25	4.37	4.20
Acido glutámico	12.88	12.72	13.25	24.80
Prolina	6.38	5.73	7.25	12.80
Glicina	4.66	4.69	4.86	3.80
Alanina	8.19	6.33	8.38	3.80
Cisteina	0.94	0.31	0.94	2.40
Valina	7.14	6.52	7.14	4.80
Methionina	1.82	2.33	1.99	1.40
Isoleucina	4.94	5.20	5.25	3.50
Leucina	7.99	8.58	8.43	6.90
Tyrosina	4.01	4.14	4.01	3.13
Phenylalanina	4.76	5.66	4.81	5.40
Lisian	4.86	6.32	6.56	3.60
Histidina	1.89	2.42	2.40	1.10
Arginina	5.60	5.31	5.60	4.90
Key: idem. Tabla 32.				

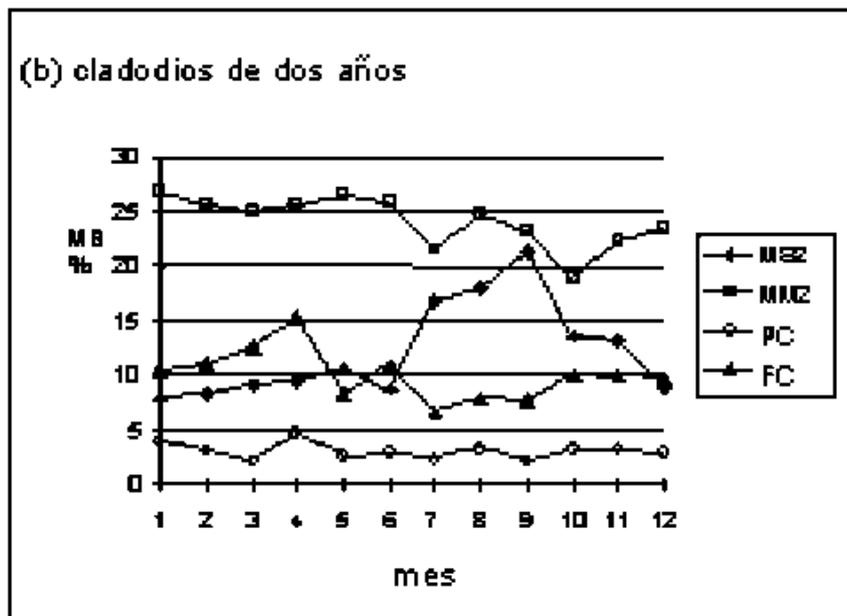
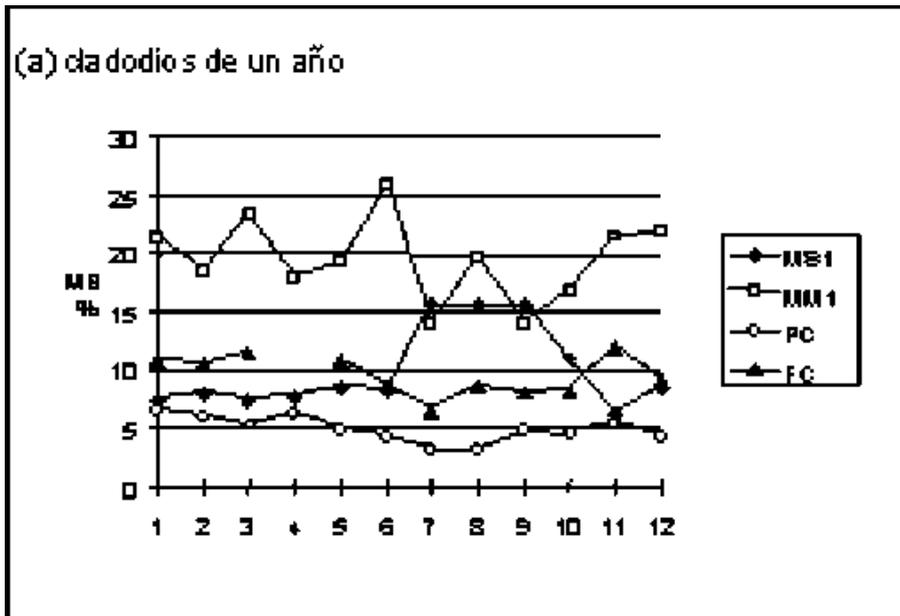
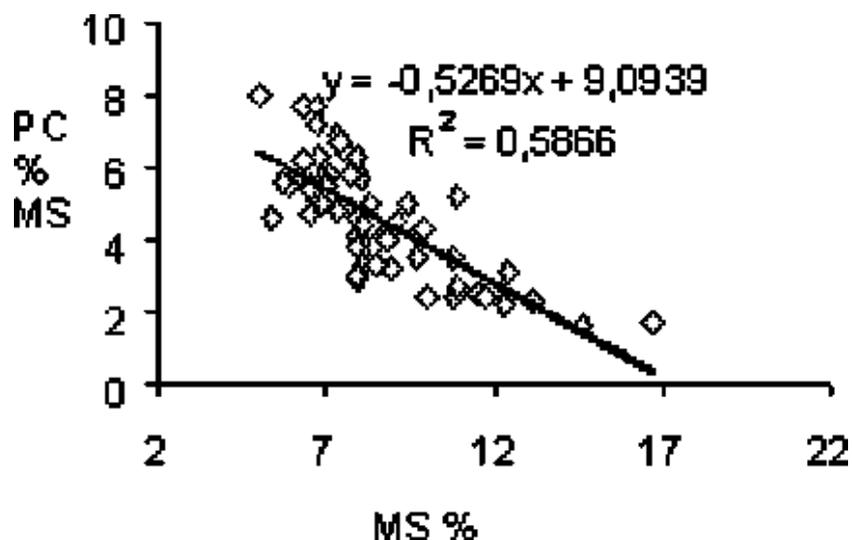


Figura 15. Variación de la composición química de cladodios de nopal (*O. ficus-indica*) en el primero (a) y segundo años (b). Clave: MS= materia seca; MM= cenizas; (PC) proteína cruda y (CB) fibra cruda.

Figura 16. Cambios en contenido de proteína cruda asociados con MS (Nefzaoui, no publicado)



El efecto de la edad del cladodio en el contenido de nutrientes es bastante interesante. Es obvio que la MS aumenta con la edad de los cladodios. Analizando los datos relacionados con este aspecto, los autores encontraron que el contenido de proteína cruda disminuye (5 a 3 por ciento de la MS) y la fibra cruda incremento (9 a 20 por ciento de la MS) cuando la edad de los cladodios aumento de 1 a 5 años. La tendencia es similar para otros forrajes, donde los nutrientes valiosos disminuyen con la edad, como resultado del incremento del contenido de fibra. Así, el nopal se comporta como cualquier otro forraje convencional donde el contenido de proteína cruda disminuye y la fibra aumenta con la edad (Figura 17).

Los cladodios de opuntia son altamente digestibles. Los valores *in vitro* obtenidos con ovinos variaron de 60 a 65 por ciento, 60 a 70 por ciento, 35 a 70 por ciento, para MS, MO y PC y FC, respectivamente. Un ejemplo de los datos de digestibilidad obtenidos se presenta en la Tabla 36. Estos coeficientes son similares a los obtenidos con forrajes comunes. Dado que el nopal no debe ser usado solo para alimentar animales, la digestibilidad se calcula por diferencia, asumiendo que no hay interacción entre los componentes.

La principal diferencia entre el nopal y otras fuentes de forraje es la degradabilidad de los nutrientes en el rumen. Mientras que la degradabilidad potencial de los demás forrajes en el rumen frecuentemente alcanza 48 horas, los nutrientes del nopal se degradan entre 6 y 12 horas, de modo que puede asumirse que no existe extracción significativa de nutrientes después de 24 horas (Ben Thlija, 1987).

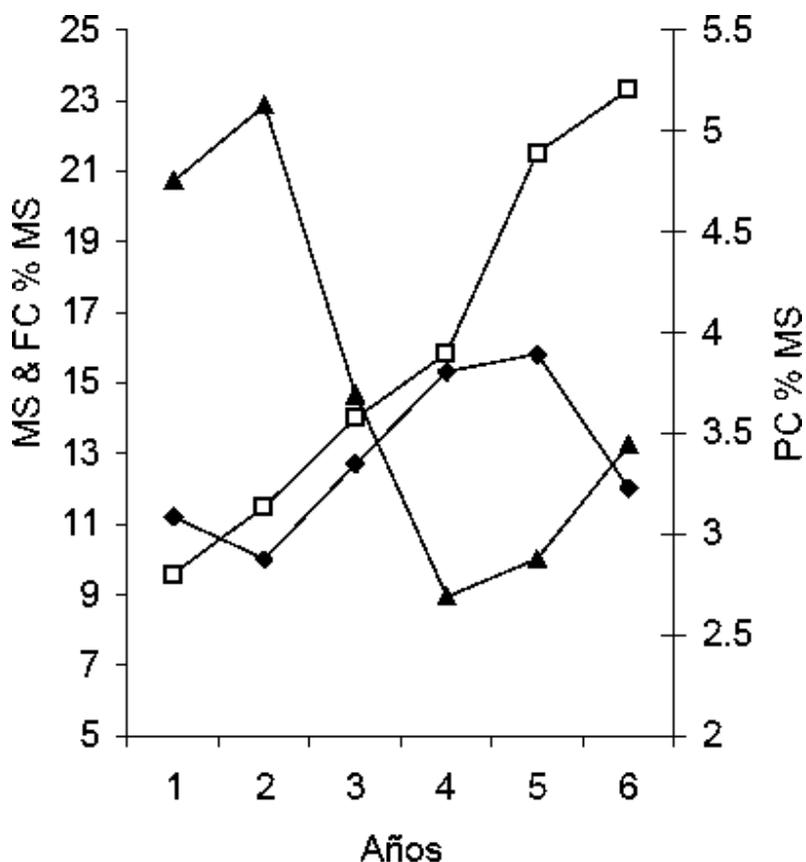
De acuerdo a Shoop et al., (1977), el 80 por ciento de la digestión total de *O. polyacantha* en las Grandes planicies ocurrió durante las primeras 16 horas de un período de incubación de 48 horas, mientras que la digestión total de pellets y heno de alfalfa únicamente ocurrió el 73 y 71 por ciento en un período inicial de 16 horas. La digestibilidad de estos forrajes se compara en la Tabla 37.

Una tasa rápida de digestión significa un paso mas rápido de el material a través del tracto digestivo.

Esto también significa que la materia seca del nopal permanece en el tracto gastrointestinal únicamente por un período corto, dejando mas volumen disponible para consumo adicional. En otras palabras, la capacidad de saciar del nopal es bajo, explicando porque si se incrementa el volumen de nopal en la dieta no se reduce el consumo de otros componentes de la ración. Estos hallazgos son similares a los obtenidos por Ben Salem et al., (1996) en Túnez. Estos resultados son muy importantes para las zonas áridas donde el ganado es asociada con edad del cladodio (Nefzaoui, datos no publicados).

MS & FC % MS alimentado principalmente con paja y residuos de cereales, ambos son forrajes toscos de calidad pobre y poseen consumos bajos, lo que conduce a un bajo rendimiento de los animales.

Figura 17. Contenido de MS, fibra cruda (FC) y proteína cruda (PC) asociada con edad del cladodio (Nefzaoui, datos no publicados).



Un reporte del USDA indica que en ensayos de alimentación usando toretes mostró que los cladodios de nopal son mucho mas digeribles que el heno de pasto (*Agropyron cristatum* y *Bromus spp.*) un estudio conducido por Rossouw (1961) comparando el rendimiento y la porción digerible de nopal se resume en la Tabla 38.

Tabla 36. Efecto de la inclusión de nopal (<i>O. ficus-indica</i> var. <i>inermis</i>) en dietas basadas en paja en el consumo total, digestibilidad de dieta y consumo agua de ovejas.					
	Dosis de nopal (g MS/día) en la ración				
	0	150	300	450	600
Consumo de MS (g/día)					
Paja	550 ^c	574 ^{bc}	523 ^c	643 ^{ab}	716 ^a
Nopal + paja	550 ^e	724 ^d	823 ^c	1093 ^b	1278 ^a
Dosis de nopal (g/kg M^{0.75}día)					
Paja	43.6 ^b	42.2 ^{bc}	37.7 ^c	44.8 ^b	54.7 ^a
Nopal + paja	43.6 ^e	53.3 ^d	59.6 ^c	76.3 ^b	97.6 ^a
Digestibilidad total de la dieta					
Materia orgánica (OM)	0.453 ^b	0.504 ^{ab}	0.543 ^a	0.577 ^a	0.587 ^a
Proteína cruda (PC)	0.495 ^c	0.550 ^{bc}	0.537 ^{bc}	0.585 ^{ab}	0.643 ^a
Fibra cruda (FC)	0.525	0.508	0.534	0.523	0.468
Fibra detergente neutro (FDN)	0.504	0.495	0.483	0.523	0.506

Fibra detergente ácido (FDA)	0.524	0.473	0.473	0.522	0.484
MO Digestible y consumo CP (% requerimiento mantenimiento)					
MOD	93	123	158	193	212
DPC	52	52	64	93	111
Consumo diario de agua	2.42 ^a	1.49 ^b	1.49 ^b	0.11 ^c	0 ^c
Nota: Medias con la misma literal no difieren significativamente 5% level.					
Fuente: Ben Salem <i>et al.</i> , 1996					

Tabla 37. Digestibilidad de MS (%) <i>in vivo</i> (DMSIV) e <i>in vitro</i> (DMSIVt) de nopal , pellets de heno de pasto y alfalfa.			
Alimento	NBDMD		IVDMD
	Incubación por 16-horas	Incubación por 48 horas	Incubación por horas 96-horas Incubación por 48 horas
Nopal	52.9 a	66.4 a	63.8 a
Pellets de heno de pasto	39.3 c	54.1 c	53.0 b
Heno de alfalfa	44.5 b	62.9 b	63.7 a
Nota: Medias en la misma columna con literales diferentes significativamente al 5%.			
Fuente: Shoop <i>et al.</i> , 1977			

Tabla 38. Rendimiento total y cantidad (como alimento) de nutrientes digestibles de algunos forrajes			
Cultivo	Rendimiento (t/ha)	Nutrientes digestibles (t/ha)	Nutrientes digestibles (%)
Nopal	80	5.0	6.25
Maiz (silo)	25	4.2	16.80
Mangelwurz	25	3.7	14.80
Heno de alfalfa	5	2.5	50.00
Fuente: Roussow, 1961			

EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN CON NOPAL EN LA FERMENTACIÓN DEL RUMEN

El efecto del suministro de nopal sin espinas en la digestión de paja de trigo fue estudiado en borregos canulados. Los animales recibieron paja de trigo ad libitum, con diferentes niveles de nopal (0, 150, 300, 450 o 600 g MS/día). Cuando el nivel de nopal aumento, el consumo de forraje fibroso, la concentración de ácidos grasos volátiles, el conteo de protozoarios en el rumen y la concentración de amoníaco se incrementaron, mientras que la actividad celulolítica del rumen y la proporción ácido acético/ácido propiónico se redujo (Ben Salem *et al.*, 1996).

pH del rumen

El pH del rumen permaneció en el rango de 6,8 a 7,13, aun cuando los animales recibieron el nivel mas alto de nopal (Tabla 39), de manera que el pH del fluido del rumen no fue afectado por la presencia de nopal sin espinas en la dieta. Aun cuando el nopal es rico en carbohidratos altamente fermentables, no se observaron diferencias. El consumo de grandes cantidades de nopal probablemente mejoro la salivación como resultado del alto nivel de sales minerales y de la abundancia de mucílago en el nopal, lo cual puede explicar la discrepancia. Sería valioso cuantificar el efecto del mucílago en la producción de saliva.

Concentración de amoníaco

Los animales alimentados con nopal sin espinas mostraron un incremento en la concentración de nitrógeno amoniacal (NH₃-N) en el rumen. El NH₃-N del rumen aumentó (P 0,001) de 4.7 mg/100 ml en la dieta del testigo a 11,3 , 12 y 10,8 mg/ml en las dietas que incluyeron 300, 450 y 600 g de MS de nopal, respectivamente (Tabla 39 y Figura 18).

Las concentraciones de amoníaco ruminal fueron relativamente altas en animales suplementados con nopal sin espinas. Aun cuando las ovejas fueron alimentadas con paja sola, las concentraciones de NH₃-N en el fluido del rumen fueron bastante similares a las reportadas por Satter y Slyter (1974), como nivel óptimo para el crecimiento microbiano y digestión de fibra en el rumen.

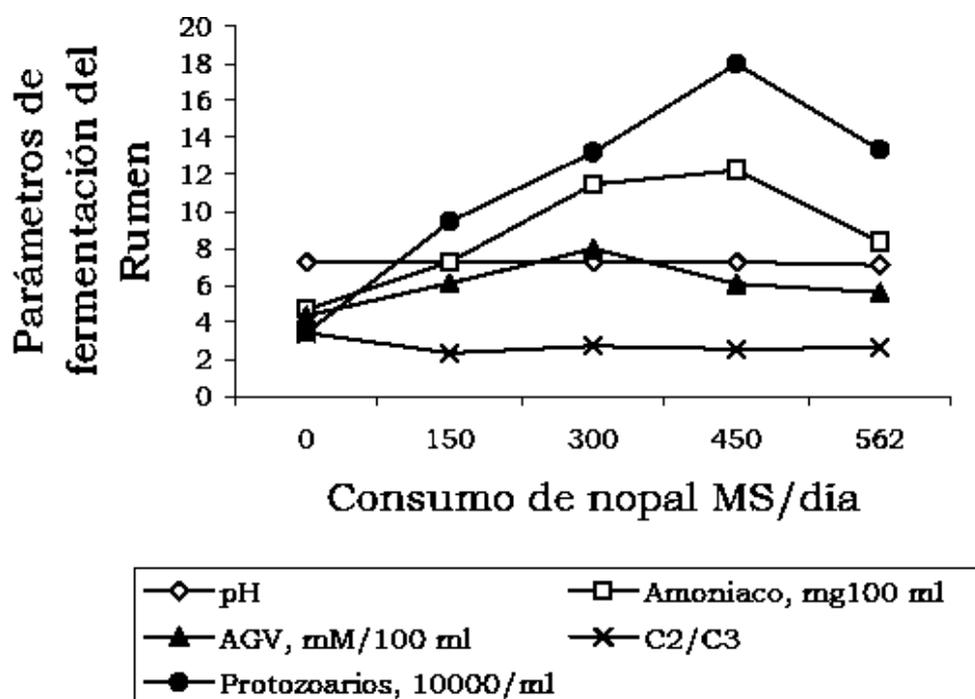
	Dosis de nopal (g MS/día) en la ración				
	0	150	300	450	600
pH	7.16 ^{ab}	7.03 ^{bc}	7.19 ^a	7.13 ^{ab}	6.96 ^c
NH ₃ -N (mg/100 ml)	4.7 ^b	7.1 ^b	11.3 ^a	12.0 ^a	10.8 ^a
Total AGV (mmol/l)	43.4 ^c	60.4 ^b	77.6 ^a	60.2 ^b	55.1 ^b
Acetato	63.7 ^a	57.8 ^b	61.2 ^{ab}	59.2 ^{ab}	61.4 ^{ab}
Propionato	21.0 ^b	25.4 ^a	24.2 ^a	25.7 ^a	23.6 ^{ab}
Butirato	6.7 ^b	6.8 ^b	8.3 ^a	7.9 ^a	7.9 ^a
Acetato/Propionato	3.29 ^a	2.34 ^b	2.72 ^b	2.55 ^b	2.57 ^b
Protozoarios (x104/ml)	3.5 ^d	9.3 ^c	13.0 ^b	17.7 ^a	13.1 ^b

Nota: Medias en la misma línea con diferente literal son diferentes (P<0.05).
Fuente: Ben Salem *et al.*, 1996

Ácidos grasos volátiles

El suministro de nopal aumentó significativamente (P<0,001) las concentraciones totales de ácidos grasos volátiles (AGV). Las concentraciones de AGV mas altas fueron obtenidas con 300 g de MS de nopal en la dieta. Las proporciones de propionato y butirato aumentaron significativamente en animales que recibieron nopal sin espinas. El suministro de nopal resulto en una reducción ligera de la proporción de acetato en el fluido del rumen y un incremento en las concentraciones de propionato y butirato. El nopal parece tener el mismo efecto de los carbohidratos solubles en la digestión de los rumiantes.

Figura 18. El consumo de nopal aumenta el amoniaco, los AGV y el conteo de protozoarios en el rumen (Fuente: Ben Salem *et al.*, 1996).



Conteo de protozoarios

El efecto positivo del suministro de nopal en las concentraciones $\text{NH}_3\text{-N}$ estuvo aparejado con un incremento en el conteo total de protozoarios en el fluido del rumen ($P < 0,001$). el conteo promedio de protozoarios cambio de $3,5 \times 10^4/\text{ml}$ a 13, 17,7 y $13,1 \times 10^4/\text{ml}$ con dietas suplementadas con 0, 300, 450 y 600 g de MS respectivamente, de nopal sin espinas. (Tabla 39 y Figura 18).

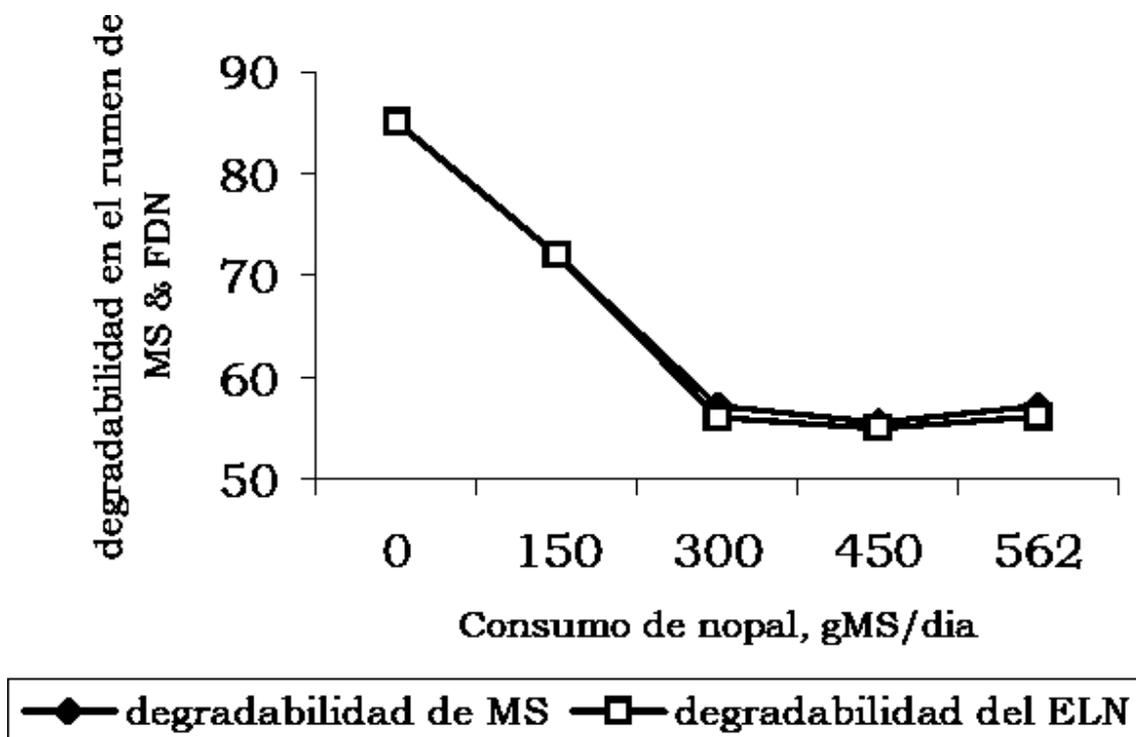
El alto conteo de protozoarios observado en animales suplementados con nopal fue asociado a altas concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el rumen. Se asume que los protozoarios contribuyen a la digestión de la proteína de la dieta y a la producción de amoniaco (Ushida y Jouany, 1985).

Actividad celulolítica

El aumento en el nivel de nopal de la dieta incremento el consumo de MS de forrajes fibrosos pero redujo la digestibilidad de la fibra, probablemente debido al efecto deprimente de las altas cantidades de carbohidratos solubles de los cladodios de nopal sobre las bacterias celulolíticas del rumen.

La degradabilidad efectiva de la MS y el NDF fueron reducidos significativamente por el suministro de nopal ($P < 0,001$) indicando dificultades de la actividad celulolítica del rumen. Sin embargo, la tasa de degradación (c) no fue afectada por el suministro de nopal ($P > 0,05$) (Figura 19).

Figura 19. Efecto del consumo de nopasobre a actca derumen.Fuente: Ben Salem et al., 1996)



La actividad celulolítica medida por la técnica in sacco mostró claramente una reducción de la degradación de la fibra (Figura 19). Tal tendencia es consistente con los resultados reportados por Chapper y Fontenot (1968). Actualmente esta bien documentado que los protozoarios ciliados tienen un efecto negativo en el número de bacterias del rumen y por consiguiente en la actividad celulolítica (Demeyer y Van Nevel, 1979). Adicionalmente, el alto nivel de minerales del nopal puede ser un factor limitante para el crecimiento microbiano en el rumen, como lo sugirió Komisarczuk-Bony y Durand (1991).

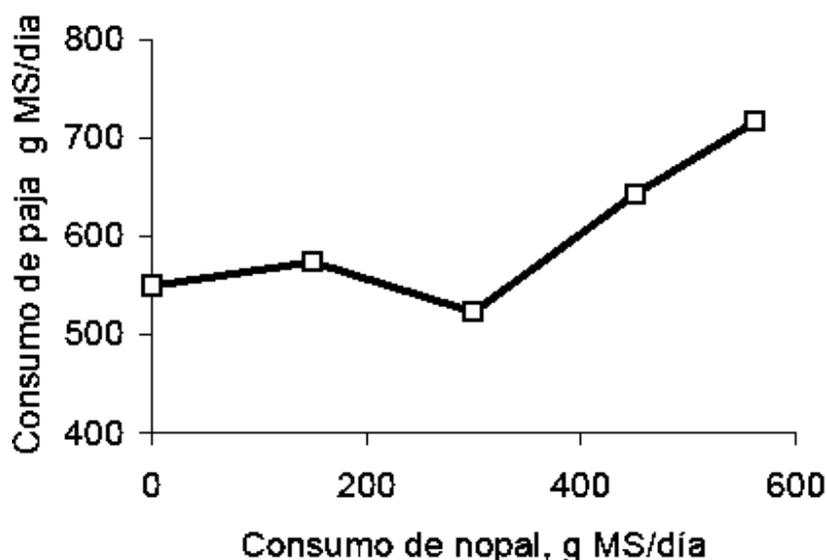
Se puede concluir que la combinación de nopal sin espinas (*O. ficus-indica* var. *inermis*) con paja de cereales es una solución nutricionalmente satisfactoria para mantener rumiantes pequeños en zonas áridas. El nopal provee un forraje rico en energía y es una fuente de agua en condiciones secas. Los animales que reciben nopal reducen el consumo de agua substancialmente y pueden inclusive dejar de beber agua. Adicionalmente, este ensayo indica que el nopal mejora el valor nutritivo y el consumo de forrajes toscos de pobre calidad. El nopal puede ser ofrecido a ovinos sin ningún riesgo de perturbaciones digestivas, asegurándose que se mezcle con otros forrajes fibrosos. Finalmente, se puede esperar que el suministro de una fuente de N proteico conjuntamente con el nopal podría resultar en una mejora adicional del valor nutritivo de dietas basadas en pajas. Pero es necesario trabajo adicional para probar esta hipótesis.

Consumo

Generalmente, los cactus son altamente palatables, y vacas Jersey alimentadas con nopal y suplementadas con 1 kg de concentrado por día, consumieron 50,6 kg de nopal fresco. Metral (1965), obtuvo resultados similares, con vacas consumiendo voluntariamente 60 kg cuando se alimentaron únicamente de nopal. Viana (1965) obtuvo valores mayores, con un consumo voluntario promedio de 77,3 kg y un máximo de 117 kg/día.

Valdes y Flores (1967), observaron mayores consumos en borregos alimentados con *O. ficus-indica* (11 kg/ día) que con *O. robusta* (6,5 kg día). Monjauze y Le Houerou 1965, reportaron valores de consumo que variaron de 2,5 a 9 kg día. También se ha reportado que se observan mayores consumos cuando el contenido de agua de los cladodios es mayor. Resultados similares fueron obtenidos por los autores (Nefzaoui y Ben Salem, datos no publicados). La capacidad de llenado es baja e inusualmente al suministrar nopal, se mejora el consumo de alimentos fibrosos como la paja Figura 20 y Tabla 36. estos resultados son muy interesantes porque la paja es el principal forraje de las zonas áridas de la región WANA. Esta bien establecido que además de su bajo valor alimenticio, el consumo de la paja es bajo. La combinación de paja con nopal aumenta el consumo y consecuentemente el rendimiento animal (Figura 20).

Figura 20. Relacion entre consumo de nopal y consumo de fibra (Fuente: Ben Salem *et al.*, 1996).



Ovinos alimentados con paja fueron capaces de consumir hasta 560 g de MS de nopal. Este nivel representa casi la mitad de el total de la dieta. Los efectos benéficos del nopal podrían ser explicados por el mejoramiento en las condiciones de fermentación del rumen. El nopal sin espinas aumento casi 2,5 veces el suministro de materia orgánica fácilmente fermentable Tabla 36. Los animales que recibieron dietas que contenían hasta 500 g de nopal no mostraron ninguna perturbación digestiva, apoyando hallazgos anteriores (Cordier, 1947). La respuesta al nopal sin espinas con respecto al consumo de paja es acorde con aquellas generalmente observadas con dietas ricas en carbohidratos solubles. Reportes previos (Preston y Leng, 1987; Rangnekar, 1988), indicaron que la suplementación con forrajes toscos de baja calidad con melaza mejoraron su palatabilidad. De manera que el nopal sin espinas pudo tener un efecto similar. La ausencia de un efecto negativo del suministro de nopal en el consumo de paja presumiblemente esta basado en la alta digestibilidad del nopal sin espinas en el rumen y la rápida tasa de transito de este alimento en el rumen debido a su alto contenido de agua.

LA ALIMENTACIÓN CON NOPAL AYUDA A RESOLVER PROBLEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA PARA LOS ANIMALES EN ZONAS ÁRIDAS

El agua es escasa en las zonas áridas de la región WANA y darles de beber a los animales representa un problema serio durante el verano y los períodos de sequía. Los animales gastan mucha energía para llegar a los abrevaderos y la degradación del pastizal es un riesgo serio en el área que rodea a los abrevaderos. Por lo tanto, el alto contenido de agua del nopal podría ayudar a mitigar el problema de abrevar los animales en las zonas áridas. La investigación muestra claramente que el consumo de agua por las ovejas es nulo cuando el consumo de nopal es cercano a los 300 g de materia seca (Figura 20). El volumen de agua consumido por los animales disminuyo de 2,4 litros de la dieta testigo, a 0,1 litros cuando el nivel de consumo del nopal sin espinas excedió los 300 g de MS (Terblanche *et al.*, 1971) reportó hallazgos similares.

El suministro de nopal puede ayudar a resolver los problemas de proveer de agua a los animales. Ovejas que se alimentaron por un largo período (400-500 días consecutivos) con grandes cantidades de nopal, dejaron de beber agua (Rossouw, 1961; Harvard-Duclós, 1969). Woodward *et al.*, (1915) en un estudio con vacas Jersey reporto resultados similares. Sin embargo, Cottier (1934) sugirió que no es posible suprimir el agua en bovinos alimentados con nopal.

Contenido de energía

El contenido bruto de energía de la mayoría de los nopales varia de 3 500 a 4 000 Kcal/kg de MS. La energía digestible es aproximadamente 2 000 Kcal, la cual es comparable a los pastos de mediana calidad (Ben Thlija, 1987). Por lo que el nivel de energía hace al nopal un componente valioso para incluirse en las dietas del ganado. Esta energía proviene principalmente de las altas concentraciones de carbohidratos de los cladodios.

De acuerdo con De Kock (1985), el valor alimenticio de los nopales sin espinas es equivalente al 65 por ciento del NDT, mientras que las mediciones de los autores (Nefzaoui, datos no publicados) son cercanos al 0,7 Unidades Forrajeras de Leche (UFL).

ALGUNAS CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

El método de utilización del nopal variará de granja a granja de acuerdo a circunstancias tales como; mano de obra disponible, instalaciones, volumen de nopal disponible, etc. Frecuentemente es recomendado que se use opuntia como:

- Pastoreo de cladodios *in situ*. Aunque es el método mas simple, no es el mas eficiente, y se debe de tener cuidado de que los animales no sobreutilicen y destruyan las plantas.
- Cortar los cladodios en trozos pequeños y suministrarlos en los corrales para evitar el desperdicio.
- Ensilado. Los cladodios son cortados en trozos pequeños y mezclados con heno o alfalfa de baja calidad. Si no hay frutos es necesario agregar melaza. El silo debe ser sellado adecuadamente.
- Suplementación en caso de emergencia. El nopal suministrado en cualquier forma, mantendrá los animales vivos por períodos largos. De Kock (1980), enfatizo que es preferible suplementar el nopal con un alfalfa rica en proteína o heno (200 g en invierno y 100 en verano) con acceso ad libitum al nopal. Una roca de lamer hecha con partes iguales de harina de huesos, sal y cal forrajera es recomendada por De Kock (1980), para proveer de fosfato y sodio.

ALMACENAMIENTO

Dado que el nopal es siempre-verde, es mejor almacenarlo in situ para evitar procesos caros como el ensilado o deshidratado, aun cuando son técnicamente factibles. Las pencas de nopal sin espinas picadas pueden ser deshidratadas en una superficie adecuada y luego molidas en un molino de martillos hasta un tamaño de partícula de 6 mm. En la forma de harina, el nopal no solamente es mejor ingerido, sino que además es mas fácil de almacenar. Un suministro de harina de nopal puede ser almacenado para usarse durante la época de sequía.

Un forraje de buena calidad puede elaborarse de nopal molido junto con paja de avena, alfalfa de baja calidad o cualquier otro forraje tosco, usando una proporción de 84 partes de nopal por 16 partes de forraje.

PASTOREO VERSUS CORTE Y ACARREO

La forma mas fácil de utilizar el nopal es el pastoreo, porque requiere muy poca mano de obra, es también el método mas barato. Sin embargo, se debe de evitar el sobre pastoreo, particularmente de plantas jóvenes, las cuales pueden ser destruidas por las ovejas. Aun las plantas viejas pueden ser severamente dañadas por el sobre pastoreo, reduciendo también la producción subsiguiente. El mejor método de pastoreo es el de dividir la plantación en lotes pequeños y pastorearlos intensivamente por un período corto. Grandes perdidas ocurren durante el pastoreo debido al desperdicio.

El pastoreo directo requiere de control estricto, de otra manera el desperdicio puede alcanzar el 50 por ciento del forraje producido (cladodios consumidos parcialmente y después abandonados) y la plantación puede ser destruida por sobre pastoreo en unos pocos meses de uso excesivo (Monjauze y Le Houerou, 1965; De Kock, 1980). La ventaja de este tipo de manejo es su bajo costo y el hecho de que la capa de pastos debajo de los arbustos puede estar disponible al ganado. Estas dos ventajas resultan en un sistema económicamente mas eficiente. Es mejor utilizar el nopal en rotación de manera que una plantación es usada cada tres a cinco años. De este modo la plantación puede ser cosechada o pastoreada cada vez a la altura de una penca mas arriba que la plantación original. Cuando el nopal se utiliza de esta manera, las plantas se recuperan adecuadamente, el material disponible es de buena calidad y las plantas son mantenidas dentro de una altura aceptable.

Cero pastoreo y corte-acarreo es la técnica mas eficiente. La pérdida de forraje es casi nula y el riesgo de sobre utilización es reducido considerablemente. Sin embargo, puede ocurrir sobre-explotación especialmente en el caso de cosechas tempranas de plantaciones jóvenes, lo cual es perjudicial para la producción futura. Pero, la técnica de cero pastoreo es costosa, aunque el método es interesante para laganadería. En la mayoría de los casos en África del Norte, el manejo de cero pastoreo podría ser recomendado debido a la falta de disciplina en el pastoreo y el alto riesgo de destrucción asociado.

ESPINAS

Los cladodios de nopal son un forraje valioso si las espinas son removidas, usualmente por medio de un quemador de propano (Shoop et al., 1977). Otras prácticas fueron discutidas por Griffiths, (1905). La cocción parcial para suavizar las espinas y el picado de las pencas mas grandes, fueron y son, practicas muy eficientes de facilitar el uso y maximizar la cantidad de nopal consumido por el ganado. De acuerdo con el mismo autor, existen maquinas y herramientas construidas para estos propósitos.

Mientras que en algunos países (México y EUA) la planta en pie y completa puede ser chamuscada antes del pastoreo, en África del Norte las pencas individuales son chamuscadas y picadas con herramientas manuales o máquinas picadoras apropiadas.

EFFECTOS LAXANTES –FÁCILES DE SOLUCIONAR

Un problema experimentado con el nopal cuando se usa en la alimentación de ovejas en cualquier forma es la acción laxativa. El efecto laxativo no es un síntoma de alguna enfermedad, sucede debido al rápido paso del alimento por el sistema digestivo del animal, y como resultado la digestión es pobre. Al parecer el heno como suplemento en cierta medida retarda el tránsito rápido.

El efecto laxante aparece cuando el volumen de nopal en la dieta es demasiado alto (más del 50 o 60 por ciento del consumo de MS). Este problema es fácil de resolver, el suministro de porciones pequeñas de paja o heno antes de distribuir el nopal es suficiente para conseguir un tránsito normal.

INTEGRACIÓN DEL NOPAL CON OTROS FORRAJES DE LAS ZONAS ÁRIDAS

Tal como se menciona en la introducción, los pastizales y la productividad en los países de la región WANA están disminuyendo dramáticamente y actualmente proveen solo una pequeña parte de las necesidades del ganado.

Adicionalmente, la estacionalidad de la producción del pastizal debido a las condiciones climáticas resulta en dos épocas de escasez: invernal, de dos a cuatro meses, y otra más prolongada en verano (5-6 meses). Estos períodos son difíciles de manejar por los ganaderos, y requieren de importar grandes volúmenes de alimentos concentrados para completar los requerimientos del ganado. Dado que es casi imposible por razones sociales reducir el número de animales, la mayoría de las estrategias nacionales se enfocan en el incremento de la productividad del pastizal, mediante el uso de diversas técnicas, incluyendo resiembra, aplicación de fertilizantes, descanso, y establecimiento de arbustos. Esta última opción si bien no es la más barata, es la más atractiva. La mayoría de estas plantaciones está basada en la introducción de especies altamente productivas como *Acacia cyanophylla*, *Atriplex nummularia* (o *A. halimus*) y nopal sin espinas. De acuerdo con la tenencia de la tierra presente, se usan varias técnicas para plantar arbustos y nopal:

- En tierras comunales, las especies introducidas son plantadas en hileras sin remover la vegetación natural herbácea o leñosa.
- En tierras privadas, la técnica de cultivo intercalado es preferida, donde los agricultores pueden cultivar entre las hileras cuando las condiciones de lluvia lo permiten.
- En ambas categorías de tierra, las prácticas de conservación de suelo y agua son aplicadas. En este caso, los arbustos y el nopal son plantados sobre las curvas de nivel para consolidar las terrazas o "tabias".
- Otro enfoque relacionado con el nopal, el más viejo, es la plantación tipo "bosque" el cual es la plantación densa alrededor de la vivienda, usado para producir fruta y forraje para suplementar los animales domésticos.

Debido a estas acciones, los arbustos (*Acacia* y *Atriplex*) y el nopal se transformaron en parte integral de los sistemas ganaderos en África del Norte. Es también evidente que es necesaria una mejor integración de estos recursos con los convencionales. En la siguiente sección, se discuten ejemplos selectos de integración de recursos.

Ejemplo 1. Forrajes de baja calidad suplementados con nopal

Los forrajes de baja calidad pueden ser suplementados con nopal, de hecho el consumo de paja se incrementa con el aumento en la cantidad de nopal en la dieta (Nefzaoui et al., 1993; Ben Salem et al., 1996). El nopal es también un buen suplemento para la paja tratada con amoníaco o urea, dado que provee los carbohidratos solubles necesarios para hacer uso eficiente del nitrógeno no-proteico en el rumen (Nefzaoui et al., 1993).

Para estudiar el efecto del uso de grandes cantidades de nopal (*O. ficus-indica* var. *inermis*) y cuantificar la cantidad de NNP de pajas tratadas con amoníaco o urea, se sometió a seis grupos de ovejas a dietas que incluyeron nopal *ad libitum* y dos niveles (300 y 600 g) de paja tratada y sin tratar (Tabla 40). Los resultados mostraron que el consumo voluntario de nopal puede ser alto (450 g de MS) y ser importante cuando la ingestión diaria de paja aumentó de 300 a 600 g de MS. Las dietas que contenían hasta el 64 por ciento de nopal no causaron perturbaciones digestivas. Los datos indicaron que es posible cubrir los requerimientos de mantenimiento de energía de ovejas usando dietas basadas en nopal proporcionado *ad libitum* junto con 300 g de paja por día. Con altos niveles de paja (600 g) es posible cubrir del 170 al 190 por ciento de los requerimientos de energía de mantenimiento. Para cubrir las necesidades de N, la paja debe de ser tratada. Por lo tanto, el nopal puede ser usado como componente principal de dietas conteniendo paja de cereales; es necesario únicamente

agregar los suplementos adecuados para prevenir las deficiencias de N y suministrar la fibra necesaria para el funcionamiento normal del rumen.

Tabla 40. Suplementación del nopal con paja.						
Ración de Paja	300 g/día			600 g/día		
Tratamiento de la paja	NT	TA	TU	NT	TA	TU
MS (consumo g)						
Opuntia	445	447	425	432	462	439
Paja	254	242	249	494	466	486
Digestibilidad <i>in vivo</i> (%)						
MO	67.9	64.0	63.3	66.5	69.8	72.6
PC	41.1	48.0	43.3	45.9	61.0	77.1
FC	37.5	30.5	29.2	46.5	49.2	52.7
N retenido	-0.2	-0.2	-0.6	0.8	2.8	3.9
Clave: NT=no tratada TA=tratada con amoniaco UTS=tratado con urea MS = materia seca; MO= materia orgánica; PC = proteína cruda. Fc = fibra cruda. N = nitrógeno. Fuente: Nefzaoui <i>et al.</i> , 1993						

Ejemplo 2. Atriplex como suplemento nitrogenado del nopal

En un experimento (Nefzaoui y Ben Salem, 1996) utilizaron borregos Barbarine en tres grupos al azar y alimentados con dietas (80 por ciento de la dieta) basadas en nopal (*O. ficus-indica var. inermis*) y Atriplex

(*A. nummularia*). Se distribuyeron cantidades limitadas de paja de trigo (180 g/día) y suplementos comerciales de minerales y vitaminas (30 g/día). El consumo de MS de las dietas fue similar para todos los grupos. El coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y de proteína cruda (DPC) de las tres dietas fue relativamente alto, promediando, 68, 74 y 75 por ciento, respectivamente (Tabla 41). En contraste, la digestibilidad de la fibra fue baja, probablemente porque los carbohidratos solubles del nopal habrían deprimido la actividad celulolítica del rumen. Las dietas proveyeron aproximadamente 1,7 veces las necesidades de energía y proteína cruda digestible de las ovejas, respectivamente. La dieta 1 cubrió 1,65 y 2,3 veces los requerimientos de energía y (DPC) de las ovejas, respectivamente. Esta dieta proveyó N en exceso y debería ser suplementada con una fuente de energía, como podría ser el grano de cebada. La dieta 2 estuvo relativamente bien balanceada en energía y nitrógeno, mientras la dieta 3 tuvo exceso de energía y fue necesario suplementarla con una fuente de NNP, como urea.

Tabla 41. Valor nutritivo de tres dietas.			
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Consumo total (g MS/día)	941 (70) ⁽¹⁾	930 (72) ⁽¹⁾	983 (73) ⁽¹⁾
Consumo de nopal	197	353	550
Consumo de <i>Atriplex</i>	554	391	236
Consumo de paja	160	159	167
DMO	67.7	69.3	74.4
DPC de la dieta (%) ⁽³⁾	74.5	76.6	75.5
N Retenido (g/día)	4.1	3.9	4.1
Valor alimenticio ⁽⁴⁾			
Energía	167	174	184
Nitrógeno	230	190	184

Notas:

- (1) Los valores (en paréntesis) corresponden a consumos en g MS/kg PV0.75 .
 (2) DMO = digestibilidad de materia orgánica.
 (3) CP = digestibilidad de proteína cruda.
 (4) Valor alimenticio expresado en % de requerimientos mantenimiento de ovinos en energía (MODC = consumo de materia orgánica digestible) y nitrógeno (DPCc = consumo de proteína cruda digestible).
Fuente: Nefzaoui y Ben Salem, 1996

Los requerimientos de energía y N de las ovejas pueden ser ajustados usando dietas basadas en estos dos forrajes. La proporción de nopal en la dieta puede alcanzar el 55 por ciento en base seca sin trastornos digestivos colaterales. Es aconsejable agregar pequeñas cantidades de alimentos fibrosos (heno o paja) antes del nopal. Se puede obtener una mejor eficiencia dietética si se optimiza el balance mineral.

En otro experimento, se investigó el efecto de la suplementación con nitrógeno (urea, harina de soya, *A. halimus* y *A. nummularia*) de dietas basadas en nopal en el consumo voluntario y crecimiento de crías de un año de borregos Barbarine (Nefzaoui et al., 1996). Se ofrecieron cuatro dietas con contenidos similares de nitrógeno y energía (D1 a D4) a cuatro grupos de crías de un año de borregos Barbarine durante 60 días en el verano (Tabla 42). Para todas las dietas, se proveyó de nopal fresco recién cortado *ad libitum* además de una cantidad limitada de heno (170 g/día). Las dietas fueron suplementadas con 8 g/día de urea (D1), 770 g/ día de *A. halimus* (D2), 740 g/día de *A. nummularia* (D3) y 65 g/día de harina de soya (D4). Los resultados mostraron que las dietas basadas en nopal podrían ser suplementadas eficientemente con *A. nummularia*. El uso de urea y *A. halimus* condujo a bajas tasas de crecimiento en comparación con las dietas suplementadas con harina de soya o *A. nummularia*.

Los consumos voluntarios fueron 694, 844, 858 y 674 g MS/día, para las dietas D1, D2, D3, D4, respectivamente. Tales dietas, usando cantidades bajas de cereales (28 por ciento) y forraje (17 por ciento) son recomendadas para combatir las deficiencias de alimento animal en las áreas áridas y semiáridas que prevalecen en el Norte de África y Oeste de Asia.

Puede Acacia suplementar al nopal?

Acacia cyanophylla es un arbusto introducido, muy disperso, usado como suplemento de dietas basadas en nopal. La acacia es rica en proteína cruda (13 por ciento MS). Para evaluar el efecto en la dieta se alimento a cuatro grupos de borregos Barbarine con varias dietas (R00, R21, R22, y R23) (Tabla 43). Debido al costo, el heno fue dado en cantidades limitadas. El consumo de acacia fue bajo (250 g MS/día) atribuible al alto contenido de taninos condensados (7 por ciento MS). Estos taninos también causaron baja digestibilidad de la proteína cruda de la acacia. Tales dietas deben ser suplementadas con una fuente apropiada de nitrógeno.

Tabla 42. Consumo de alimento y ganancia de peso vivo.				
	D1	D2	D3	D4
Consumo (g MS/día)				
Nopal	241	252	241	228
<i>Atriplex halimus</i>	0	224.2	0	0
<i>Atriplex nummularia</i>	0	0	225.8	0
Harina de soya	0	0	0	57.6
Cebada	308.8	243.6	243.6	243.6
Heno	149.0	142.9	147.5	150.6
Urea	8	0	0	0
Consumo total	706.8	862.7	857.9	679.8
Ganancia diaria promedio (g/día)	55	58	74	70
Fuente: Nefzaoui <i>et al.</i> , 1996				

Tabla 43. Valor nutricional de dietas basadas en nopal suplementadas con <i>A. cyanophylla</i>				
	R00	R21	R22	R23
Consumo (g MS/día)				
nopal	0	167	246	267
acacia	241	373	211	177
Digestibilidad dieta (%)				
MO	67.7	76.5	73.9	74.6
PC	45.8	49.4	34.8	16.9
FC	62.8	80.5	77.4	79.9
N Retenido (g/día)	2.77	2.73	0.46	-1.07
Valor alimenticio ⁽²⁾				
energía	147	151	131	116
nitrógeno	75	67	35	10
Nota:				
(1) MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FC= fibra cruda.				
(2) El valor alimenticio es expresado como % del requerimiento de energía de mantenimiento de ovejas; (MODC = consumo de materia orgánica digestible y nitrógeno (CPCD = Consumo de proteína cruda digestible).				
Fuente: Nefzaoui <i>et al.</i> , 1996				

CONCLUSIONES

Los cladodios de nopal se comportan como los forrajes comunes:

- i) Conforme la edad del cladodio aumenta, el contenido de materia seca y de fibra aumenta y el de proteína cruda disminuye.
- ii) Poseen alto contenido de agua, (190 por ciento), cenizas, (120 por ciento), y calcio (11,4 por ciento), carbohidratos solubles y vitamina A.
- iii) Son pobres en proteína cruda (14 por ciento MS), fibra (110 por ciento MS) y P (10,2 por ciento MS).
- iv) Su digestibilidad puede ser comparada a un buen forraje, el promedio varia del 60 al 70 por ciento de la materia orgánica, 35 a 70 por ciento de la proteína cruda y 40 a 50 por ciento de la fibra cruda. Cuando se suministra a los animales, estos muestran algunas diferencias con los forrajes y se comportan mas como a los alimentos ricos en carbohidratos (similar a los cereales y melazas) , de hecho cuando el nivel de nopal en la dieta se incrementa:
- v) Hay un incremento de el consumo de alimentos fibrosos, y los ácidos grasos volátiles del rumen, el conteo de protozoarios del rumen, así como la concentración de amoniaco.
- vi) Se incrementa el consumo de agua, la actividad celulolítica del rumen y de la proporción de ácido acético/ácido propiónico.

Los cladodios de nopal son altamente palatables, mostrando consumos diarios promedio de 6 a 9 kg por ovinos y de 50 a 80 kg en bovinos. Tienen muy baja capacidad de saciedad, debido a que su consumo no reduce el consumo de alimentos fibrosos y las condiciones mejoradas del rumen aumentan el consumo de forrajes fibrosos.

Cuando se suministra nopal, se deben observar dos reglas simples;

vii) el nopal no es una dieta balanceada y debe ser usada en asociación con forrajes fibrosos (heno, paja, arbustos, etc.). También es necesario suplementarlo con una fuente apropiada y barata de N.

viii) El nopal es rico en carbohidratos solubles y Ca, pero pobre en P. Por lo tanto, es recomendable: a) agregar melazas a la ración para evitar disminuir la actividad celulolítica del rumen, b) limitar la cantidad de grano en la dieta por la misma razón; c) alimentar los animales con forrajes fibrosos (paja, heno, etc.) antes de suministrar el nopal. Adicionalmente, se requiere un suplemento mineral para proveer suficiente azufre, (S) para mantener un equilibrio de la tasa de Ca/P.

^[9] Ali NEFZAOUI y Hichem BEN-SALEM Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Túnez

Valor nutricional de *Opuntia ficus-Indica* como forraje de rumiantes en Etiopía

FIREW TEGEGNE^[10]

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de producción pecuarios tienen baja productividad debido a la disponibilidad limitada de alimento y la calidad deficiente, especialmente en áreas susceptibles a la sequía donde el sector ganadero sufre grandes pérdidas regularmente. El problema no está limitado a las zonas áridas y semiáridas de Etiopía. Los rendimientos declinantes de los cultivos acompañados por el incremento en los requerimientos de alimentos están forzando a los agricultores de las zonas central y de las tierras altas del norte a cultivar más tierra a expensas de pastizales y zonas de arbustos. Estos problemas son exacerbados por el pobre manejo y las limitaciones financieras.

Los esfuerzos de investigación para ajustar las fluctuaciones estacionales de forrajes a las necesidades incluyen; tratamiento de residuos de cosechas, modificación de prácticas agronómicas tales como selección de variedades, mejoramiento de pastizales, suplementación con nitrógeno no-proteico (NNP), plantación de forrajes de propósito múltiple, conservación, y manipulación del rumen.

Sin embargo, existen limitaciones económicas y personal no calificado para conducir trabajo analítico. Si se usaran forrajes tratados, los productos pecuarios alcanzarían precios fuera del alcance del consumidor (Nkhonjera, 1989). La disponibilidad de residuos de cosecha está limitada a áreas aptas para la producción agrícola. En las zonas áridas y semiáridas, el mejoramiento de pastizales está restringido a la siembra de pastos mejorados en los suelos más fértiles (Evans, 1982). El nitrógeno de fuentes NNP o leguminosas se degrada muy rápido y existe un desbalance entre la degradación de materia orgánica y el nitrógeno. La manipulación del ecosistema del rumen no parece económicamente efectiva en las formas de producción pecuaria extensiva (Leng, 1982). El ensilado de forrajes tropicales de bajo valor nutritivo implica el riesgo de fermentación deficiente y requiere de más instalaciones (Jarrige et al, 1982).

Consecuentemente, hay necesidad de obtener alimentos que provean N para suplementar de manera inmediata las necesidades del rumen de materia orgánica y que sirva como puente entre el NPN, las leguminosas forrajeras y los residuos de cultivos.

La mayoría de los expertos recomiendan plantar árboles y arbustos para proveer de fuentes vivas de forraje de modo que los rebaños puedan sobrevivir los períodos de escasez asociados a sequías prolongadas. En la selección de plantas para la nutrición animal en áreas secas, los criterios más importantes son la tolerancia a sequía y la palatabilidad para los animales. Sin embargo, la capacidad de adaptación de los forrajes a tierras marginales, la facilidad de propagación, la persistencia, el rendimiento de MS, alta digestibilidad (D), y el contenido de N son también importantes. *Opuntia* llena todos estos requerimientos. Más importante, *Opuntia* es aceptable como alimento humano y posee otros usos misceláneos. Sin embargo, se necesita más información sobre su valor nutritivo, su utilización como alimento animal, manejo, establecimiento y su integración en los sistemas pastorales y agropastorales.

El estudio del potencial y el valor nutritivo de *Opuntia* podría contribuir al desarrollo del sector pecuario en las regiones secas de Etiopía. Este capítulo revisa la factibilidad y el valor nutricional de *O. ficus-indica* como recurso forrajero para animales domésticos en esas áreas.

DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA Y UTILIZACIÓN DE *OPUNTIA* EN ETIOPÍA

Opuntia ficus-indica fue introducida a África del Norte desde México en el S. XVI (Pimienta, 1993) y a Etiopía al final del S. XIX (CFDP, 1994). Se encuentra ampliamente distribuida en las regiones semiáridas y áridas de Etiopía. Un estudio indica que existen alrededor de 30 520 ha (1,88 por ciento de la superficie total de la región del Tigray) cubiertas por *O. ficus-indica*, 48,62 por ciento en forma silvestre y 51,34 cultivadas. Se encuentra también en las montañas de la región Welo, donde la vegetación está severamente degradada.

Desde los sesentas, la fruta ha sido consumida por casi todos los animales domésticos, y el ganado depende totalmente de *Opuntia* durante la estación de sequía. La plantación de nopal es común y extensiva. Dos organizaciones etíopes que han

jugado un papel importante en la expansión del área cubierta por nopal son la Sociedad de Ayuda del Tigray (REST por sus siglas en inglés) y el Buró Regional de Conservación y Desarrollo de los Recursos Naturales. El Proyecto de Desarrollo de la Tuna (CFDP) ha promovido la selección, producción y distribución de variedades de nopal, la identificación de enfermedades y el diseño de medidas de control de la erosión como parte de sus estrategias (CFDP, 1994).

VALOR NUTRICIONAL DE *O. FICUS-INDICA*

Las frutas del nopal contienen agua (92 por ciento), carbohidratos (4-6 por ciento), proteína (1-2 por ciento), minerales (1 por ciento) y una cantidad moderada de vitaminas, principalmente A y C (Cantwell, 1991 y Neri, 1991 citado por Pimienta, 1993). De acuerdo con estos datos, los frutos son altos en carbohidratos (5075 por ciento de la MS) y moderados en proteínas (12,5-25 por ciento de la MS), minerales y vitaminas.

Datos obtenidos en Sudáfrica acerca de la calidad nutricional indicaron 4 por ciento de proteína cruda (PC), 64 por ciento nitrógeno total digestible (NTD), 1,4 por ciento de Ca, 0,2 por ciento de P y 0,1 por ciento de Na similares a datos obtenidos en Texas (De Kock, 1980). Este último autor indicó que en contraste con las plantaciones fertilizadas, el contenido de proteína de nopal silvestre fue tan bajo que se necesitaron suplementos minerales y proteicos.

El efecto varietal es ilustrado en un estudio comparativo conducido en Brasil con cultivares forrajeros en la producción de leche: los contenidos de PC del nopal de los cvs. Gigante y Redonda, así como de *Nopalea cochellinifera* cv. <Miúda fueron: 4,83, 4,21, y 2,55 por ciento, y su contenido de fibra cruda (FC) fue 9,53, 8,63, y 5,14 por ciento, respectivamente. La digestibilidad in vitro de la MS (DGINV) fue 77,37 por ciento para Miúda comparada con 74,11 y 75,12 para Redonda y Gigante, respectivamente; la producción promedio de leche y grasa de leche no fueron diferentes significativamente entre tratamientos (Ferreira dos Santos et al., 1990).

La edad del cladodio es un factor importante para el valor nutricional del cladodio. Cladodios jóvenes de nopal cultivados en España en huertos para producción de fruta tuvieron 10,6-15,0 por ciento de proteína, mientras los cladodios maduros variaron de 4,4 a 11,3 por ciento de proteína (Retamal et al., 1987b). De manera similar, Gregory (Gregory citado por CFDP, 1994) reportó que cuando se incrementa la edad de *O. ficus-indica* de uno a cuatro años, el contenido de PC decreció: 11,53, 5,74, 5,5 y 5,65 por ciento, respectivamente en los cuatro años, el promedio fue de 7,10 por ciento. Comparados con cladodios maduros de 12 años, los cladodios de dos años presentaron substancialmente más altos contenidos de N, K y Mn, pero más bajos de Na, Ca y Fe. Esto fue atribuido a la edad y la mayor actividad metabólica de los cladodios jóvenes (Nobel, 1983).

Concentraciones de 15,3 por ciento de proteína y 0,3 por ciento de P fueron reportadas en plantaciones comerciales de nopal tunero en California (Nobel, 1983). En contraste, el clorénquima contenía 9,6 por ciento de proteína y 0,12 por ciento de P en una plantación de 5 años y 7,8 por ciento de proteína y 0,09 por ciento de P en una plantación Chilena de opuntia. Los cladodios jóvenes tuvieron significativamente más N, K, y Mn pero más bajos contenidos de Na, Ca, y Fe. Epstein, (1972) sugirió que el Ca y el Fe no son muy móviles de manera que se puede esperar que se acumulen en los tejidos más viejos (Retamal et al., 1987b).

En contraste, Gregory y Felker (1992) informaron que *O. ficus-indica* tuvo contenidos de proteína similares en todas las edades. Sus resultados son inusuales, dado que los cladodios jóvenes son en general de mejor calidad nutricional que los cladodios viejos, lo cual es atribuible al incremento en grosor de la cutícula (la cual se degrada muy lentamente) debido a la expansión del parénquima esponjoso que almacena agua a expensas de los contenidos celulares (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). Estos autores informaron valores de composición por 100 g de cladodios cosechados cuando tenían 20 cm de longitud; 91,7 g de agua, 1,1 g de proteína, 0,2 g de lípidos, 1,3 g de cenizas y 1,1 g de FC (13,3, 2,4, 15,7 y 13,3 en base a peso seco, respectivamente). Se observó que el contenido total de carbohidratos se incrementó considerablemente durante el crecimiento del cladodio, mientras que el contenido de proteína y FC disminuyó.

La estación tiene un profundo impacto en la composición química del nopal. De acuerdo con Retamal et al., (1987b) los valores más altos de humedad, los azúcares reductores libres, el almidón y la PC fueron detectados en la primavera (92,5 por ciento, 103 mg/g MS; 226 mg/g MS; 14,8 por ciento respectivamente) en cladodios jóvenes, al final de la estación, el contenido de cenizas, extracto etéreo, fibra cruda y contenido calorífico presentaron los más altos valores (29,8; 36 mg/g MS, 144 888 KJ/kg, respectivamente). En invierno, ocurrieron altas concentraciones de N, P y K, mientras que el Ca mostró una tendencia opuesta (Esteban-Velasco y Gallardo-Lara, 1994).

Comparados con la mayoría de los cultivos, los niveles de Ca y Mg (5,3 y 2,5 del MS), respectivamente, del clorénquima de los nopales tiende a ser más alto y el nivel de Na (0,11 por ciento de la MS) más bajo que los de los cladodios viejos (Retamal et al., 1987b). Estos autores encontraron que de los 11 elementos probados el N fue el más fuertemente correlacionado con el nivel de nutrientes y la actividad metabólica, cuando la acumulación nocturna de ácido (ANA) tendieron a ser mayores cuando el nivel de N en el clorénquima fue más alto ($r^2=0,39$). En contraste, la ANA estuvo correlacionada negativamente con el contenido de Na del clorénquima ($r^2= -0,32$).

Las características distintivas de los cactus, raíces superficiales, hojas modificadas como espinas y el sombreado de los órganos fotosintéticos, podría afectar las relaciones minerales. La raíz superficial les permite acumular elementos de la capa superior del suelo y el sombreado resulta en la acumulación de ciertos elementos (Nobel 1977). Una característica importante común a la mayoría de los cactus es la concentración relativamente alta de Ca, lo cual puede significar acumulación de oxalato de calcio (Nobel, 1983).

Flachowski y Yami (1985) estudiaron la composición, digestibilidad y consumo de *O. ficus-indica* por ovejas Ogaden, donde el 70-75 por ciento (en base seca) fueron carbohidratos totales y cerca del 20 por ciento cenizas crudas. Ellos indicaron una D aparente de la materia orgánica del 70,9 por ciento correspondiente a 35 y 467 unidades de energía/ cabeza/kg (72 MJ de EM) en peso fresco y materia seca, respectivamente. La PC fue 4,5 - 5,5 por ciento de la MS, menor que los requerimientos de mantenimiento.

Dada la opción, los borregos prefieren nopal fresco picado mas que el nopal deshidratado y picado o el nopal entero fresco (Flachowski y Yami, 1985). En condiciones en las cuales el agua no es un factor limitante para la producción animal, sería difícil para los animales consumir suficiente nopal fresco para llenar sus requerimientos, dado que contenido de agua que exceda 780 g/kg de forraje fresco se asume que tiene efectos detrimentales en el consumo voluntario (John y Ulyatt, 1987 citado por Minson, 1990a).

Afortunadamente, los efectos pueden ser pequeños y sin desventajas en zonas semiáridas y áridas donde el agua es limitante para la producción animal.

En un experimento de reemplazo de heno de alfalfa con cladodios de *O. ficus-indica* como forraje suplementario de verano en cabras lecheras, 50 cabras fueron pastoreadas sobre pastos nativos únicamente (testigo), con heno de alfalfa (HL) ad libitum; y con tres combinaciones de alfalfa + cladodios (C) (85 por ciento de HL mas 15 por ciento C; 79 por ciento HL + 21 por ciento C; 66 por ciento HL + 34 por ciento C), la producción de leche aumenta 55,4, 93,8, 13,5 y 12 por ciento respectivamente, comparados con el control ($p < 0,05$) (Azocar y Rojo, 1991).

Gregory y Felker (1992) informaron que el nopal presenta un alto contenido de humedad (94,26 por ciento) y alta D in vitro (aproximadamente 75 por ciento). La mayoría de los investigadores sugieren que el nopal es bajo en PC (4 por ciento) y (P) y recomiendan suministrar suplementos para llenar los requerimientos de los animales (De Kock, 1980; Hanselka y Paschal, 1990). Su contenido de energía es moderado, medido como nutrientes digestibles, y alto en agua, vitamina a, fibra y cenizas (Hanselka y Paschal, 1990). Afortunadamente, hay maneras de mejorarlo. La aplicación de dosis bajas de N incrementa el porcentaje de PC significativamente. Se ha propuesto que tratamientos altos de N (224 kg/ha cada dos años) son necesarios para llenar los requerimientos de vacas lactantes. La aplicación de fósforo (112 kg/ha) también duplico el contenido de P, el cual normalmente bajo en *O. ficus-indica* (González y Everitt, 1990 citado por Pimienta, 1993).

Las características anti-nutricionales, tales como las espinas, pueden afectar el valor nutricional limitando la palatabilidad y digestibilidad y de esta manera la eficiencia de utilización. El método común de remoción de espinas es el chamuscado. Se ha diseñado un artefacto mecánico para remover las espinas (Camorlinga y Sales et al., 1993). Otro método es usando una picadora (De Kock, 1980).

Dado que el nopal es una planta con mecanismo fotosintético MAC, el contenido de ácidos orgánicos varía durante el día. Teles (1984) encontró que los niveles de ácido málico, malónico y cítrico en materiales colectados a las 18:00 fueron; trazas, 0,95 y 0,31 mg/g, respectivamente. En material similar colectado a las 6:00, las concentraciones fueron 0,36, 9,85 y 1,78 mg/g, respectivamente. El pH vario de 5,2 en la noche a 4,4 en la mañana temprano, y el porcentaje de ácido málico vario de >0,5 por ciento a las 8:00 a <0,1 por ciento a las 16:00 horas (Cantwell, 1991 y Neri, 1991, citado por Pimienta, 1993). Sin embargo el efecto de la variación de ácidos orgánicos durante el día no ha sido estudiado en opuntia.

Se han notado cambios nutricionales después de cosecha, aun cuando no han sido explicados. Neri, (1991), citado por Pimienta, (1993) observó reducción del contenido de azúcares totales y reductores e incremento en el pH y el contenido de proteína. En sistemas de producción donde el agua no es limitante, al almacenamiento de opuntia incrementa la MS de modo que los animales pueden consumir mas y llenar sus requerimientos. El incremento en el contenido de proteína es más importante y necesita ser investigado.

ANÁLISIS DE LOS NOPALES DE ETIOPIA

Determinación del contenido de MS, cenizas y minerales

Se tomaron muestras de plantas cultivadas en invernadero en suelo arenoso, sin fertilizantes, representativo de los suelos tropicales pobres en los cuales usualmente *O. ficus-indica* crece. El contenido de MS fue determinado después picar y secar las muestras durante cuatro días 80 °C en una estufa. El contenido de cenizas fue determinado incinerando las muestras secas a 500 °C, hasta que se obtuvo un color gris blanquecino. La solución para determinar los minerales fue preparada de acuerdo a (Retamal et al., 1987b) excepto que la solución para el análisis del Ca, Mg y K fue posteriormente diluida con agua destilada (1:100) para obtener un factor de dilución final de 1:1000.

La concentración de Ca, Mg y K y Na en la solución fue determinada por espectrometría de absorción atómica y la concentración de K fue determinada con espectrofotómetro. El resultado de cada elemento fue calculado de las curvas estándar respectivas (MAFF, 1986). La proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo y cenizas fueron determinados por el método de análisis proximal (MAFF, 1986). El extracto libre de nitrógeno fue calculado como MS, sin considerar la suma de PC, FC, EE y cenizas ($ELN = DM - PC - FC - EE - \text{cenizas}$) (Van Soest, 1982). Se realizó un bioensayo usando la técnica del licor de heces (El-Shaer et al., 1987) el cual fue usado para el ensayo in vitro de digestibilidad de MS (DIVMS). La DIVMS fue calculada como sigue: $DIVMS = (A - (B - C)) / A$ donde A = peso seco de la muestra; B = peso seco del residuo después de la digestión y C; peso seco del reactante en blanco.

La media proporcional de la pérdida de peso de los triplicados o duplicados de cada muestra fue registrada como la DIVMS (Omed et al., 1989). Los datos fueron analizados con el ANOVA (modelo lineal general GLM) y la significancia de las diferencias entre medias se probó con la prueba DMS de Fisher.

La relación entre los datos de la composición química con la DIVMS fue analizada con regresión lineal simple y la significancia de la correlación por ANOVA. Se calcularon ecuaciones de regresión múltiple de las combinaciones de PC, FC, ELN, EE y cenizas como variables dependientes y la DIVMS como variable dependiente.

Composición mineral

La composición mineral de las muestras se resume en la Tabla 44. se encontraron efectos significativos de la edad sobre los contenidos de Ca, Mg y Na y un efecto altamente significativo en el contenido de P. La edad no afectó el contenido de K. Es bien conocido que las leguminosas y pastos tropicales, y otros forrajes toscos son bajos en minerales, particularmente P (Fleming 1973; Minson, 1988). El contenido de P (Tabla 44) de las muestras fue bajo en comparación con pastos de clima templado (Mc Donald et al., 1995). Los cladodios viejos tuvieron menores contenidos de P que los cladodios jóvenes y los frutos, coincidiendo con los resultados de estudios previos (De Kock, 1980; Nobel, 1983; Hanselka y Paschal, 1990; Gregory y Felker, 1992). Todos los resultados estuvieron dentro del rango de 0,2 a 0,58 por ciento informados para 596 pastos tropicales, cuya media fue de 0,22 por ciento (Minson, 1990b). Adicionalmente, los valores de P estuvieron por encima de los niveles recomendados (0,17 por ciento) para cabezas de 450 kg y para una ganancia de peso de 0,5 kg/día (NRC, 1968).

Se ha informado que *O. ficus indica* posee alto contenido de Ca (Nobel, 1977; De Kock, 1980, Retamal et al., 1987b). Los valores obtenidos no concuerdan con esto (Tabla 44), lo cual puede ser debido a que se usaron muestras de pencas jóvenes, lo que limitó la acumulación de oxalato de calcio (Nobel, 1977). Los frutos presentaron valores de Ca significativamente más bajos que otras partes y el contenido de Ca de los cladodios jóvenes fue alto (pero no significativamente ($p > 0,05$) que los de edad intermedia y los viejos. El valor significativo de Ca encontrado en cladodios jóvenes también difiere de otros informes (Epstein, 1972; Nobel, 1983; Retamal et al., 1987b) pero la diferencia fue pequeña. Los frutos presentaron valores de Ca más bajos que los cladodios, explicado en parte por la baja movilidad del Ca (Epstein, 1972).

El contenido de Ca de 390 pastos tropicales varió de 0,14 a 1,46 por ciento (Minson, 1990b), un rango que contiene la mayoría de los valores obtenidos. Todas las muestras presentaron suficiente Ca para llenar el 0,17 por ciento de los requerimientos recomendados por NRC, (1968). La mayoría de las muestras estuvieron dentro del rango de los pastos forrajeros ($> 0,06$ por ciento), (Mc Donald et al., 1995).

El nopal ha sido informado también como de alto contenido de Mg (Retamal et al., 1987b), en este caso el contenido de Mg fue alto e incrementó significativamente ($p < 0,05$) con la edad del cladodio. Todos los valores estuvieron dentro del rango informado por Minson (1990b). Adicionalmente, los contenidos fueron superiores al 0,11 por ciento recomendado por la ARC, (1965), mostrando que *Opuntia* contiene suficiente Mg. Aun cuando hay menos posibilidades de una deficiencia de Mg, ya que la mayoría de los pastos tropicales y leguminosas contienen suficiente (Norton, 1982).

Tabla 46. Composición mineral promedio (% de MS) de frutos y cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i>					
	Elemento				
	Ca	Mg	K	Na	P
Frutos	0.45c	0.14c	0.40	0.07	0.37a
Cladodios jóvenes	1.03a	0.20a	0.37	0.06	0.33a
Cladodios mediana edad	0.94b	0.19a	0.38	0.05	0.25b
Cladodios viejos	0.73b	0.22ab	0.17	0.05	0.23b
Probabilidad	$p < 0.05$	$p < 0.05$	ns	ns	$p < 0.001$

Gran media	0.79	0.19	0.33	0.06	0.30
Desviación estándar	1.177	0.147	0.927	0.004	0.014
Notas: (1) literales diferentes indican significancia ($p < 0.05$). (2) ns = No significante.					

El bajo contenido de K de los cladodios viejos (Tabla 44) puede reflejar la tasa metabólica alta de los frutos y los cladodios jóvenes (Nobel, 1983). Retamal et al., (1987b) observó que los cladodios jóvenes contienen substancialmente más K, lo cual no fue observado en este estudio.

El contenido de Na de los frutos y los cladodios fue muy bajo ((Tabla 44) similar a lo informado por De Kock (1980) y Retamal et al., (1987b), quien reporta que los cladodios jóvenes presentan bajo contenido de Na. Los valores indican que los valores bajos de Na en cactus pueden ser debidos probablemente a la baja capacidad genética de acumulación, bajos requerimientos o baja disponibilidad en el suelo (Norton, 1982; Retamal et al., (1987b). Estos últimos autores informaron que el contenido de Na estuvo negativamente correlacionado con la acumulación nocturna de ácido (ANA), confirmando la aseveración anterior.

Está firmemente establecido que los pastos tropicales poseen bajos contenidos de Na (Fleming, 1973), aunque la deficiencia esta relacionada a ciertas especies (Minson, 1990 a). Los resultados obtenidos estuvieron dentro de los rangos típicamente encontrados en pastos tropicales, i.e. 0,01 a 1,8 por ciento. todas las muestras contenían menos del 0,08 por ciento, lo cual es el nivel recomendado por la ARC, (1985). Sin embargo, en las zonas áridas y semiáridas, la salinidad del agua puede ser alta (Mc Dowell, 1985), lo cual puede compensar por cualquier deficiencia.

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

La DIVMS promedio (Tabla 45) fue mas alta para frutos ($P < 0,01$), seguida de cladodios jóvenes, declinando significativamente con la edad con la edad en los cladodios viejos. La DIVMS estuvo negativamente correlacionada con al edad ($r = 0,95$) y el ELN ($r = -0,80$), y positivamente correlacionada con la PC ($r = 0,76$) y el contenido de cenizas ($r = 0,73$). la relación entre la DIVMS y la composición química, incluyendo la edad fue calculada como sigue:

$$\text{DIVMS} = 74.1 - (4.12 \times \text{edad}) + (0.009 \times \text{PC}) \times (0.482 \times \text{FC}) - (0.91 \times \text{EE}) + (0.989 \times \text{cenizas})$$

$$(r^2 = 0.93; p < 0.001)$$

Tabla 45. Digestibilidad <i>in vitro</i> promedio (DIV), energía digestible estimada (ED), nutrientes digestibles totales (NDT) y composición química de frutos y cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> .							
	MS %	DIVMS % MS	ED MJ/kg MS	NDT % MS	PC % MS	FC % MS	ELN % MS
Frutos		82.92 ^a	15.57 ^a	77.78 ^a	13.10 ^a	10.39	65.78
Cladodios jóvenes		77.88 ^b	13.98 ^b	73.48 ^b	13.42 ^a	7.96	66.78
Cladodios de mediana edad		71.14 ^c	13.14 ^c	67.63 ^c	10.76 ^b	8.03	72.15
Cladodios viejos		69.64 ^c	12.99 ^c	66.32 ^c	9.15 ^b	10.72	70.85
Probabilidad		$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.01$	ns	ns
Gran media	9.17	75.40	13.92	71.33	11.61	9.28	68.89
Desviación estándar		1.651	0.226	0.312	0.366	1.238	1.281
Clave: MS = materia seca; DIVD = digestibilidad <i>in vitro</i> de MS; ED = energía digestible; NDT = nutrientes digestibles totales; PC = proteína cruda; FC = fibra cruda; ELN = extracto libre de nitrógeno.							

Notas: (1) Literales diferentes indican significancia ($p < 0.05$) ; (2) ns = no significativo.

Tabla 45. Digestibilidad <i>in vitro</i> promedio (DIV), energía digestible estimada (ED), nutrientes digestibles totales (NDT) y composición química de frutos y cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> .							
	MS %	DIVMS % MS	ED MJ/kg MS	NDT % MS	PC % MS	FC % MS	ELN % MS
Frutos		82.92 ^a	15.57 ^a	77.78 ^a	13.10 ^a	10.39	65.78
Cladodios jóvenes		77.88 ^b	13.98 ^b	73.48 ^b	13.42 ^a	7.96	66.78
Cladodios de mediana edad		71.14 ^c	13.14 ^c	67.63 ^c	10.76 ^b	8.03	72.15
Cladodios viejos		69.64 ^c	12.99 ^c	66.32 ^c	9.15 ^b	10.72	70.85
Probabilidad		$p < 0.01$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.01$	ns	ns
Gran media	9.17	75.40	13.92	71.33	11.61	9.28	68.89
Desviación estándar		1.651	0.226	0.312	0.366	1.238	1.281
Clave: MS = materia seca; DIVD = digestibilidad <i>in vitro</i> de MS; ED = energía digestible; NDT = nutrientes digestibles totales; PC = proteína cruda; CF = fibra cruda; ELN = extracto libre de nitrógeno.							
Notas: (1) Literales diferentes indican significancia ($p < 0.05$) ; (2) ns = no significativo.							

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Contenido de proteína cruda

Se ha informado que el nopal posee bajo contenido de PC (De Kock, 1980; Glanze y Wernger, 1981; Flakowsky y Yami, 1985; Ferreira dos Santos et al., 1990). En contraste, algunos autores han informado al nopal como una fuente de contenido moderado de PC (Nobel, 1983; Retamal et al., 1987b; Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Cantwell, 1991 y Neri, 1991 citado por Pimienta, 1993). Los resultados obtenidos (Tabla 45) están de acuerdo con los últimos autores. Sin embargo, la mayoría de sus muestras fueron de plantaciones cultivadas, mientras que el nopal usado para nuestro estudio es de condiciones silvestres. Las diferencias pueden ser explicadas por la edad y las condiciones de cultivo (De Kock, 1980; Retamal et al., 1987 a; Hanselka y Paschal, 1990).

Como en el caso de la mayoría de las plantas, la edad afectó significativamente el contenido de PC. Los contenidos promedio de PC de todos los frutos y cladodios de todas las edades (media general 11,61 por ciento) fueron mayores que el contenido promedio de PC de todos los residuos fibrosos de cultivo (6,1 por ciento) (Kossila, 1984) y las muestras de pastos tropicales (7,7 por ciento) reportadas por Butterworth (1967) o el 10,6 por ciento informado por Minson (1990b). Sin embargo, fueron menores que el contenido promedio de PC informado para 340 leguminosas tropicales: 17,2 por ciento de acuerdo con Minson (1988) o 16,7 por ciento informado por Minson (1990b), mientras que la mayoría fueron comparables al contenido promedio de PC (13,3 por ciento) de 470 pastos tropicales. Todos los valores fueron superiores al nivel limitante para la actividad microbiana (13,3 por ciento), productividad y eficiencia de utilización del forraje (Minson, 1990b).

Contenido de fibra cruda

El CF es usualmente tomado como el índice negativo de la calidad de forraje (Van Soest, 1982). En este estudio, *O. ficus-indica* fue extremadamente baja en CF. Resultados similares fueron informados por Rodríguez-Félix y Cantwell, (1988), y Ferreira dos Santos et al., (1990).

Conforme las plantas maduran hay un aumento significativo en el contenido de FC (Van Soest, 1982). Sin embargo en los cactus, no se encontraron diferencias significativas entre grupos de diferentes edades ($p > 0,05$). Rodríguez-Félix y Cantwell, (1988) informaron incremento aun en los cladodios viejos, sugiriendo que la disminución significativa de la DIVMS de los cladodios viejos (Tabla 45) no se debe al incremento de la FC.

Todas las muestras aquí reportadas estuvieron abajo del rango de FC determinada para las leguminosas tropicales (12 a 43,4 por ciento, promedio de 30,6 por ciento) y pastos tropicales, con un promedio de 33,4 por ciento (Butterworth, 1967), los cuales presentaron valores de FC inferiores a de los pastos y leguminosas de clima templado; 20 por ciento y 25,3 por ciento, respectivamente informados por Norton (1982).

Extracto libre de nitrógeno

El contenido ELN, que representa los carbohidratos altamente digestibles (Van Soest, 1982), fue relativamente alto en todas las muestras (Tabla 45). Los altos valores de ELN de los cladodios viejos indicaron que poseen el mas alto porcentaje de contenido celular soluble. El incremento de ELN con la edad ($r=0,64$) es acorde con la observación de que los carbohidratos totales se incrementan durante el desarrollo de los cladodios (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988), lo cual podría hasta cierto punto, amortiguar la disminución de la DIVMS cuando los cladodios envejecen (Radojevic et al., 1994). La correlación negativa entre el contenido del ELN y la DIVMS ($r=-0,80$) puede ser debido a cambios relacionados con otros factores.

Digestibilidad in vitro de la materia seca

Los dos componentes más importantes de una dieta que imponen restricciones físicas al consumo de alimento son la energía digestible y el contenido de proteína (Van Soest, 1982). Consecuentemente, la energía y la proteína toman especial consideración en cualquier sistema de alimentación, de aquí surge la necesidad de una fuente de alimento digestible (Yilala, 1989).

Los datos informados en la Tabla 45 muestran que *O. ficus-indica* fue altamente digestible, en acuerdo con los valores informados por Ferreira dos Santos et al., (1990). Aunque hubo pequeñas diferencias en el contenido de PC y FC entre los frutos y los cladodios jóvenes, la DIVMS fue significativamente mayor en los frutos. Su alta digestibilidad fue atribuida, en parte a la traslocación de carbohidratos solubles (Norton, 1982). Los cladodios jóvenes fueron más digestibles que los de mediana edad y que los viejos. Esto parece estar relacionado con el bajo contenido de PC de los cladodios viejos ($r=0,76$). Sin embargo, ninguno de los contenidos de PC fue menor a 6-7 por ciento, que es el valor limite para la síntesis microbiana y las condiciones de fermentación (Hogan, 1982).

Fue menos probable que el contenido de FC de los cladodios viejos haya afectado significativamente su digestibilidad. Esta sugerencia fue confirmada por los valores extremadamente bajos de FC (Tabla 45), los cuales no estuvieron correlacionados con la edad ($r= -0,04$). Cuando fueron comparadas con otros pastos y leguminosas forrajeras, pudo ser argumentado que opuntia con tan bajo valor de FC tuvo una DIVMS más baja de la esperada. El grado de lignificación fue también improbable que causara una reducción significativa en la D, debido a que las plantas que no son leguminosas como opuntia, no se lignifican y tienen una alta recuperación de la pared celular (Van Soest, 1982). Los valores extremadamente bajos de FC pueden, sin embargo, haber causado una alta tasa de digestión y afectar la digestibilidad debido a la acumulación ácida en las botellas, la cual es difícil de amortiguar (Van Soest, 1982).

Una porción del decremento de la digestibilidad de los cladodios viejos pudo estar asociada con la cutina indigestible, la cual evita el ataque microbiano (Minson et al., 1972). La cutina esta presente en la cutícula de los cactus (Hanna et al., 1973; Uden, 1984). Existen diferencias en la susceptibilidad de la cutícula a agrietarse bajo estrés (Hanna y Akin, 1978), lo cual no ha sido investigado en *O. ficus-indica*.

Las plantas C4 son fotosintéticamente más eficientes que las C3, pero exhiben bajo valor nutritivo (Van Soest, 1982). Sus características morfológicas (Norton, 1982); la temperatura de crecimiento (Minson, 1990 a); la cubierta del parénquima que esta bien desarrollada, y es degradable mas lentamente de las plantas C4 (Akin, 1982); y las escasas células del mesófilo (Van Soest, 1982) podrían limitar la digestibilidad de frutas y cladodios. Sin embargo, cualquier impacto de ellos debe ser pequeño, dado que las muestras fueron muy digestibles (Tabla 45). Los altos valores DIVMS de fueron relacionados con el alto contenido celular, el cual representa aproximadamente el ELN y los bajos contenidos de FC (Tabla 45), (Van Soest, 1982).

Los análisis de regresión de la DIVMS contra datos separados de composición química (PC, FC, EE y cenizas) confirmaron que la FC y el EE no están correlacionados con la digestibilidad ($r^2=0,0$ por ciento) aunque la combinación tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0,001$). La DIVMS fue mejor estimada por la ecuación de regresión que incluyó la edad ($r^2=93,6$ por ciento).

La DIVMS de casi todas las frutas y los cladodios mostraron valores superiores a los pastos tropicales (30-75 por ciento, promedio 54 por ciento). Minson y McLeod (1970) en Minson (1988), los pastos de clima templado (45-85 por ciento, promedio 60,7 por ciento), leguminosas tropicales (36,0 a 69,3 por ciento, promedio 54 por ciento) (Minson (1988). Ninguno de los valores de Minson (1988) fue menor al nivel de digestibilidad recomendado para diferentes rumiantes mantenidos para distintos propósitos de producción. Por ejemplo, para mayor rendimiento de animales grandes se requieren forrajes de digestibilidad superior al 66 por ciento (Burns, 1982); una vaca lactante produciendo 5 kg leche/día requiere forraje con 67 por ciento de D, animales rendidores de las razas Etiópes nativas, requieren 53 por ciento de D (Burns, 1982). De esta manera, *O. ficus-indica* puede ser un forraje adecuado en los trópicos donde aun aplicando N a los pastos no se logra mejorar la D (Minson, 1973).

Se obtiene alta DIVMS secando la muestra a 100 °C durante una hora seguida de una temperatura moderada de 70 °C (Burns, 1981). Sin embargo, temperaturas superiores a 80 °C causan degradación termoquímica de partes no estructurales. El contenido de carbohidratos hidrosolubles (CHS), la digestibilidad in vitro (DIV) y el porcentaje de N soluble en detergente neutral son afectados principalmente por la temperatura de secado. Así, el calentamiento prolongado a altas temperaturas promueve la pérdida de azúcares a través de la reacción de Mailliard. La reacción es favorecida por la temperatura alta, el contenido de humedad y los carbohidratos solubles en el material vegetal: estos requerimientos fueron completados por opuntia. Por lo tanto, los productos de Mailliard fueron producidos y los constituyentes estructurales aumentaron, limitando la digestión dado que no están disponibles o son lentamente degradables (Van Soest, 1982).

CONCLUSIONES

O. ficus-indica presentó un contenido moderado de PC, altos valores de Ca, normales de Mg, y bajos de Na, K y P con relación a los requerimientos de al dieta para rumiantes, de manera similar a los pastos y leguminosas forrajeras tropicales. Fue altamente digestible.

O. ficus-indica puede ser la conexión entre los residuos de cosechas, las leguminosas forrajeras y las fuentes de nitrógeno no proteico, suministrando materia orgánica inmediatamente disponible.

El contenido extremadamente alto de agua puede afectar el consumo total de MS de los animales, especialmente durante la temporada de lluvias cuando el agua no es un factor limitante para la producción animal. Por lo tanto, la investigación debe dirigirse a la producción de ensilados y la combinación con residuos de cosecha toscos.

Este estudio evaluó algunos de los parámetros en una sola fecha. Para conducir una evaluación completa se debe incorporar al nopal en los sistemas de alimentación. Su efecto en el rendimiento animal debe ser investigado. De manera similar, es necesario conducir trabajo adicional sobre su combinación con otros forrajes.

El uso del nopal como forraje en las zonas áridas de Sudáfrica

GERHARD C. DE KOCK^[11]

INTRODUCCIÓN

La sequía es un atributo normal y natural de las regiones áridas y semiáridas. En agricultura puede ser definida como una deficiencia de precipitaciones con respecto a la mediana o a la media requerida por un cultivo, lo cual debilita seriamente la producción agrícola por un período de varios meses a varios años, extendiéndose sobre una amplia área geográfica. La sequía no debe ser confundida con aridez, que más bien se refiere a la relación a largo plazo entre precipitación y evapotranspiración potencial, aunque también puede ocurrir en zonas no áridas.

Sudáfrica, con su precipitación variable y limitada, es árida, y las sequías temporales o severas ocurren con normalidad. Durante las sequías, ocurren pérdidas adicionales en el ganado a causa de la falta de forraje.

CLIMA

Sudáfrica está sujeta a las condiciones bioclimáticas más complejas del continente africano (Le Houérou *et al.*, 1993), como consecuencia de la combinación de varias condiciones geográficas, entre las cuales se encuentran:

- Gran variación en latitud entre Messina, el norte de Transvaal (22° 30' S) y Cabo Agulhas (34° 50' S), a una distancia de aproximadamente 1 350 km norte-sur.
- Marcadas diferencias en altitud, desde el nivel del mar hasta cerca de 3 500 m, con un efecto directo en la precipitación y la temperatura.
- La presencia de océanos al este y el oeste, que están influidos por la presencia de corrientes cálidas (Mozambique y Agulhas) en el este, y una corriente fría (Benguela) al suroeste.
- La precipitación anual promedio varía desde 40 mm en la boca del Río Naranja, hasta arriba de los 2 500 mm en las pendientes de Drakensberg y las pendientes del norte y oeste de las montañas del Cabo.

El régimen de precipitación puede ser: tropical mono-modal de verano; Mediterráneo mono-modal en invierno; bimodal de otoño y primaveral; o completamente amodal (sin una temporada seca natural). La evaporación potencial promedio puede variar desde un poco menos de 100 mm a lo largo del Cabo y Natal, hasta 2 500 mm en el área de Upington-Pofader-Pella en la frontera del suroeste con Namibia.

EL CULTIVO DE *Opuntia*

Los nopales se desarrollan bien en suelos profundos con texturas suaves, incluyendo arenas gruesas, pero la arcilla aunada a condiciones de encharcamiento por drenaje deficiente se consideran limitantes para la producción. En los suelos poco profundos las producciones suelen ser menores. Los nopales toleran valores relativamente altos de pH (hasta 8,5), pero la conductividad eléctrica máxima del suelo no debe exceder los 5-6 mS/cm (Le Houérou, 1992).

Se han registrado incrementos en la producción de 200 a 300 por ciento luego de la aplicación moderada de nitrógeno y fósforo. Abonar la tierra también incrementa la producción aún con precipitaciones relativamente bajas, del orden de 150-200 mm (Monjauze y Le Houréou, 1965; Le Houérou, 1992; de Kock, 1980).

REQUERIMIENTOS DE AGUA Y USO

Los cactus y otros cultivos forrajeros resistentes a la sequía usan el agua mas eficientemente que otros cultivos tradicionales de forraje. De acuerdo a De Kock (1980), *Opuntia* usa 267 litros de agua por cada kg de MS producida (3,7 mg MS/g); y *Atriplex* sp. emplea 304 l de agua/kg MS producida (3,3 mg MS/g); y el *Agave* requiere 93 l de agua para producir un kg MS (10,7 mg MS/g).

La productividad de *Opuntia* es también muy alta si se compara con la vegetación nativa bajo condiciones similares. Ya que *Opuntia* produce hasta 10 t de (MS)/ha/año en zonas áridas, 10-20 t en zonas semiáridas y 20-30 t en áreas subhúmedas bajo manejo apropiado o cerca de lo óptimo (Monjauze y Le Houérou, 1965; de Kock y Aucamp 1970; Steynberg y de Kock 1987; Nobel 1988; Le Houérou 1991b, 1992).

Sin embargo, tales producciones demandan un manejo adecuado del cultivo y suelos profundos con buena calidad. Bajo tales condiciones, la productividad es casi 10 veces mayor a la de los pastizales bajo las mismas condiciones de manejo. Aún sin labores de cultivo ni fertilización, la producción es de tres a cinco veces mayor a la del pastizal (De Kock, 1980; Le Houérou, *et al.*, 1988). La eficiencia del uso de la lluvia (EUAL) y eficiencia del uso de agua (EUA) bajo condiciones de lluvia o irrigación establecen las bases para su mayor capacidad de adaptación en ambientes semiáridos (Cuadro 47).

Cuadro 47. Eficiencia en el uso de lluvia (EUL) y eficiencia en el uso de agua (EUA) bajo condiciones de lluvia e irrigación para varios cultivos

Cultivo	EUAL (kg MS/mm/año)	EUA-Coeficiente de transpiración (kg de agua/kg MS)	EUA (mg MS/g agua)
<i>Agave</i>	45.0	93	10.7
<i>Opuntia</i>	40.0	267	3.7
<i>Atriplex nummularia</i>	28.0	304	3.3
Mijo perla	25.0	400	2.5
Cebada	20.0	500	2.0
Sorgo	15.0	666	1.6
Trigo	13.3	750	1.3
Alfalfa	10.0	1000	1.0
Pastizal	5.0	2000	0.5

En regiones áridas y semiáridas con bajo irrigación, el regar *Opuntia* sin espinas es más eficiente que irrigar una pequeña área de alfalfa (Cuadro 48), especialmente si se usa como referencia los valores relacionados con la EUA en una área con 200 mm de precipitación anual promedio (de Kock y Aucamp, 1970).

Asimismo, se han observado marcadas diferencias en la producción de forraje y la cantidad de nutrientes digeribles en *O. robusta*, comparado con *Atriplex nummularia* y con alfalfa por cada 25 mm de agua aplicada (Cuadro 49).

Cuadro 48. Producción de *Opuntia* sin espinas (2920 plantas/ha) bajo riego limitado en la estación Carnarvon (precipitación promedio: 200 mm/año) (1965-66; 1967-68)

Irrigación + lluvia (mm/año)	Número de riegos	Calendario de irrigación	Producción de materia verde (t/ha)	Producción de MS (t/ha)
Sin riego +178	0	-	24.89	3.27

mm de lluvia				
75 mm de riego + 178 mm de lluvia	1	Septiembre	38.61	4.21
152 mm de riego + 178 mm de lluvia	2	Septiembre y Noviembre	66.49	6.11
229 mm de riego + 178 mm de lluvia	3	Septiembre, Noviembre y Enero	97.60	9.09
305 mm de riego + 178 mm de lluvia	4	Septiembre, Noviembre, Enero y Marzo	106.68	10.57

Cuadro 49. Comparación entre producción de forraje y nutrientes digestibles (kg/ha) producidos por tres cultivos de forraje por unidad de agua recibida.

Temporada	Cactus sin espinas		Atriplex		Alfalfa	
	Producción de forraje	Nutrientes digestibles	Producción de forraje	Nutrientes digestibles	Producción de forraje	Nutrientes digestibles
1	161.6	100.4	578.3	235.6	247.5	137.0
2	3001.0	1746.3	944.8	397.2	367.4	208.4
3	3551.8	2081.0	1229.4	555.8	394.9	210.5
4	2169.1	1279.5	752.6	303.2	316.4	180.5
5	2220.9	1301.8	876.3	373.0	331.5	182.0

PRODUCCIÓN

En Sudáfrica hay tres especies de nopal sin espinas que se utilizan para la producción de forraje:

(ix) *O. robusta*, es muy vigorosa, con cladodios circulares de color verde azul y casi sin espinas. Fue introducido por primera vez a Sudáfrica en 1911 del programa de selección de Luther Burbank en California. Este tetraploide es tolerante al *Dactilopus opuntia* y no produce fruta apta para mercado por lo que se utiliza principalmente para forraje.

(x) *O. fuscicaulis* tiene cladodios delgados, verdes y lanceolados con un hábito de crecimiento vertical.

(xi) *O. ficus-indica* f. *inermis* posee cladodios verdes con forma oblonga y su hábito de crecimiento es compacto.

O. fuscicaulis y *O. ficus-indica* no pueden producir forraje y fruta simultáneamente, al menos que se utilicen los desechos de la poda. Las plantaciones de forraje se cosechan a los dos o tres años, antes de que produzcan fruta.

En Sudáfrica, *Opuntia* se propaga vegetativamente colocando las pencas en el suelo con tierra o una piedra encima, para mejorar su contacto con el suelo. Alternativamente, se pueden colocar plantas con un par de cladodios en un surco, procurando enterrar la parte mas baja con tierra de un surco adyacente. Las raíces se desarrollarán de las areolas en pocas semanas.

Las hileras se trazan siguiendo las líneas del contorno, abriendo surcos profundos mediante una subsoleador (ripper) y distribuyendo abono simultáneamente, que luego es cubierto con tierra, y la plantación de los cladodios se realiza encima. Este método es más caro, pero induce mayor crecimiento en los primeros 2 a 4 años, lo que promueve una mayor producción y más temprana. La distancia entre hileras es de 2 a 6 m de y a lo largo de ella se colocan los cladodios a 1-2 m, por lo que la densidad de la plantación puede variar de entre 850 a 5 000 plantas/ha. La mejor época de plantación en Sudáfrica es durante septiembre y octubre, para lo cual se usan cladodios de un año. Las plantas estarán bien establecidas antes de la primera helada del siguiente invierno.

La selección de un diseño de plantación depende del uso planeado. Para facilitar el movimiento dentro del huerto se recomiendan plantaciones densas (3,000 a 5,000 plantas/ha) y plantas de baja altura. En contraste, el sistema de corte y acarreo de cladodios para forraje, requiere de un espacio más amplio para permitir a un tractor y a un trailer coleccionar las pencas. En este caso, se prefiere un trazo de 1 x 6 m, que resulta en una densidad de plantación promedio de 1,666 plantas/ha.

MANEJO DEL CULTIVO

Bajo condiciones de buena precipitación, la producción puede variar desde 2 a 10 de MS/ha/año, si se cosecha cada 2 o 3 años, y puede incrementarse si se apoya con riegos adicionales (Cuadro 48) y controlando la maleza, así como el cultivo en contorno, que puede reducir los escurrimientos superficiales de agua de lluvia. El contenido proteico del forraje de *Opuntia* se puede incrementar, de 3,5 y 4,5 por ciento de proteína cruda a 8 a 10 por ciento, mediante la aplicación de fertilizante nitrogenado.

UTILIZACIÓN

Los cladodios frescos sin espinas contienen aproximadamente 90 por ciento de agua. El requerimiento energético para la supervivencia de una oveja de 35 kg es de aproximadamente 350 g de TDN por día, y para satisfacerlo necesita ingerir 538 g de cactus seco. Esto significa que el animal necesita consumir 5 a 6 kg de cactus fresco diariamente, pero la oveja solo puede comer un promedio de 4 kg diarios.

En el caso del ganado, se requieren 2,85 kg TDN por día para satisfacer los requerimientos nutritivos de una bestia de 400 kg de peso. Por lo que el animal requeriría de 4,4 kg de cactus seco para alcanzar sus requerimientos. Esto representa una ingestión diaria de 44 a 45 kg de cladodios frescos, pero el animal generalmente no consume mas de 40 kg de cactus al día.

Una de las razones por las que los animales (especialmente las ovejas) no consumen la cantidad requerida de cladodios frescos es su alto contenido de agua. Pero este factor puede ser valioso en tiempos de sequía, ya que esto hace posible mantener con vida a las ovejas hasta por 500 días sin tomar agua, si tienen libre acceso a cladodios frescos. El consumo de TDN puede incrementarse si se usan cladodios deshidratados para alimentar al ganado.

Las raciones de alimento con poco contenido proteico son ingeridas pobremente, por lo que las fuentes de alimento para ovejas y ganado no reproductivas deberá contener al menos 8 por ciento de proteína cruda.

Desafortunadamente, los cladodios de *Opuntia* son muy bajos en proteína cruda. Una oveja con un peso neto superior a 35 kg requiere mas de 50 g de proteína cruda al día, y la alimentación diaria con 500 g de material seco de cladodios contiene tan solo 50 g de proteína cruda al día, por lo que los cladodios deberán complementarse con algún tipo de proteína cruda. Asimismo, los cladodios son bajos en fósforo y sodio, lo que hace necesario un suministro adicional con estos elementos. En general, las cladodios de cactus no son un alimento balanceado sino una buena y barata fuente de energía y agua.

Pastoreo

La manera más fácil de utilizar el nopal es mediante pastoreo directo, que requiere de menor esfuerzo y es por ello más barata. Sin embargo, existe riesgo de sobreconsumo y de la destrucción de la plantación si no se realiza un control estricto de los animales durante el pastoreo. Por lo que se recomienda la rotación para realizar el pastoreo cada dos o tres años. Ya que las pencas reducen su valor alimenticio después del tercer año (Walters, 1951). Para un pastoreo eficiente, la plantación puede ser dividida en pequeñas parcelas que pueden utilizarse intensivamente por un período corto para evitar las pérdidas ocasionadas por el sobrepastoreo.

Trituración de cladodios

Esta labor puede incrementar la ingestión por parte de los animales y mejorar su asimilación. Para limitar su desperdicio, es preferible proporcionar el material triturado directamente en el pesebre.

Alimento

Los cladodios triturados de cactus pueden secarse sobre cualquier superficie apropiada, y después se muelen. De esta manera el alimento puede guardarse y alimentar a los animales durante las sequías, complementada con cladodios frescos para incrementar la ingestión de materia seca.

Ensilaje

Es posible hacer un buen ensilaje con cladodios al triturarlos con paja de avena, alfalfa de bajo grado o cualquier otro forraje, empleando 84 partes de la masa de cladodios con 16 partes de forraje, complementados con melaza. Cuando se usan cladodios con fruta en el ensilaje, la adición de melaza no es necesaria, y el ensilaje se realiza de la manera convencional.

La fruta de la *Opuntia* y sus cladodios, aun los tipos con espinas, pueden ensilarse con heno de baja calidad, y luego suplementados con distintas fuentes de proteína (semilla de algodón o girasol, y urea) y mineral de fósforo y sodio (hueso o sal). Con lo que se puede mantener la producción de lácteos en áreas rurales áridas y semiáridas durante períodos de sequía.

Alimentación suplementaria

En una emergencia, cuando solamente los cladodios están disponibles, las ovejas y el ganado sobrevivirán por muchos meses.

Sin embargo, para realizar un uso más eficiente de los cladodios, es necesario complementar la alimentación animal con otras fuentes. Debido a que la proteína es la deficiencia más importante en el nopal, deberá suplementarse con un alimento rico en proteína, además de un tercio de harina de huesos, un tercio de sal común y un tercio de urea. Otra posibilidad es una ración que consista de cladodios y 6.5 por ciento de pescado, con lo cual se atenderán los requerimientos nutritivos de las ovejas.

El complemento más apropiado para alimentar con cladodios es la alfalfa, y se recomienda agregar 100 g de alfalfa en el verano y 200 g en el invierno. Pero cualquier otra leguminosa con un contenido razonablemente alto de proteína podría ser usado en lugar de la alfalfa. Los cladodios de nopal son un suplemento excelente y succulento en el pastizal seco del Karoo (arbusto, con alto contenido de proteína), o en pastizal seco durante el invierno, que es un suplemento rico en proteína.

ACCIÓN LAXANTE

Un problema experimentado cuando los cladodios de cactus son dados como alimento de cualquier forma a las ovejas y ganado es su severa acción laxante. Esto no se considera un síntoma de enfermedad y no tiene efectos negativos en la salud del animal. Es más bien el resultado de su paso rápido por el sistema digestivo del animal. El problema puede ser detenido mediante:

- Alimentación con forraje que contenga cal (aproximadamente el 3 por ciento de la ingesta total), para contrarrestar la acidez derivada del metabolismo del ácido crasuceláico de la planta.
- Limitar el acceso de los animales al agua potable.
- Combinar los cladodios con heno, ya que esto retarda el efecto laxante. El heno de alfalfa es considerado un suplemento excepcional en cualquier forma.

^[11] Gerhard C. DE KOCK Consultor y Agrónomo especialista en Zonas Áridas P.O. box 415 Middleburg 5900 Sudáfrica

El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico

CANDELARIO MONDRAGÓN JACOBO, SANTIAGO DE J. MÉNDEZ GALLEGOS Y GENARO OLMOS OROPEZA^[12]

INTRODUCCIÓN

El nopal es cultivado para producción de fruta en Chile, Italia, México, EUA y existe interés por cultivarlo en muchos otros países. Su principal ventaja fisiológica es la alta eficiencia de uso del agua, que alcanza valores de 1 kg MS por cada 162 kg de agua en *O. ellisiana* (Han y Felker, 1997). Sin embargo, la adopción para producción de fruta en países sin tradición de consumo o acceso a mercados de exportación es lenta y difícil. La experiencia de Brasil ha demostrado que la utilización de *Opuntia* como forraje es más sencilla de integrar en los sistemas agrícolas de las regiones semiáridas, donde su cultivo para forraje data de principios del XX y en la actualidad existen más de 300 000 ha plantadas (Russell, 1990), aunque no se ha reportado uso apreciable de los frutos.

Las plantaciones de *Opuntia* para la producción especializada de forraje en México no son comunes, debido a que las poblaciones silvestres actúan como reservas naturales de forraje para el ganado. Sin embargo, estos sitios se encuentran en riesgo debido al uso excesivo y daños por heladas severas observados en la última década. Las plantaciones de *Opuntia* para producir forraje podrían reducir la presión sobre las poblaciones silvestres, a la vez que mejorarían la rentabilidad de la producción de leche y carne.

Opuntia se adapta a una gran variedad de condiciones de cultivo, pero la productividad en su hábitat natural es limitada por la sequía y la mala calidad de los suelos. Según Acevedo et al., (1983) en Chile bajo condiciones de regadío el rendimiento fue de 1,3 kg MS/ m²/año, incluyendo 0,3 kg MS/m²/año de fruta. Asumiendo un contenido de agua de 90 por ciento, el rendimiento de cladodios en fresco aptos para consumo animal alcanza 100 ton/ha/año. Los modelos de simulación indican que la productividad puede incrementarse 40 por ciento si se modifica el diseño de la plantación (García de Cortazar y Nobel, 1986).

En este capítulo, se revisan algunas de las bases fisiológicas de la producción de forraje y se discuten tres sistemas de producción que difieren en intensidad de cultivo:

- i) producción extensiva, en plantaciones de bajo costo enfocadas a la reforestación y la reducción de efectos la desertificación
- ii) huertos pequeños, con manejo intensivo, que demandan alta inversión de insumos y mano de obra
- iii) producción en hidroponía

Estos sistemas han sido estudiados en México para cultivar *Opuntia* en condiciones de temporal o con acceso limitado al agua de riego, en la producción de forraje, fruta o como verdura. En el caso de producción de verdura, el sistema ha sido

adaptado para producir cladodios maduros para forraje. Esta información puede ser aplicable con modificaciones menores a otras regiones semiáridas del mundo donde *Opuntia* representa una opción.

FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE *OPUNTIA*

El cladodio como almacén de agua

Anatómicamente, el nopal es una planta de tallo suculento articulado, con cladodios que difieren en contenido de humedad de acuerdo a la edad. Los cladodios jóvenes presentan el mayor contenido de agua, con valores promedio de 90,8 por ciento, el cual se reduce a 89,1 por ciento y 83,4 por ciento en cladodios maduros y en cladodios viejos, respectivamente, (Flores *et al.*, 1995). El contenido de minerales muestra una tendencia similar respecto a N, P, K, Mn, Zn y Na, pero en el caso del Mg el contenido se incrementa con la edad en cladodios de *O. amychlaea* Tenore (López *et al.*, 1988). Los cladodios jóvenes son más atractivos al consumo debido al bajo contenido de fibra.

La forma del cladodio ha evolucionado para almacenar la mayor cantidad de agua con un mínimo de pérdidas (Nobel, 1994). Una sección transversal de este órgano muestra que el tejido central es esponjoso, con células grandes, y diseñadas para el almacenamiento de agua. Durante los períodos de sequía, el agua se pierde a través de estas células, en lugar de las células del clorénquima que responsables de la fotosíntesis (Nerd y Nobel, 1986). *Opuntia* posee el mecanismo fotosintético MAC (Mecanismo del Acido Crasuláceo), el cual se asocia con características específicas de ahorro de agua durante la fotosíntesis, incluyendo entre otras, la apertura nocturna de los estomas (Gibson y Nobel, 1986).

Duración de la estación de crecimiento

Sin importar la época de plantación –inicio de primavera o final del otoño- el nopal produce al menos un grupo de nuevos cladodios ubicados en capas o “pisos”. El régimen de precipitación común en las zonas semiáridas de la región central de México, con 300 a 450 mm de lluvia anual, induce la formación de un piso de cladodios nuevos al inicio de la primavera, el cual continúa creciendo hasta el final del verano. Si la disponibilidad de humedad y nutrientes son adecuada y se combinan con altas temperaturas, se puede observar la formación de hasta tres pisos por temporada, tal como lo reportó Méndez *et al.*, (1999) en el cultivo hidropónico de variedades de nopal sin espinas.

Si la planta no es perturbada, estos cladodios madurarán al final de la estación de crecimiento. Las temperaturas bajas de otoño e invierno inducen letargo o dormancia. Durante el invierno el nopal pierde humedad como consecuencia de la transpiración, y es usado ventajosamente como forraje. Los cladodios pueden ser dejados en la planta o consumidos directamente por los animales, o cosechados y almacenados para uso posterior. La fibra y el contenido de materia seca incrementan con la edad, sin embargo si son desespinados y picados adecuadamente se pueden usar hasta los de tres años de edad en la alimentación de ganado.

Propagación

La unidad básica meristemática de las *Opuntia* (y de las cactáceas en general) es la areola (Gibson y Nobel, 1986). Las areolas están ubicadas de manera helicoidal en el cladodio (Sudzuki, 1995) y pueden originar ramas, flores (Boke, 1980) o raíces. Los cladodios inician el proceso de enraizamiento poco después de que entran en contacto con el suelo. La humedad del suelo es importante –pero no limitante- para el enraizamiento, debido a que las raicillas utilizan el agua almacenada en el cladodio.

Si los cladodios son desprendidos de la planta madre, la zona de corte cicatriza y se suberiza, sellando los sitios de pérdida de humedad adicional. La liberación inmediata de mucílago por los tejidos heridos mejora y acelera la cicatrización. Una vez que se suberiza, cada pieza puede actuar como un propágulo independiente. El agua almacenada cubrirá las necesidades de transpiración, la formación de nuevas raíces y de brotes si se coloca en el suelo. El cladodio puede sostener la pérdida de agua por un largo tiempo: hasta seis meses sin perder viabilidad si se le almacena en un sitio sombreado y seco.

De acuerdo con Nobel y Castañeda, (1998), los cladodios sin raíces de *O. ficus-indica* permanecen vivos hasta por 12 meses. Esta característica es particularmente útil para la alimentación animal, ya que los cladodios de nopal pueden suplir y substituir parcialmente las necesidades de agua del ganado por un largo tiempo. Cualquier otra fuente tradicional de forraje disponible durante la estación seca (paja de cereales, maíz, sorgo o mijo) es almacenada seca, requiriendo agua adicional para ser ingerida. El consumo de 40 kg de *Opuntia* por día provee al ganado de 35 litros de agua (al 85 por ciento de humedad), Felker *et al.*, (1977).

El crecimiento de brotes nuevos de cladodios de *O. ficus-indica* mantenidos sin raíces en invernadero, fue mayor cuando los cladodios eran separados de la planta madre en invierno (Nobel y Castañeda, 1988). La respuesta al corte es muy rápida y permite al cladodio establecer rápidamente una relación con el suelo. El estímulo para la división y diferenciación de células ocurre dentro de las primeras 48 horas y la emergencia de primordios de raíces ocurre en tiempo tan breve como dos semanas.

El tamaño del cladodio no afecta la capacidad de formar raíces (Mondragón y Pimienta, 1995), pero si esta correlacionado con el número y tamaño de los nuevos brotes. Luo y Nobel, (1993) encontraron que bajo condiciones de invernadero, el crecimiento de nuevos cladodios esta marcadamente influenciado por el peso seco de los cladodios basales, los cuales actúan como fuente de carbono de los nuevos brotes. Un cladodio completo puede producir un piso de nuevos cladodios por año, dependiendo del cultivar y la humedad del suelo durante la estación de crecimiento. Siempre y cuando exista una areola por ambos lados de la fracción de penca, se puede formar una planta, y el primer piso puede tener de 2 a 6 cladodios.

El establecimiento puede mejorarse y el período antes de la primera cosecha reducirse plantando ramas con más de un cladodio en lugar de pencas individuales. Sin embargo los costos de manejo y transporte se incrementan proporcionalmente. Esta es una alternativa razonable en áreas donde el cultivo de *Opuntia* es tradicional, y la disponibilidad de material vegetativo no es limitante. En este caso es recomendable la selección de ramas con dos o más pisos.

La plantación nueva puede hacerse aun si no se cuenta con humedad en el suelo, ya sea con cladodios completos o fracciones de acuerdo a la disponibilidad. Esta es una ventaja en plantaciones extensivas, de bajo mantenimiento, sobre otras especies de árboles y arbustos usadas con fines de control de la desertificación (e.g. *Eucalyptus* sp., *Casuarina* spp. y *Atriplex* spp.) las cuales necesitan humedad en el suelo al momento de la plantación para su establecimiento exitoso.

La suculencia del propágulo es una desventaja cuando se establecen grandes plantaciones debido a su peso, comparada con el uso de esquejes o estacas de otras especies (Fabri et al., 1996).

Respuesta a la poda

El nopal soporta podas fuertes y continuas. En localidades libres de heladas, la poda puede ser efectuada en cualquier época. Los huertos dedicados a la producción de fruta son podados después de cosechar, al final de la estación de crecimiento. La emergencia de yemas es mayor si la poda se efectúa durante la estación de crecimiento. En la mayoría de los cultivares, la brotación vegetativa supera a la reproductiva. La planta puede ser mantenida en estado juvenil por tiempo indefinido con poda continua, esta práctica es básica en la utilización de nopal como verdura.

Si no se podan, los cladodios continúan creciendo hasta el otoño, diferenciando flores al inicio de la primavera siguiente. El desarrollo de yemas florales es observado principalmente en cladodios maduros de al menos seis meses de edad (Pimienta, 1990).

Independientemente del sistema de producción, las plantas pueden ser podadas hasta el cladodio basal si es necesario. Sin embargo la intensidad de poda debe de ser ajustada tomando en cuenta la velocidad de recuperación, productividad futura de la planta y la calidad del forraje. La eficiencia de utilización animal de los desechos de poda de diferente edad y calidad debe de ser balanceada con las necesidades de forraje.

El número de yemas disponible para formar nuevos cladodios depende del número de cladodios de la planta. Los sistemas de producción que mantienen las plantas a corta altura y a bajas densidades son más productivos (sobre la base de rendimiento por planta), que las plantaciones a alta densidad con plantas bajas. Las altas densidades de plantación toleran poda más severa.

En sitios con inviernos benignos, las plantas pueden ser inducidas a brotar continuamente si se provee de alguna protección, además de fertilización y riego. Esta característica es la base de la producción de nopal de verdura fuera de temporada en la región central de México y el sur de Texas. La aplicación de altas dosis de estiércol al suelo y la poda son los responsables de la alta producción observada en Milpa Alta, México, la cual puede alcanzar 400 ton/ha/año (Nobel, 1994). La producción de cladodios en general, ya sea tiernos o maduros, puede ser estrechamente regulada con la poda.

El cultivo de *Opuntia* para forraje necesita una programación cuidadosa de la poda. Los cladodios "almacenados" en la planta conservan un contenido de agua mas alto que los cosechados, reduciendo las necesidades de almacenamiento y mano de obra. Sin embargo, es recomendable removerlos antes de que empiece la nueva estación de crecimiento, para evitar la emergencia de brotes nuevos.

Respuesta a los fertilizantes

Los cactus en general presentan baja productividad debido en parte las limitaciones impuestas por el medio donde crecen. Las *opuntias* silvestres son usualmente encontradas en suelos pobres, con bajo contenido de materia orgánica, en regiones donde la duración del período de crecimiento no permite la expresión de su potencial productivo.

Experimentos de fertilización conducidos en México y otros países (Mondragón, 1994; Karim *et al.*, 1996) mostraron que la fertilización promovió altos rendimientos de frutos y cladodios. La combinación de estiércoles y fertilizantes sintéticos dio los mejores resultados en huertos para fruta. La reactivación de las yemas y el incremento de tamaño de los cladodios son los

efectos inmediatos de la fertilización, que pueden ser ventajosamente manipulados para la producción de forraje. Las altas aplicaciones de N (0 a 160 kg/ha) incrementaron el número de nuevos cladodios en *O. engelmannii* en Texas y los cladodios individuales fueron ligeramente más gruesos, registrando hasta 12 por ciento más de peso seco por cladodio en el nivel alto de N (Nobel *et al.*, 1987).

La fertilización incrementa el rendimiento y el contenido de nutrientes, de acuerdo con González (1989) *O. lindheimeri* (Engelm) fertilizada en primavera durante tres años consecutivos mostró incremento en el contenido de proteína de 3,1, 4,2, y 4,4 por ciento en respuesta a la aplicación de 67, 135 y 224 kg de N/ha, respectivamente.

Respuesta a altas densidades de plantación

La alta competencia entre plantas reduce la capacidad reproductiva de *Opuntia*, y se asocia con una juvenilidad prolongada, y la generación de nuevos cladodios, el cual es el objetivo en la producción de forraje. Este efecto se multiplica en el sistema de producción en camas, el cual permite un espacio mínimo a cada planta. La base de la alta producción de las plantaciones a altas densidades es la producción total de biomasa, aunque el rendimiento por planta pueda ser bajo. En contraste, la plantación en hileras a densidades relativamente bajas permite obtener mayores rendimientos por planta y facilita la mecanización.

Opuntia es afectada negativamente por el sombreo en cualquier etapa del crecimiento. El grosor de los cladodios y la arquitectura de la planta tienden a reducir la eficiencia fotosintética. Según García de Cortázar y Nobel (1986), el factor limitante más importante en las altas densidades es la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), de acuerdo a modelos de simulación validados con datos de campo en plantaciones irrigadas en Chile. Se observó que la temperatura y la humedad del suelo fueron de importancia secundaria para la productividad de la planta. El incremento del índice de área de cladodio (IAC) por unidad de superficie hasta 4,0 en plantas de 5 "pisos" de altura, aumentó el rendimiento hasta un 40 por ciento. Pero la orientación inicial de los cladodios no tuvo efecto significativo.

Las plantaciones para producción de nopal de verdura en Milpa Alta se realizan en hileras, manteniendo la planta en una forma arbustiva compacta de baja altura (1,5 m), a densidades de 31 000 plantas/ha (hilera sencilla a 80 x 40 cm). Un arreglo similar se usa en Brasil para el cultivo de nopal forrajero. La Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuaria (s.f.) recomienda dos métodos de plantación; 100 x 25 cm (40 000 plantas /ha), el cual es más intensivo que el método de plantación tradicional usando hileras a 2 m y 1 m entre plantas. Los rendimientos reportados al segundo año de plantación son 246 ton/ha en la plantación a alta densidad y 100 ton/ha en el caso de la plantación a baja densidad. Ambos sistemas son suplementados con fertilizantes y abono animal y apoyan el uso de sistemas de plantación de alta densidad en Brasil.

CULTIVO EXTENSIVO DE OPUNTIA EN PROGRAMAS ECOLÓGICOS

El nopal ha sido la planta favorita de programas de orientación socio-ecológica en el Norte de México. La plantación extensiva de nopal ha sido usada por el gobierno como una estrategia de empleo en zonas semiáridas, justificadas por el impacto ecológico potencial en áreas donde se abusó de las poblaciones naturales de *Opuntia*. La extensión de las áreas devastadas fue remarcada por López *et al.*, (1997), al indicar que en los setentas se colectaba nopal de sitios localizados dentro de un radio de 20 km alrededor de las ciudades, mientras que en los noventas esta distancia se había incrementado a más de 120 km.

Flores y Aranda (1997) reportaron que existían 3 millones de ha donde *Opuntia* crecía de manera dispersa en el Norte de México, mientras que los rancheros habían plantado otras 150 000 con apoyo del gobierno para incrementar la disponibilidad de forraje y proveer refugio a la fauna local y combatir la desertificación. Los sitios de plantación fueron áreas ocupadas previamente por poblaciones silvestres. Los intentos por introducir genotipos selectos no tuvieron éxito, así que se prefirió a los nativos. La introducción de selecciones tolerantes a sequía ha sido reportada por Borrego *et al.*, (1990). La plantación extensiva de la especie silvestre *O. engelmannii* Salm-Dick y *O. rastrera* fue reportada por Medina *et al.*, (1987).

El manejo del suelo y del cultivo se mantiene al mínimo y se prefieren terrenos planos, sin eliminar la vegetación inicial. El nopal es plantado en surcos a nivel, preparados con tractor. Una vez que se establece el nopal –después de 2 a tres años– la vegetación indeseable es removida y se siembran pastos.

REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA PLANTACIONES EXTENSIVAS

La plantación extensiva de nopal (1 000 ha) debería seguir criterios similares a los usados en plantaciones comerciales pequeñas. Sin embargo, debido a las limitaciones de los criterios usados en los proyectos de conservación y recuperación, usualmente se observa plantación deficiente e ignorancia de principios hortícolas básicos. Algunos de los puntos a considerar se mencionan a continuación.

Selección del sitio

Aun cuando es imperativo recuperar todas las áreas afectadas por la desertificación, los nuevos proyectos deberían de dirigirse a las zonas menos afectadas y moverse gradualmente a los espacios más problemáticos. Esta estrategia permite a los usuarios obtener resultados más rápidos, y los costos de la recuperación se reducen.

Seleccionar sitios con el menor número de restricciones para la implementación de técnicas simples de colección de agua de lluvia y conservación de suelo, la preparación de suelos con pendientes ligera (<4 por ciento) puede ser realizada con maquinaria agrícola convencional. Los surcos en contorno es la técnica más simple y barata, y puede mejorarse al trazar surcos cerca de la hilera de plantación de modo que el agua colectada beneficie al nopal.

El nopal es una planta perenne, y necesita cuidado para obtener rápidamente rendimiento sostenible de frutas o cladodios. Los proyectos de nopal deben de considerar un período mínimo de tres años para evaluar la adaptación de genotipos y la producción de forraje. La duración mínima debe ajustarse a las condiciones climáticas locales, principalmente a las características del período de lluvias.

Protección del sitio

Durante el período de establecimiento (1-2 años) el nopal requiere protección contra herbívoros, y el consumo controlado por el ganado no debería comenzar después de este período. La protección del sitio es requerida para evitar el consumo excesivo y la destrucción de las plantas.

Material vegetativo

Se preferirá a las especies nativas. Las especies que se han usado extensivamente representan un recurso que está desapareciendo y requieren acciones de recuperación. ¡Su aceptación como forraje ha sido probada por el abuso! Las plantas adultas que han sobrevivido a heladas o sequías inusuales deben de ser multiplicadas y reintroducidas. Las especies espinosas son mas tolerantes al consumo por roedores.

Recolección de material vegetativo de poblaciones silvestres

Aun bajo condiciones limitantes existen áreas en las cuales las condiciones de humedad y suelo son mejores, los hormigueros abandonados y las madrigueras de roedores, mejoran las condiciones del suelo y proveen mejores condiciones para el crecimiento del nopal. Promoviendo la producción de cladodios vigorosos. Estos lugares son los mejores sitios para recolectar material vegetativo. El acondicionamiento previo (deshidratación) puede obviarse si se planta en suelo seco.

Técnicas de plantación

El uso de dos cladodios por planta incremento el éxito de la plantación al 95 por ciento en un experimento conducido en Coahuila, México, usando *O. rastrera* y *O. lindheimeri* (Torres *et al.*, 1990). La construcción manual de microcuencas individuales alrededor de la planta mejoró la utilización de la escasa lluvia disponible en la región (precipitación media anual 327 mm).

Fertilización

La aplicación de fertilizantes químicos debe ser realizada únicamente en aquellos años con lluvia superior al promedio. La utilización de estiércoles de fuentes locales es la mejor opción debido a que poseen efecto residual. La dosis de estiércol depende básicamente de la disponibilidad local, en nopal se han registrado respuestas a dosis superiores a 200 ton/ha cada dos años en la región de Milpa Alta.

Utilización

Se sugiere el uso rotacional, controlando la cosecha de acuerdo a la productividad del sitio, evitar los métodos que conducen a la destrucción total de la planta, tales como el chamuscado en pie y el desenraizado. La recuperación de las plantas es más rápida cuando se deja un mayor número de cladodios.

CULTIVO INTENSIVO DE NOPAL PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE

Algunas de las técnicas disponibles para la producción de nopalitas pueden ser adaptadas a los sistemas de producción de forraje. El nopal es una planta que tolera competencia y poda fuerte. La parte aérea completa puede ser usada como forraje si es necesario. También muestra respuesta notable a la fertilización. La manipulación con alta densidad y la nutrición adecuada de la planta permite altos rendimientos de cladodios frescos. El sistema de plantación en camas aprovecha estas características. Este sistema fue propuesto para usarse en predios pequeños (< 0,5 ha) en los solares de las casas o

cercano a las poblaciones. Estos sitios son usualmente más productivos que el campo abierto (atribuible a la acumulación de desechos orgánicos domésticos), en muchos lugares también hay acceso a irrigación. Ambos factores mejoran la productividad de la planta y el mantenimiento del huerto puede ser cubierto por la mano de obra familiar.

El sistema puede producir cladodios tiernos (ventajoso donde hay tradición de consumo) y/o cladodios maduros para forraje. La producción es mas alta durante el verano (la estación de lluvias en México). El período productivo se puede prolongar si se planta en lugares libres de heladas o se provee de protección contra ellas.

Selección del sitio de plantación

Los sitios más convenientes son los solares de las casas o lo más cercano que se pueda a ellas, esto facilita el cuidado y la protección continuas. Si la plantación se ubica en campo abierto, selecciónese el de mas acceso más fácil. Los cladodios frescos de *Opuntia* son pesados, por lo tanto es necesario asegurar acceso a caminos transitables todo el año. El sitio debe ser plano preferentemente, pero pendientes hasta el 3 por ciento pueden ser manejadas con practicas simples de conservación de suelo y agua, tales como los surcos en contorno sin incrementar significativamente el costo de la preparación del sitio.

Preparación del suelo

Eliminar hierbas y arbustos perennes. Preparar el suelo para facilitar la preparación de la cama. Dependiendo del tipo de suelo, es recomendable el barbecho y la cruza y la eliminación de las depresiones del terreno con la nivelación. La nivelación mejora la distribución del agua, ayudando a un crecimiento uniforme.

El manejo del agua de lluvia es un factor importante para el crecimiento efectivo de las plantas. Existen técnicas simples que han sido probadas con éxito, con el objetivo de reducir la escorrentía y coleccionar el agua in situ, para permitir la infiltración y extender la disponibilidad de humedad para el cultivo. La lluvia puede ser coleccionada si el sitio se barbecha con anticipación. Después de plantar, los pasillos que separan las camas pueden ser "contreados" con un bordo a cada 2-3 m para que el agua se distribuya uniformemente.

Variedades

Las variedades sin espinas son preferidas para la producción de forraje en este sistema debido a su facilidad de manejo y proceso. Estas también presenta menos problemas cuando se suministran a los animales. En México, los cultivares Pabellón y CPF1 son las mas aceptadas. Ambas son altamente productivas y poseen cladodios grandes prácticamente sin espinas. Pabellón presenta cladodios ovoides, gruesos de color verde oscuro, y la planta produce deliciosos frutos rojos. CPF1 produce cladodios largos y delgados color verde claro, aceptables para el consumo humano cuando son tiernos. Los frutos de este cultivar son verdes claro, de cáscara delgada ligeramente rosada. En condiciones de temporal produce al menos un piso de cladodios.

El riego y la fertilización pueden inducir la formación de mas de un flujo de cladodios por estación e incrementar el rendimiento. En condiciones de temporal se han reportado rendimientos de pencas maduras de 75 y 118 ton/ha/año para CPF1 y Pabellón, respectivamente.

Material vegetativo

El material para plantación debe provenir de plantas robustas, productivas y sanas. Los cladodios son coleccionados al final de la estación de crecimiento y sujetos a deshidratación ligera para inducir suberización de la base del cladodio. Colecte cladodios de tamaño medio a grande, libres de manchas oscuras sospechosas o decoloraciones. Después de coleccionados, se almacenan en un lugar seco y sombreado por dos semanas. También se pueden usar fracciones de cladodio cuando el material de plantación es escaso, pero entre más pequeñas sean las porciones, el tiempo para que los brotes alcancen tamaño normal será mas largo. La porción más pequeña debe tener al menos una areola en cada cara del cladodio.

Para reducir las pudriciones, las pencas pueden ser tratadas con caldo bordelés preparado el mismo día de la colecta. La mezcla consiste en 1 kg de sulfato de cobre en 5 litros de agua caliente, hasta que se disuelva, y luego agregar 1 kg de cal y agitar hasta que la mezcla sea homogénea, entonces se diluye con agua adicional hasta completar 100 litros (mezcla suficiente para tratar hasta 2000 pencas).

Diseño de la plantación

El sistema de camas permite alta densidad de plantación y altos rendimientos por unidad de área. Existen varias opciones, de acuerdo a la maquinaria disponible. De acuerdo a la experiencia de los autores, las dimensiones mas adecuadas para la cama son 150 cm en la base y 120 cm en la parte superior, la longitud se ajusta de acuerdo a las necesidades. Las camas son construidas usando un tractor pequeño (120 HP) ó con tracción animal. En la parte superior de la cama se colocan 3 o

4 hileras de pencas con una separación de 30 cm entre hileras y 40 cm entre pencas sobre la hilera. Se eliminan todos los brotes que hayan emergido durante el almacenamiento ya sean vegetativos o de raíces, ya que por lo general crecen deformes y pueden interferir con las operaciones de plantación. Las pencas se entierran hasta la mitad en el suelo de cama. Usando este arreglo se necesitan 20 pencas por cada 2 m de cama.

Época de plantación

Los brotes tiernos emergen a las 2-3 semanas de la plantación y son muy susceptibles al daño por heladas. Por lo tanto la plantación debe de hacerse después de que pase el riesgo de bajas temperaturas. La temperatura mínima segura para la mayoría de los cultivares es de 5 °C.

Fertilización

Para asegurar altos rendimientos es conveniente la aplicación de abono animal antes de la plantación. El estiércol puede ser esparcido y enterrado con la labranza antes de la plantación.

Los mejores resultados se obtienen combinando estiércoles con fertilizantes químicos, los cuales representan una fuente de nutrientes rápidamente disponibles, mientras que la liberación de nutrientes del estiércol es lenta pero de larga duración. Se sugiere un mínimo de 20 ton/ha de estiércol vacuno cada dos años, complementado con la fórmula 90-40 (kilos de N-P₂O₅) aplicada cada año. La cantidad de fertilizante a aplicar dependerá del producto utilizado. Los fertilizantes químicos son aplicados durante la estación de lluvias, proveyendo la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la primera aplicación y el resto del N 45 días después. Los productos son aplicados entre las hileras cubriéndolos ligeramente con tierra (Mondragón, 1990).

Control de maleza

Una vez plantado el nopal puede servir como planta nodriza para muchas especies de maleza, de manera que los deshierbes periódicos son una parte esencial del manejo del cultivo. Por lo que es necesario mantener la plantación libre de maleza perenne. El control entre las camas puede ser hecho a mano o con herbicidas. Felker, (1988) reportó el uso de glifosato a una dosis de 20 g/l de la fórmula comercial (Roundup) usado en aspersión post-emergente para controlar el pasto Johnson (*Sorghum halepense*) y pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*).

Manejo de plagas y enfermedades

Los insectos y patógenos que se crecen dentro de los cladodios son los más destructivos y difíciles de controlar. Sin embargo, la poda selectiva puede ayudar a mantener la plantación sana. Algunos problemas de pudriciones pueden ser también solucionados con la poda. Las plagas que viven en la superficie de los cladodios, tales como los trips y las chinches, pueden ser controladas con insecticidas de contacto. Se ha obtenido control efectivo con aspersiones de dithiocarbamato a una dosis de 1 kg/200 l de agua.

Cosecha

Las pencas maduras pueden ser colectadas al final de la estación de crecimiento. Se separan de un solo corte en la base de la penca de la planta usando un cuchillo afilado, evitando hacer cortes innecesarios en la planta o la penca para reducir el riesgo de pudriciones. El número de cladodios que pueden ser cosechados varía con el cultivar y la edad de la planta. Durante el primer año, se pueden colectar de 2 a 4 pencas por planta. Con la finalidad de obtener rendimientos estables, las plantas se dejan con solo dos pencas (orejas de conejo) orientadas en dirección de la hilera de plantación. Los cladodios también pueden ser consumidos directamente de la planta, pero el consumo incontrolado puede dañar a la planta. Es más eficiente colectar las pencas y almacenarlas cerca del lugar de consumo hasta que se vayan a utilizar.

Almacenamiento

Las pencas frescas deben ser almacenadas en un lugar seco y sombreado. Se pueden amontonar o alinear sobre los costados. Evite sitios donde se acumule la escorrentía para minimizar el enraizamiento o la brotación. Las pencas que se encuentran en contacto directo con el suelo tienden a enraizar, lo cual se puede evitar volteándolas cada 4 a 6 semanas. El uso de una capa delgada de paja reduce los daños causados por la luz. La luz solar directa induce deformaciones de la penca y degradación de la clorofila de las áreas expuestas, reduciendo el valor nutricional. Bajo las condiciones semiáridas frescas del centro de México, los autores han almacenado pencas hasta por seis meses sin pérdidas apreciables.

CULTIVO DE NOPAL EN HIDROPONÍA

Aunque el agua se considera un recurso renovable en algunas áreas el crecimiento poblacional y la consecuente urbanización están cambiando este concepto. Las iniciativas para mejorar el uso del agua en zonas urbanas y agrícolas son cada vez más importantes. La hidroponía es quizá la última frontera en la producción de nopal forrajero; puede ser adaptada a zonas áridas donde la disponibilidad de agua es restringida donde hay mucha presión sobre los pastizales. La hidroponía puede también mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes.

Los módulos hidropónicos pueden permitir el uso eficiente de volúmenes limitados de agua para producir alimentos o forrajes, mejorando el ingreso rural. Algunos sistemas son relativamente fáciles de operar y pueden ser adoptados rápidamente. El tamaño de la instalación hidropónica puede ser ajustado a las demás operaciones agrícolas de modo que los agricultores las consideren como de ocupación de tiempo parcial y como una estrategia de autoempleo.

En México, algunos de los productores más tradicionales son desconfiados del uso de la hidroponía, aunque los módulos para producir hortalizas de exportación se están poniendo de moda en el centro y noroeste de México.

Los módulos hidropónicos en pequeña escala son de especial relevancia para las zonas áridas y semiáridas, donde la producción agrícola es limitada por la escasez de agua. En muchas de estas áreas, existen norías, pozos artesianos y fuentes estacionales de agua que pueden proveer volúmenes suficientes para irrigar huertos de nopal, caracterizadas por su alta eficiencia de uso del agua y productividad. Opuntia puede producir hasta 47 ton/ha/año en plantaciones a campo abierto de alta densidad y con irrigación, lo cual es mayor que las plantas C₃ y algunas plantas C₄ (Nobel, 1988).

Ensayos exploratorios conducidos en la región central de México mostraron que la hidroponía puede jugar un papel importante en la producción de forraje en climas extremos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA HIDROPONÍA

La palabra hidroponía significa literalmente “trabajos de agua” e incluye todos los métodos y sistemas para cultivar plantas sin suelo (Steiner, 1977; Douglas, 1985). De acuerdo con Durany, (1982), los sistemas hidropónicos más comunes son:

i) Cultivo en medio líquido. En este sistema las plantas tienen sus raíces inmersas en la solución nutritiva y el tipo de soporte depende del cultivo.

ii) Cultivo en sustrato sólido, inerte y poroso. En este caso la planta se ancla al sustrato y adquiere los nutrientes por precolación.

La sub-irrigación pertenece al segundo tipo; la solución nutritiva es provista y drenada a través de la misma entrada (Steiner, 1977). El sistema es “cerrado” y recicla la solución nutritiva cada dos a seis semanas (Resh, 1987). Se han desarrollado numerosas variantes de este tipo incorporando los últimos avances tecnológicos.

La hidroponía promueve el uso eficiente del agua y los nutrientes. Comparada con la agricultura tradicional, usa solamente una fracción insignificante de agua. La hidroponía permite también el uso de aguas de baja calidad, ya sea moderadamente salina o alcalina. Algunas desventajas son: alto uso de energía (gas, gasolina, aceite y electricidad) e inversión inicial. Se necesita un análisis básico inicial de la calidad del agua y entrenamiento para preparar y mantener las soluciones nutritivas. Asimismo, la disponibilidad de instrumentos para determinar el pH y la conductividad eléctrica, deben ser considerada.

La hidroponía asegura un mejor establecimiento de las plantas, permitiendo altas densidades, y provee alguna protección contra factores climáticos limitantes, como la sequía y las heladas ligeras. Las plantas bien nutridas toleran mejor las bajas temperaturas y se recuperan más rápido del daño por heladas.

EL SISTEMA

Se utilizó sub-irrigación con lava como medio de crecimiento y se incluyó:

i) Tanque para almacenar la solución nutritiva.

ii) Bancales de plantación. De forma rectangular y arreglados en cinco pares, cubriendo 18 m² cada uno (15 x1,2) y 30 cm de profundidad.

iii) Medio de crecimiento. Grava volcánica roja, de granulometría entre 5 y 20 mm. La grava, lava triturada, grava de basalto, porosa o no porosa o cualquier otro medio rocoso inorgánico pueden ser también usados.

iv) Tanques de distribución. Construidos de mortero y tabiques, distribuyen y drenan la solución nutritiva.

v) Red hidráulica. Una bomba de gasolina (4 HP) provee la fuerza y es conectada a una red de tubos de PVC de 50 mm.

Tabla 50. Solución nutritiva estándar utilizada en el trabajo.

Fuente	Cantidad, g/ m ³ de agua	Nutrimiento
Nitrato de potasio	150 – 250	N
Ácido fosfórico	40	P
Nitrato de potasio	289.4 – 350	K
Nitrato de calcio	210	Ca
Sulfato de magnesio	40	Mg
Sulfato ferroso	12	Fe
Sulfato de cobre	0.1	Cu
Sulfato de zinc	0.2	Zn
Ácido bórico	0.6	B

La solución nutritiva es preparada en base a productos comerciales (Tabla 50). Se pueden usar dos métodos de preparación: soluciones madre o mezcla seca de fertilizantes comerciales. En ambos métodos, los fertilizantes de baja solubilidad son disueltos con anticipación y luego agregados a la solución. Después son agregados los productos de reacción ácida, enseguida se adicionan los micronutrientes.

El pH es mantenido alrededor de 6,5 agregando ácido fosfórico o nítrico, de acuerdo a los valores registrados, con promedios de conductividad eléctrica de 3,5 dS/m. La solución nutritiva es reemplazada cada 15 días, después de que las plantas hayan consumido dos tercios del volumen inicial.

La solución nutritiva se mueve del tanque de almacenamiento debido a la succión de la bomba, entonces es depositada en los tanques que alimentan la red de distribución ya su vez las camas de cultivo. La misma fuerza negativa fuerza a la solución hacia la superficie de las camas de cultivo. Una vez que la solución inunda el medio, la bomba se detiene y comienza el drenaje por gravedad. Las camas de cultivo son llenadas por pares. La solución nutritiva entra brevemente en contacto con las raíces, reduciendo la evaporación y los riesgos de problemas de pudriciones. Los mecanismos clave del sistema son la recirculación y el drenaje eficiente de la solución.

Material vegetativo

Se seleccionaron colectas de nopal sin espinas y con registros previos de alta productividad en campo abierto. Las selecciones fueron provistas por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) y provenientes del centro de México. Las plantas se dejaron a libre crecimiento, realizando una sola cosecha después de seis meses. Las variables de estudio incluidas fueron: longitud y ancho de cladodio, diámetro de planta y número de brotes, así como el peso fresco y seco. El tejido fue muestreado para el análisis foliar de nutrientes.

Efecto del calendario de riego y el método de plantación.

Se probaron dos orientaciones de cladodio: N-S y E-O, y dos métodos de plantación: vertical (enterrado en el suelo) y horizontal (sobre el suelo). Una vez que las plantas se establecieron se sometieron a cuatro calendarios de riego: dos veces al día; una vez al día; dos riegos diarios cada dos días; o un riego diario cada dos días. Las variables registradas fueron: porcentaje de establecimiento, días a brotación, número de brotes, y rendimiento en base fresca y seca.

Se colectaron tejidos de las 15 selecciones más productivas, a los cuales se les practicó un análisis bromatológico, contenido de fibra y detergente ácido (Van Soest, 1970), así como digestibilidad in vitro.

COMPORTAMIENTO VARIETAL

Todas las colectas respondieron bien al cultivo en hidroponía y se detectó una correlación positiva entre el número de brotes y el peso. No se observó reducción del peso seco asociada con alto número de brotes. Después de seis meses, el número promedio de cladodios maduros fue de 10,2 (variando desde 1 hasta 18 por planta).

El 97 por ciento de las colectas presentaron dos o más pisos de pencas y el cultivar Valtierra fueron el más alto (Tabla 51). Las características morfológicas no cambiaron significativamente con el cultivo en hidroponía. Una observación interesante fue que *O. robusta* inició la brotación al mismo tiempo que en campo abierto. El peso fresco promedio por penca fue de 475 g, alcanzando un rendimiento de 5 kg de pencas frescas por planta en seis meses.

Considerando los máximos valores de número de pencas por planta (18) y el peso promedio de cladodio (845 g), los rendimientos experimentales podrían alcanzar 15 kg de peso fresco por planta con la Selección 34 y la variedad Milpa Alta. Dado que el módulo hidropónico tiene una densidad de 30 000 plantas/ha, el rendimiento potencial podría alcanzar 450 ton/ha en verde en seis meses; volumen suficiente para alimentar únicamente con nopal a 30 vacas por 180 días, o 523 ovejas preñadas por 3 meses, concordando con los resultados obtenidos por Calderón (1995).

El contenido de N en el tejido vario de 1,73 a 4,02 en base seca (Tabla 52), apoyando el reporte de que el contenido de N es mas alto en *Opuntia* que en el mejor pasto (Nobel, 1998). De acuerdo con el análisis, la variedad Valtierra y la colecta Tapón Hembra mostraron un contenido de N superior a 4 por ciento. Si este valor es convertido a contenido de proteína, entonces *Opuntia* puede ser comparado con otros forrajes valiosos, tales como alfalfa (Tabla 52).

Considerando la productividad, la ausencia de espinas y la brotación temprana, se destacaron 17 colectas, algunas de las cuales tienen doble uso: hortaliza y forraje, o fruto y forraje. Estas pueden representar una fuente importante de forraje durante la parte mas seca del año (abril y mayo).

De acuerdo con López *et al.*, (1988) el contenido de fósforo varió de 0,1 a 0,5 por ciento en base seca, de acuerdo a la variedad, la edad del cladodio y el sitio de plantación. En hidroponía, el contenido promedio fue de 0,55 por ciento, y la máxima acumulación de 0,84 por ciento, se observó en Tapón Hembra. El K fue el nutriente que mostró la más alta acumulación (3,89 por ciento en promedio). Seis selecciones: Pabellón, #75, Redondo, RSR, RDR, y #70, mostraron concentraciones de K superiores al promedio, 5,96, 5,75, 5,72, 5,50, 5,37 y 5,24 por ciento, respectivamente.

El Ca se encuentra principalmente en la pared celular de los cactus, proveyendo soporte mecánico a las células. También participa en el ATP y la hidrólisis de los fosfolípidos. En los cactus es encontrado como oxalato en drusas y cristales (Gibson y Nobel, 1986). El contenido promedio de calcio en *Opuntia* varia de 2 a 9,5 por ciento, dependiendo de la edad de la planta y el tipo de suelo. Los cladodios producidos en hidroponía mostraron un contenido promedio de calcio de 2,66 por ciento (Tabla 52), con un máximo de 6,4 en la variedad V3. Pero es necesario conducir un estudio para determinar cual es la forma química del calcio en *Opuntia* para entender su significado en la nutrición animal y humana.

El contenido de cenizas varió de 18,68 a 30,31 por ciento, mas alto que cualquier otro forraje regional. Los valores reportados (NRC, 1984), son 7,6, 7,2 y 6,4 para heno de avena, rastrojo de maíz y de sorgo, respectivamente. La producción de forraje en hidroponía puede ser una fuente importante para cubrir los niveles de mantenimiento y producción de Ca, P, K y Zn.

El contenido de proteína es uno de los factores limitantes más importantes para la ganadería en pastizales semiáridos (Fuentes, 1992). El contenido de proteína cruda en nopal silvestre varia de 2,72 a 5,8, lo que se considera insuficiente para cubrir las necesidades de bovinos y ovinos (Tabla 53), y si se usara como única fuente conduciría a pérdidas de peso.

El contenido de proteína del nopal obtenido en hidroponía varió de 11,72 a 18,07 por ciento para el cultivar LCNF y Pabellón Amarillo respectivamente (Tabla 54). Estos valores cubren los requerimientos mínimos para bovinos, ovinos y caprinos en pastoreo. Los nutrientes encontrados para algunos de las colectas probadas son similares a las reportadas para forraje de buena calidad como alfalfa, silo de maíz, y pasto orchard (12-20, 8,4 y 15 por ciento de proteína cruda, respectivamente (NRC, 1984) y más alto que el rastrojo de maíz y de nopal silvestre (Tabla 53).

Tabla 51. Características de colectas mexicanas cultivadas en hidroponía						
	Número de cladodios /planta					
Entrada	Cladodio MS (g)	1st piso	2nd piso	Total	Promedio	MS (g/planta)
Redondo	16.6	8	10	18	6.0	99.6
ACNF	27.5	8	9	17	5.6	154.0
70	21.8	13	37	40	13.3	289.0
Milpa Alta	37.1	6	13	19	6.3	233.7
Tehuacán	22.4	11	9	20	6.6	147.8
44	29.7	9	18	28	9.3	276.1
Rosalito	22.3	9	21	30	10.0	223.0
RSA	26.8	13	33	46	15.3	410.0
40	14.9	16	34	50	16.6	247.3

Villanueva	20.9	15	17	32	10.6	221.5
RSR	33.2	7	26	35	11.6	385.1
RDR	12.6	7	17	24	8.0	100.8
34	17.5	15	40	55	18.3	320.2
LCNF	28.7	7	18	25	8.3	238.2
75	13.5	9	22	31	10.3	139.0
Italiano	12.9	10	23	33	11.0	141.9
V-3	13.2	7	6	13	4.3	56.7
T-L	10.6	10	35	45	15.0	159.0
Valtierrilla*	7.6	17	4	21	13.3	101.0
V-1	13.2	11	29	40	13.3	175.5
RSB	8.9	12	32	44	14.6	129.9
R-7	19.4	11	22	33	11.0	213.4
F-1	29.5	3	19	22	7.3	215.3
AGO	29.1	8	23	31	10.3	299.0
R-72	15.2	9	25	34	11.3	171.7
Pabellón	15.2	13	24	37	12.3	187.0
COPENA	13.0	9	21	30	10	130.0
Pabellón Amarillo	23.7	8	15	22	7.3	173.0
Tapón Hembra	10.4	7	9	16	5.3	55.1
Tapón macho	4.5	3	0	3	1.0	4.5
S-34	21.5	12	29	41	13.6	292.0
S-35	7.0	5	10	15	5.0	35.0
Tezontepec	5.4	10	7	17	5.6	30.20
Irapuato	8.0	11	5	16	5.3	42.0
Control	5	0		5	1.6	8.0
Nota: * = Produjo mas de tres pisos de cladodios.						

Tabla 52. Resultados del análisis de tejido vegetal de 30 cultivares de nopal del Centro de México.

Variedad	Peso seco (g)	No. de pencas				Rend. MS (g)
		1º Piso	2º piso	Total	Promedio	
1. Redondo	16.6	8	10	18	6	99.6
2. ACNF	27.5	8	9	17	5.6	154
3. 70	21.8	13	37	40	13.3	289
4. Milpa Alta	37.1	6	13	19	6.3	233.7
5. Tehuacán	22.4	11	9	20	6.6	147.8
6. 44	29.7	9	18	28	9.3	276.1
7. Rosalito	22.3	9	21	30	10	223
8. RSA	26.8	13	33	46	15.3	410

9. 40	14.9	16	34	50	16.6	247.3
10. Villanueva	20.9	15	17	32	10.6	221.5
11. RSR	33.2	7	26	35	11.6	385.1
12. RDR	12.6	7	17	24	8	100.8
13. 34	17.5	15	40	55	18.3	320.2
14. LCNF	28.7	7	18	25	8.3	238.2
15. 75	13.5	9	22	31	10.3	139
16. Italiano	12.9	10	23	33	11	141.9
17. V-3	13.2	7	6	13	4.3	56.7
18. T-L	10.6	10	35	45	15	159
19. Valtierra*	7.6*	17*	4*	21*	13.3*	101*
20. V-1	13.2	11	29	40	13.3	175.5
21. RSB	8.9	12	32	44	14.6	129.9
22. R-7	19.4	11	22	33	11	213.4
23. F-1	29.5	3	19	22	7.3	215.3
24. AGO	29.1	8	23	31	10.3	299
25. R-72	15.2	9	25	34	11.3	171.7
26. Selección pabellón	15.2	13	24	37	12.3	187
27. COPENA	13.0	9	21	30	10	130
28. Pabellón Amarillo	23.7	8	15	22	7.3	173
29. Tapón Hembra	10.4	7	9	16	5.3	55.1
30. Tapón macho	4.5	3	0	3	1	4.5
31. S-34	21.5	12	29	41	13.6	292
32. S-35	7.0	5	10	15	5.0	35
33. Tezontepec	5.4	10	7	17	5.6	30.2
34. Irapuato	8.0	11	5	16	5.3	42
35. Testigo	5	0		5	1.6	8.0

La digestibilidad de MS *in vitro* varió de 84,9 a 95,5 (Tabla 54), los valores son superiores a los reportados en otras fuentes (e.g. Flores y Aguilar, 1992; Lastra y Pérez, 1978; De Kock 1998). Los valores de pared celular fueron inferiores que los reportados para los forrajes usados en la región para alimentar ganado (NRC, 1984). Esto significa una mayor tasa de digestibilidad de los contenidos celulares, lo cual explica la alta digestibilidad *in vitro* observada en los cvs. Pabellón Amarillo y Villanueva.

Tabla 53. Composición química del nopal (*Opuntia* spp) y de algunos alimentos comúnmente usados en la alimentación del ganado en zonas áridas; y los requerimientos nutricionales de bovinos y ovinos (NRC, 1984).

	EM	Proteína (%)	Ca (%)	P (%)	Sodio (%)	CMS, kg
Alfalfa	2.10	17	1.41	0.24	0.12	
R. de maíz	1.81	6.6	0.57	0.10	0.07	
Nopal		4	1.4	0.2	0.1	

Requerimientos nutricionales						
Vaca*	2.21	10.32	0.29	0.21	0.1	9.66
Oveja**	1.92	9.55	0.37	0.23	0.1	1.3

EM: Energía metabolizable Kcal kg de materia seca; CMS: Consumo de materia seca

*Vaca de 450 kg de peso vivo produciendo 3 kg de leche por día

**Oveja de 45 kg de peso vivo, en último tercio de gestación

Tabla 54. Contenido de nutrientes (Cenizas, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra detergente neutro) y digestibilidad *in vitro* de diferentes cultivares de nopal.

Variedad	MS %	Cenizas, %	Proteína cruda %	ADF (%)	NDF (%)	Contenido celular (%)	Hemicelulosa (%)	Digestibilidad <i>in vitro</i> de MS %
Italiano	94.61	24.01	17.78	18.67	29.42	70.58	10.75	88.4
40	92.9	25.44	16.25	23.01	35.71	64.29	12.70	87.2
34	92.79	26.37	15.28	19.66	27.63	72.37	7.97	89.9
RDR	93.17	26.28	15.21	23.6	26.71	73.29	3.11	86.7
LCNF	92.59	28.59	18.07	24.78	30.35	69.65	5.57	87.8
Villanueva	92.96	30.31	15.55	21.17	39.27	60.73	18.10	84.9
Tehuacan	93.75	22.35	15.77	14.45	32.26	67.74	17.81	91.3
75	92.65	27.37	15.25	16.20	32.23	67.77	16.03	87.2
70	92.94	22.51	13.67	20.08	37.42	62.58	17.34	84.8
RSR	93.19	23.52	15.91	20.21	37.23	62.77	17.02	91.5
Rosalito	92.75	28.40	15.58	20.78	34.98	65.02	14.20	92.4
AGD	92.32	26.01	16.41	21.97	33.97	66.03	12.00	90.6
44	93.17	28.07	15.86	21.00	33.36	66.64	12.36	22.6
Copena	92.39	24.59	16.55	18.53	33.08	66.92	14.55	91.9
Pelón Amarillo	92.77	18.68	11.72	18.37	37.10	62.90	18.73	95.5

ADF: fibra insoluble en detergente ácido; NDF: fibra insoluble en detergente neutro

El nopal silvestre es una fuente importante de agua durante la estación seca, de acuerdo a los reportes sobre alimentación de ganado usando el nopal durante 400 a 525 días como única suministro de agua. Sin embargo el contenido de humedad del nopal obtenido en hidroponía vario entre 90-92 por ciento, lo cual podría limitar su utilidad. Los requerimientos de MS serían difíciles de satisfacer debido al gran volumen que el animal tendría que consumir (90-100 kg/día de nopal fresco). Una posibilidad interesante es el uso de nopal deshidratado, o la combinación con otros forrajes de bajo contenido de humedad como el rastrojo de maíz y sorgo, la paja de frijol, etc. Considerando criterios agronómicos y nutricionales, las mejores selecciones fueron la "34", "70", "40", y "LCNF".

Los valores de acumulación de nutrientes se obtienen multiplicando el peso seco por la concentración de nutrientes y dividiendo entre 100, que representa los gramos del nutriente acumulados en el cladodio durante un período específico (seis meses para el estudio en la Tabla 55). El orden de extracción de los elementos esenciales fue K, N, Ca y P, con valores promedio de 0,77, 0,60, 0,48 y 0,09 g, respectivamente. Los valores altos de extracción resultan de rendimientos altos de materia seca y concentración alta. Con relación a la acumulación de N, los cultivares Milpa Alta (1,22 g), AGO (1,12 g) y la Selección 44 (1,09 g) presentaron los valores mas altos. Mientras que para P, los materiales más altos fueron RSR (0,20 g) y F1 (0,017) g, respectivamente. En el caso del K, los genotipos con la acumulación mas alta fueron Milpa Alta (1,55 g), LCNF (1,23 g) y Pabellón Amarillo (1,15 g). También se registró acumulación significativa de Ca en los cvs. Villanueva (1,03 g) y AGO (0,95).

Efecto del calendario de riego y el método de plantación

La supervivencia de las plantas varió de 70,2 a 88 por ciento y las fallas fueron atribuidas a pudriciones, probablemente asociadas con el origen de los materiales. Ya que las pencas fueron colectadas de una unidad hidropónica anterior y eran más suculentas que las que usualmente se colectan de huertas comerciales.

La emergencia de brotes comenzó en febrero, simultáneamente con las heladas tardías, pero se obtuvo un segundo flujo de brotes en marzo, excepto para las colectas Río Verde y Tapón Hembra, los cuales generaron nuevos brotes hasta abril. Hubo grandes diferencias en peso fresco y seco entre los calendarios de riego ($p < 0,05$). La aplicación del riego dos veces al día, cada tercer día fue significativamente superior al resto de los tratamientos. Las diferencias en rendimiento fueron atribuidas únicamente al tamaño de cladodio (Tabla 56). Los cladodios plantados en posición vertical y orientados N-S presentaron un mayor número de brotes y mayor rendimiento (Tabla 58).

Por lo que se puede concluir que es factible producir forraje de alta calidad en hidroponía durante la estación seca cuando otras fuentes de forraje son escasas. Los mejores resultados se obtienen irrigando dos veces al día cada tercer día.

Tabla 55. Acumulación de N, P, K y Ca, de 30 cultivares de nopal del Centro de México.

Variedad	Peso seco (g)	Acumulación			
		N	P	K	Ca
1. Redondo	16.6	0.44	0.06	0.94	0.27
2. ACNF	27.5	0.93	0.08	1.31	0.31
3. 70	21.8	0.56	0.11	1.14	0.45
4. Milpa Alta	37.1	1.22	0.13	1.55	0.76
5. Tehuacán	22.4	0.70	0.15	1.02	0.44
6. 44	29.7	1.09	0.07	0.65	0.80
7. Rosalito	22.3	0.72	0.12	1.02	0.51
8. RSA	26.8	0.80	0.15	1.18	0.50
9. 40	14.9	0.53	0.10	0.71	0.43
10. Villanueva	20.9	0.36	0.08	0.65	1.03
11. RSR	33.2	0.99	0.20	1.82	0.65
12. RDR	12.6	0.39	0.06	0.67	0.37
13. 34	17.5	0.45	0.08	0.65	0.46
14. LCNF	28.7	0.92	0.15	1.23	0.67
15. 75	13.5	0.42	0.09	0.77	0.28
16. Italiano	12.9	0.45	0.09	0.61	0.33
17. V-3	13.2	0.39	0.07	0.54	0.84
18. T-L	10.6	0.32	0.07	0.43	0.29
19. Valtierra*	7.6*	0.30	0.04	0.25	0.27
20. V-1	13.2	0.44	0.06	0.62	0.30
21. RSB	8.9	0.25	0.05	0.34	0.24
22. R-7	19.4	0.70	0.11	0.53	0.59
23. F-1	29.5	1.04	0.17	0.97	0.69
24. AGO	29.1	1.12	0.16	0.63	0.95
25. R-72	15.2	0.51	0.07	0.37	0.36
26. Sel. Pabellón	15.2	0.47	0.08	0.90	0.34
27. COPENA	13.0	0.35	0.04	0.39	0.33

28. Pabellón Amarillo	23.7	0.74	0.14	1.15	0.54
29. Tapón Hembra	10.4	0.08	0.06	0.35	0.38
30. Tapón macho	4.5	0.16	0.02	0.13	0.10

Tabla 56. Efecto de las diferentes frecuencias de riego en el número de brotes y rendimiento promedio de materia base húmeda y seca por planta de nopal en los diferentes bancales.

Tratamientos	Número de brotes	Peso base húmeda (g)	Peso materia seca (g)
T1) Un riego día-1, todos los días	4.65	875.85 b	65.73 b
T2) Dos riegos día-1 cada tercer día	5.07	1401.4 a	84.20 a
T3) Dos riegos día-1 todos los días	4.1	1080.8 b	75.11 b
T4) Un riego día-1, cada tercer día	5.1	574.7 c	52.07 c

Nota: a,b medias en la misma columna, con distinta letra son diferentes ($p < 0.05$).

Eficiencia de uso del agua

Todos los genotipos probados presentaron alta EUA, (Tabla 59). RSA, Villanueva y 43 fueron superiores. Aunque los valores de EUA observados son mas bajos que los obtenidos por De Kock, (1998) en nopal irrigado a campo abierto.

Tabla 57. Producción de biomasa de diferentes cultivares de nopal en hidroponía.

Variedad	Peso Fresco g/planta
34	1559.02
70	1398.47
40	976.34
Villanueva	956.5
Milpa Alta	883.79
Pabellón Amarillo	873.84
RDR	870.27
44	858.18
F5	823.4
S36 V8	822.04
RSR	821.54
Rosalito	809.36
75	803.36
Copena	772.77
ACNF	710.08
Pabellón	692.14
Tehuacan	685.84
Irapuato	679.10
TL	588.05

LCNF	528.26
Mayero	520.51
Italiano	476.96
RSB	325.41
Redondo	300.90

Tabla 58. Efecto de la posición y la orientación en el número de brotes y producción de materia seca promedio por planta.

Posición (Orientación)	Peso fresco (g)	Número de brotes
Vertical(norte-sur)	757.04	4.93
Horizontal	596.18	2.72
Vertical (este-oeste)	355.87	4.61

Tabla 59. Eficiencia del uso de agua del nopal cultivado hidroponía

Genotipo	Rendimiento (g MS/año/m ²)	EUA (g/MS L-1)	Genotipo	Rendimiento (g MS/año/m ²)	EUA (g/MS L-1)
70	1531.70	1.77	V1	930.15	1.07
Milpa Alta	1238.61	1.43	RSB	688.47	0.79
Tehuacan	783.34	0.90	R7	1131.02	1.31
44	1463.33	1.69	F1	1141.09	1.32
Rosalito	1181.90	1.36	AGO	1584.70	1.83
RSA	2173.00	2.51	R72	910.01	1.05
40	1310.69	1.51	Selección Pabellon	991.10	1.14
Villanueva	1173.95	1.35	COPENA	689.00	0.80
RSR	2041.03	2.36	Pabellon amarillo	916.90	1.06
RDR	534.24	0.62	Tapon hembra	292.03	0.34
34	1697.06	1.96	Tapon macho	23.85	0.03
LCNF	1262.46	1.46	S34	1547.6	1.79
75	736.70	0.85	S35	185.50	0.21
Italiano	752.07	0.87	Tezontepec	160.06	0.18
V-3	300.51	0.35	Irapuato	222.60	0.26
TI	842.70	0.97			
Valtierrilla	535.30	0.62	Testigo	42.40	0.05

^[12] Candelario MONDRAGÓN JACOBO. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias San Luis de la Paz, Guanajuato, México. Santiago de J. MENDEZ GALLEGOS.

Genaro OLMOS OROPEZA. Centro Regional de Zonas Aridas. Colegio de Postgraduados Salinas, S.L.P. México

Literatura citada

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

Aguilar, C. J. I. 1946. Forrajes y plantas forrajeras de México. México: Ed. Trucco .

Akin, D.E. 1982. Microbial breakdown of feed in the digestive tract. In: J.B. Hacker (ed.) *Nutritional limits to animal production from pasture*. Proc. Int. Symp. Commonwealth Bureaux. UK.

Albuquerque, S. G. de. 1999. Sistemas silvopastorais - Algumas experiencias no semiarido do Nordeste. p.185-198, in: *Anais do II Congresso Brasileiro em Sistemas Agroflorestais no contexto da Qualidade Ambiental e Competividade*. Belem, Brasil.

Albuquerque, S.G. de y Rao, M.M. 1997. Espacamento da palma em consórcio com sorgo e feijão-de-corda no Sertão de Pernambuco. *Rev. Bras. de Zoot.*, 26(4): 645-650.

Alves, A.Q. 1976. Intensidade de sombreamento e competicao de variedades na cultura da palma. p.50-54, in: A.Q. Alves, *Pesquisa e experimentacao em Area seca -»Fazenda Pendencia»*: Relatório Anual. Recife, Brazil.

Amorim Neto, M. da S. 1989. Informações meteorológicas dos Campos Experimentais de Bebedouro e Mandacaru. Embrapa-CPATSA (Petrolina, Brasil) Documentos, 57. 55 p.

Anon. 1961. Periódico «Excélsior». 7 de Julio.

Anon. 1962a. Periódico «El Nacional», 10 de Febrero.

Anon. 1962b. Periódico «El Nacional». 9 de Enero.

Anon. 1963a. Periódico «El Nacional». 10 de Febrero.

Anon. 1963b. Periódico «Excélsior». 22 de Septiembre.

- Araújo, P.E.S., Farias, I., Fernandes, A. de P.M., Mafrá, R.C. y Miranda, P. 1974a. Efeito dos esterco de bovino e caprino na produção de palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.). p.265-266, in: Anais da 11ª Reunião da Soc. Bras. de Zoot. Fortaleza, Brazil.
- Araújo, P.E.S., Farias, I., Fernandes, A. de F.M., Santana O.P. y Reis, O.V. 1974b. Competição entre especies de palma forrageira no Município de Arcoverde, PE. p.293, in: Anais da 11ª Reunião da Soc. Bras. de Zoot. Fortaleza, Brazil.
- ARC [Agricultural Research Council]. 1965. *The nutrient requirements of farm animals*. Technical Reviews and Summaries. London: ARC.
- Arruda, G.P. y Warumby, J.F. 1999. Introduccion y utilizacion de las cactaceas *Nopalea cochenillifera* (L) y *Opuntia ficus-indica* en el Brasil. In: R.R. Aguirre and J.A. Reyes A. (eds) Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosi, México.
- Azócar, P. 1992. Biomasa y biotecnología. Uso de cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la alimentación de cabras. p.119-125. In: Actas II Congreso Internacional de la Tuna y Cochinilla. Universidad de Chile, Santiago.
- Azócar, P. y Lailhacar, S. 1990. Bases ecológicas para el desarrollo agropecuario de la zona de clima mediterráneo árido de Chile. *Terra Arida*, 8: 221-301.
- Azócar, P. y Rojo, H. 1991. Uso de cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como suplemento forrajero estival de cabras en lactancia en reemplazo de heno de alfalfa. *Avances en Producción Animal*, 16(1-2): 173-182.
- Azócar, P., Rojo, H., Mira, J. y Manterola, H. 1996. Inclusión de numularia (*Atriplex nummularia* Lindl.) y cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de cabras criollas en reemplazo de heno de alfalfa. I. Efecto en el consumo, peso vivo y producción de leche. *Avances en Producción Animal*, 21(1-2): 43-50.
- Barbera, G., Carimi, F. y Inglese, P. 1992. Past and present role of the Indian-fig prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany*, 46: 10-22.
- Barbera, G. 1995. History, economic and agro-ecological importance. p.1-11, in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimental-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. *FAO Plant Production and Protection Paper*, 132.
- Barrientos, P.F. 1965a. El mejoramiento del nopal (*Opuntia* spp.) en México. *Vida Rural de México*, 8(90): 4-7.
- Barrientos, P.F. 1965b. El nopal y su utilizacion en México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 26: 87-94
- Barrientos, P. F. 1972. Rendimiento del nopal *Opuntia ficus-indica* var. 'COPENA F-1 a diversas densidades. Rama de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bauer, R. R. y C. Flores V. 1969. Análisis bromatológico de cuatro variedades de *Opuntia ficus-indica* en Chapingo. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Bazant, J. 1980. Cinco haciendas mexicanas. El Colegio de México. México.
- Becerra-Rodríguez, S., Barrientos-Pérez, F. Y Díaz-Montenegro, D. 1976. Eficiencia fotosintética del nopal (*Opuntia* spp) en relación con la orientación de los cladodios. *Agrociencia* 24:67-77.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A. y Abdouli, H. 1994. Palatability of shrubs and fodder trees measured on sheep and dromedaries: Methodological approach. *Animal Feed Science and Technology*, 46: 143-153.
- Ben Salem, H, Nefzaoui, A., Abdouli, H. y Orskov, E.R. 1996. Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) on intake and digestion by sheep given straw- based diets. *Animal Sciences*, 62: 293-299.
- Ben Thlija, A. 1987. Nutritional value of several *Opuntia* species. M.Sc. thesis. 84 p.
- Berry, W.L. y Nobel, P.S. 1985. Influence of soil and mineral stresses on cacti. *J. Plant Nutrition*, 8: 679-696.
- Blanco, M.G. 1958. El nopal como forraje para el ganado en zonas aridas. Banco de Comercio Exterior. México.

- Boke, N.H. 1980. Developmental morphology and anatomy in cactaceae. *Bioscience*, 30: 605-610.
- Borrego, E.F.M., Murillo, S.A. y Parga, V.T. 1990. Fomento a las plantaciones de nopal tolerante a heladas, por coordinación institucional en el Norte de México. *In: IV Reunion Nacional y II Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Zacatecas, Zac., México.*
- Braun, R.H., Cordero, A. y Ramacciotti, J. 1979. Productividad ecológica y valor forrajero de tunaes (*Opuntia ficus-indica*) de Los Llanos, Provincia de La Rioja. *Cuaderno Técnico IADIZA*, 1: 29-37.
- Bravo H., H. y Scheinvar, L. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. CONACYT-Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 233 p.
- Brusch, M.O., 1984. Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)cultivation in southern Africa. *In: Symposium on Agricultural Use of the Cactaceae. Prospects and Problems. International Organization for Succulent Plant Study, Frankfurt.*
- Brusch, M.O. y Zimmerman, H.G. 1990. The prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)in southern Africa: Utilization of the naturalized weed and the cultivated "spineless" crop. *In:J.J. Lopez G. & M.J. Ayala O. Memorias de la 33 Reunion Nacional y 2. Internacional sobre el Nopal su Conocimiento y Aprovechamiento. Saltillo, México.*
- Bunch, R. 1997. Update on cactus pear breeding program and new products at D'Arrigo Bros. J. Professional Association for Cactus Development 2-60-65.
- Burns, J.C. 1981. Drying of fresh herbage samples for laboratory estimates of quality. *In: J.L. Wheeler, (ed) Forage evaluation concepts and techniques of the US/Australia Cooperative Science Programme.* Lexington.
- Burns, J.C. 1982. Integration of grazing to other feed resources. *In: J.B. Hacker (ed) Nutritional limits to animal production from pasture.* Proc. Int. Symp. Commonwealth Bureaux. UK.
- Butterworth, M.H. 1967. The digestibility of tropical grasses. *Nutrition Abstracts and Reviews.* 37: 349-368.
- Caballero-Mellado, J. 1990. Potential use of *Azospirillum* in association with prickly pear cactus. p.14-21, *in: Proceedings of the First Annual Texas Prickly Pear Council, Kingsville, TX.*
- Calderón, P.N.1995. Efecto de la salinidad en la producción de materia seca y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp). M. C. Thesis. Ciencias Forestales. Chapingo, Mex.
- Calderón de la Barca [Marquesa Calderón de la Barca]. 1970. *La vida en México.* Porrúa, México, 426 p.
- Calvino, M. 1952. Plantas forrajeras tropicales y subtropicales. México: Ed. Trucco.
- Carmorlinga-Sales, J., Iglesias-Coronel, C.E., Rivero-Palma, I. y Rojas-Garnica, J.C. 1993. Design of equipment for separating the prickles from prickly pears. *In: Memoria del III Congreso Nacional.* Queretaro, México.
- Carneiro, M.S.S., Viana, O.J. y Albuquerque, J.J.L. de. 1989. Manejo de corte em palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e palma doce (*Nopalea cochenillifera*). *Rev. Soc. Bras. Zoot.*, 18(6): 526-531.
- Carneiro, M.S.S. y Viana, O.J. 1992. Métodos de aplicação de esterco bovino como adubo orgânico em palma gigante (*Opuntia ficus-indica*). *Rev. Soc. Bras. Zoot.*, 21(5): 906-911.
- Castanha, C. 1995. Fazenda produz 400 t de palma por hectare. *Diario de Pernambuco*, 9 jun., p.C4. Recife, Brasil.
- Castro, J., Pérez, S. y Riquelme, E. 1977. Evaluation of thornless prickly pear silages as a feedstuff for ruminants. *Proc. Western Section, American Soc. Animal Sci.*, 28.
- Cervantes de, S.F. 1991. México en 1554 y túmulo Imperial. México: Ed. Porrúa. 240 p.
- Cesar, G. de A. 1932. A palma sem espinhos. *SAIV [Secretaria da Agricultura, Industria e Viação] Boletim*, 1. Recife, Brazil.
- CFDP [Cactus Fruit Development Project]. 1994. Survey report. Mekelle, Ethiopia.

- Chagas, A.J.C. 1992. Adoção de tecnologia na pecuária pernambucana. p.108-116, *in*: Anais 4º Simpósio Nordestino de Alimentação de Ruminantes. Recife, Brazil.
- Chappel, G.L.M. y Fontenot, J.P. 1968. Effect of level of readily-available carbohydrates in purified sheep rations on cellulose digestibility and nitrogen utilization. *J. Animal Science*, 27: 1709-1715.
- Chessa I. y Nieddu, G. 1999. Nucellar embryony and zygotic embryo culture of *Opuntia ficus-indica* (Mill). Internal Report. Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei, Università degli Studi di Sassari, Sassari, Italy.
- Chevalier, F. 1982. La formación de los latifundios en México. FCE, México. 510 p.
- Clovis de Andrade, J. 1990. As palmas forrageiras em Alagoas. Macejo, Brasil. 181 p.
- Coelho, M. y Godói, A.G. 1964. Nota prévia sobre reações de cactáceas cultivadas em consorciação com outras plantas. (Sumário). p.93, *in*: Anais 13ª Congresso Nacional de Botânica. Recife, Brazil.
- CONAZA [Comisión Nacional de Zonas Áridas]. 1994. Plan de Acción para combatir la desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F.
- Conde, L.F. 1975. Anatomical comparisons of five species of *Opuntia* (Cactaceae). *Ann. Missouri Bot. Garden*, 62: 425-473.
- Cordier, G. 1947. De la composition de quelques produits fourragers tunisiens et de leur valeur pour l'alimentation du mouton. *Ann. Serv. Bot. Agron. Tun.*, 20: 22-108.
- Corrêia, S.A. 1986. Pecuária de Corte - Problemas e perspectivas de desenvolvimento. Campo Grande. *EMBRAPA-CNPGC Documentos*, 33. 73 p.
- Corrêia, S.A. 1995. Redescoberta da palma. *Jornal do Comércio, Campo [Recife, Brazil]*, 23 jun., p.1.
- Cosío, V. (coord.). 1987. Historia General de México, Vol.1. México: El Colegio de México-Harla. 734 p.
- Cottier, H., 1934. Quelques aliments de disette, leur valeur et leur emploi. *La Tunisie Agricole*, 37: 127-141.
- Cui, M., Miller, P.M. y Nobel, P.S. 1993. CO₂ exchange and growth of the CAM plant *Opuntia ficus-indica* under elevated CO₂ in open-top chambers. *Plant Physiology*, 103: 519-524.
- Cui, M. y Nobel, P.S. 1994a. Water budgets and root hydraulic conductivity of opuntias shifted to low temperatures. *Int. J. Plant Science*, 155: 167-172.
- Cui, M. y Nobel, P.S. 1994b. Gas exchange and growth responses to elevated CO₂ and light levels in the CAM species *Opuntia ficus-indica*. *Plant Cell Environ.*, 17: 935-944.
- Curtis, R.J. 1979. Prickly pear farming in the Santa Clara Valley, California. *Economic Botany*, 31: 175-179.
- D'Arces, P. J.1941. Un aliment du betail. Le cactus. Documents et resegnements agricole. *Bull. L'Agriculture. Gubernament general de L'Algerie*. 4 p.
- De Kock, G.C. 1965. Manejo y utilizacion del nopal sin espinas. p. 1471, *In*: Vol.2 of Congreso Internacional de Pasturas. 9º Anales Sao Paulo, Brasil.
- De Kock, G.C. 1980. Drought-resistant fodder shrub crops in South Africa. p.399-408, *En*: H.N. Le Houérou (ed) Browse in Africa. The Current State of Knowledge. Trabajos presentados en International Symposim on Browse in Africa, Addis Ababa: 8-12 de Abril, 1980. Addis Ababa International Livestock Centre for Africa.
- De Kock, G.C. 1998. The use of cactus pear (*Opuntia* spp.) as a fodder source in the arid areas in Southern Africa. p.83-95, *En*: Proc. International Symposium on Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses. Universidad de Chile, Santiago, and FAO International Cooperation Network on Cactus Pear.

- De Kock, G.C. y Aucamp, J.D. 1970. Spineless cactus, the farmers provision against drought. Leaflet No.37. Agric. Res. Inst. of the Karoo Region, Dept of Tech. Serv., Govt Printer, Pretoria, South Africa.
- De la Cruz, C.J.A. 1994. Prickly pear cactus for forage in México. p.75-77, *in*: Proc. 5th Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, TX.
- Del Castillo, F.R. 1999. Exploracion preliminar sobre los sistemas de cruzamiento en *Opuntia*. En: R.R. Aguirre & J.A. Reyes A. (eds) Memoria del VIII congreso Nacional y VI Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosi, México.
- Demeyer, D.I. y Van Nevel, C.J. 1979. Effect of defaunation on the metabolism of rumen microorganisms. *British Journal of Nutrition*, 42: 515-524.
- Douglas, J. S.1985. Advanced guide to hydroponics. Drake Pub. Inc. New York. 367 pp.
- Dreyer, P. 1985. A gardener touched with genius. The life of Luther Burbank. Berkeley. Univ. California Press.
- Domíngues, O. 1963. Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste. Recife, Brazil: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais. 74 p.
- Durany, V.1982. Hidroponia, cultivo de plantas sin tierra. Barcelona. Editorial Sintesis.
- Duque, G. 1973. O Nordeste e as lavouras xerófilas. BNB. 238 p. Foz de Iguaçu, Brazil.
- Elizondo, E. J., J.J. López y G. J. Dueñez A. 1987. El genero *Opuntia* (Tournefort) Miller y su distribucion en el estado de Coahuila. 2a. Reunión Nacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Instituto de Biología.UNAM. México.
- El Shaer, H.M., Omed, H.M., Chamberlain, A.G. y Axford, R.F.E. 1987. Use of faecal organisms from sheep for the *in vitro* determination of digestibility. *J. of Agricultural Science*, 109: 257-259.
- Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuaria. (sin fecha). Palma adensada. Maior produção de forragem por hectare. Growers bulletin. Pernambuco, Brazil.
- Esteban-Velasco, E. y Gallardo-Lara, F. 1994. Nutrition and macronutrient metabolism in prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 8: 235-246.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Riverside, CA: University of California.
- Evans, T.R. 1982. Overcoming nutritional limitations through pasture management. En: J.B. Hacker (ed) Nutritional limits to animal production from pastures. Proc.of the International Symposium. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.
- Everitt, J.H. y Gonzalez, C.L. 1981. Seasonal nutrient content in food plant of white-tailed deer on the south Texas plains. *Journal of Range Management*, 34: 506-510.
- Fabbri, A., Cicala, A., Tamburino, A. 1996. Anatomy of adventitious root formation in *Opuntia ficus-indica* cladodes. *J. Hort. Sci.*, 71: 235-242.
- Farias, I., Lira, M. de A., & dos Santos, D.C. 1986. O consórcio de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*). *Caderno Ômega, Série Agronomia*, 2: 131-145.
- Farias, I., Lira, M. de A., dos Santos, D.C. 1989. Efeito da frequência e intensidade de cortes em diferentes espaçamentos na cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), em consórcio com sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Pesq. Agrop. Pernamb.*, 6: 169-183.
- Farias, I., Lira, M. de A., dos Santos, D.C. (sin fecha). Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. *Pesq. Agrop. Pernamb.*
- Felker, P. y Ch. Russell.1988. Effects of herbicides and cultivation on the growth of *Opuntia* plantations. *J. Hort. Sci.* 63:149-155.

- Felker, P. 1995. Forage and fodder production and utilization. p.144-154, in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. *FAO Plant Production and Protection Paper*, 132.
- Felker, P., & Russell, Ch. 1988. Effects of herbicides and cultivation on the growth of *Opuntia* in plantations. *J. Hort. Sci.*, 63: 149-155.
- Felker, P., Singh, G. y Pareek, O.P. 1997. Opportunities for the development of cactus (*Opuntia* spp.) in arid and semi-arid regions. *Annals of Arid Zone*, 36: 267-278.
- Ferreira-dos-Santos, M.V., Andrade-Lira, M.D.E. Farias, I., Almeida-Burity, H., Amancio-do-Nascimento, Dc-Dos Santo, Dc., Tavares-Filho, J.J., De-Andrade-Lira, M. y Dos-Santos, D.C. 1990. Comparative study of cultivars of the fodder cacti *Opuntia ficus-indica* Mill (Gigante and Redonda) and *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck (Miuda) for milk production. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 19: 504-510.
- Flachowsky, G., & Yami, A. 1985. Composition, digestibility and feed intake of *Opuntia* by Ogaden sheep. *Archiv-fur-Tierernahrung*, 35: 599-606.
- Flannery, R.V. 1985. Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y las evidencias. *En*: T. Rojas & W. Sanders T. (coord.).
- Fleming, G.A. 1973. Mineral composition of herbage. p.529-566, in: Vol.1 of G.W. Butler and R.W. Railey (eds) *Chemistry and biochemistry of herbage*. London: Academic Press.
- Flores, V.C.A. 1977. El nopal como forraje. Tesis profesional UACH, México. 179 p.
- Flores, V.C.A. y J. Aguirre R.1979. El nopal como forraje. UACH-CIESTAM. Chapingo, México. 91 p.
- Flores, V.C.A. y J. Aguirre R.1992. El nopal como forraje. UACH, Texcoco, México. 77 p.
- Flores, V.C. y Aranda O., G. 1997. *Opuntia*-based ruminant feeding systems in México. *Jour. Prof Assoc. Cactus Development*, 2: 3-8.
- Flores, V.C.A. y Brauer, H.O. 1977. El nopal (*Opuntia ficus-indica*) var. COPENA F1 como forraje. *Rev. Nueva Epoca* (Chapingo, México). 83 p.
- Flores, H.A., Murillo S., M., Borrego E., F. y Rodriguez O., J.L. 1995. Variación de la composición química en estratos de la planta de 20 variedades de nopal. In: E. Pimienta-Barrios, C. Neri-Luna, A. Muñoz U. & F. Huerta M. (comp.). *Memorias del 6º Congreso Nacional y 4º Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Jalisco, México.
- Franco, A. y Ponte, J.J. da. 1980. A podridão polaciana da palma forrageira. *Fitopatologia Bras.*, 5(3): 277-282.
- Fuentes, R. J. M. 1996. El nopal forrajero en el norte de México. Taller Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal y del Mezquite. CINVESTAV-Irapuato. Irapuato, Gto. México.
- Fuentes, R.J. M. 1991. A survey of the feeding practices, costs and production of dairy and beef cattle in northern México. *In*: Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, TX.
- Fuentes, R. J. M. 1992. Feeding cactus pear to dairy cattle in northern México. Third Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas.
- García de Cortázar, V. y Nobel, P.S. 1986. Modelling of PAR interception and productivity of a prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica* L., at various spacings. *Agron. J.*, 78: 80-85.
- García de Cortázar, V. y 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: 261-279.
- García de Cortázar, V. y Nobel, P.S. 1991. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 56: 261-272.

- García de Cortázar, V. y Nobel, P.S. 1992. Biomass and fruit production for the prickly pear cactus *Opuntia ficus-indica*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 117: 558-562.
- Gathaara, G.N., Felker, P. y Land, M. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus in *Opuntia engelmannii* tissue N and P concentrations, biomass production and fruit yields. Journal of Arid Environments, 16: 337-346.
- Gersani, M., Graham, E.A. y Nobel, P.S. 1993. Growth responses of individual roots of *Opuntia ficus-indica* to salinity. Plant Cell Environ., 16: 827-834.
- Gibson, C.G. y Nobel, P.S. 1986. The Cactus Primer. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Glanze, P. y Wernger, E. 1981. Distribution of *Opuntia* spp. and their evaluation as feed. Beitrage Zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinarmedizin, 19: 49-58.
- Goering, M.K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fibre analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agriculture Handbook 379.
- Goldstein, G., Andrade, J.L., & Nobel, P.S. 1991. Differences in water relations parameters for the chlorenchyma and the parenchyma of *Opuntia ficus-indica* under wet versus dry conditions. Aust. J. Plant Physiol., 18: 95-107.
- Gómez, G. A. 1995. Cultivo hidroponico de jitomate en agua salina y relaciones K⁺ y NO₃ en la solución nutritiva. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Gomide, J.A., Zago, G.P. y Cruz, M.E. 1987. Milho o sorgo em cultivos puros ou consorciados com soja, para produção do silagens. Rev. Soc. Bras. Zoot., 16(4): 308-17.
- Gonzalez, C.L. 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimerii* Engelm.). Journal of Arid Environments, 16: 87-94.
- Gonzalez, C. F., G. Llamas L. y J. Bonilla A. 1998. Utilización del nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras. Tec. Pecuaria en México. 36:73-81.
- Graham, E.A. y Nobel, P.S. 1996. Long-term effects of a doubled atmospheric CO₂ concentration on the CAM species *Agave desertii*. J. Exp. Bot., 47: 61-69.
- Granados, S. y D. Castañeda P., D. 1997. El Nopal: Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. México: Trillas. 227 p.
- Gregory, R.A. y Felker, P. 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting opuntia forage clones. Journal of Arid Environments, 22: 323-331.
- Gregory, R.A., Kuti, J.O. y Felker, P. 1993. A comparison of *Opuntia* fruit quality and winter hardiness for use in Texas. Journal of Arid Environments, 24: 37-46.
- Griffiths, D. 1905. The prickly pear and other cacti as food for stock. USDA Bulletin, 74. 48 p.
- Griffiths, D. 1906. Feeding prickly pear to stock in Texas. USDA Bur. Animal Industry Bull., 91.
- Griffiths, D. y Hare, R.F. 1906. The prickly pear and other cacti as food for stock - 2. New México College of Agriculture and Mechanic Arts, Agriculture Experimental Station Bulletin, 60. 125 p.
- Guevara, J.C., Estévez, O.R., & Stasi, C.R. (sin fecha, en prensa). Economic feasibility of cactus plantations for forage and fodder production in the Mendoza plains (Argentina). Journal of Arid Environments (en prensa).
- Guevara, J.C., Estévez, O.R. y Stasi, C.R. 1996. Cria de bovinos. Rentabilidad potencial en la llanura mendocina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 28: 51-62.
- Guevara, J.C., Estevez, O.R. y Stasi, C.R. 1999. Cost-benefit analysis of cactus fodder crops for goat production in Mendoza, Argentina. Small Ruminant Research, 34: 41-48.

- Guevara, J.C., Martínez Carretero, E., Juirez, M.C. y Berra, A.B. 1997. Reclamación de Areas degradadas del piedemonte de Mendoza, Argentina, mediante la plantación de *Opuntia ficus-indica* var. inermis. *Multequina*, 6: 1-8.
- Hacker, J.B. (ed).1982. Nutritional limits to animal production from pastures. *Memorais del Inteernational Sympopsium*, St. Lucia, Queensland, Australia, 24-28 Agosto, 1981. Franham Royal, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux, for CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures.
- Han, H. y Felker, P. 1997. Field validation of water use efficiency of CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. *Journal of Arid Environments*, 36: 133-148.
- Hanna, W.W. y Akin, D.E. 1978. Microscopic observations on cuticle from trichomless, tr, and normal, Tr, pearl millet. *Crop Science*, 18: 904-905.
- Hanna, W.W., Monson, W.G. y Burton, G.W. 1973. Histological examination of fresh forage leaves after *in vitro* digestion. *Crop Science*, 13: 98-102.
- Hanselka, C.W. y Paschal, J.C. 1990. Prickly pear cactus: an important rangeland resource. Progress report. Texas Agricultural Experiment Station. Beef Cattle Research in Texas.
- Hardwood, W.S. 1930. *New creations in plant life - An authoritative account of the life and work of Luther Burbank*. New York: MacMillan.
- Harvard-Duclos, B. 1969. *Las plantas forrajeras tropicales*. Barcelona: Blume. 380 p.
- Hatzmann, S., Ebert, G. y Lüdders, P. 1991. Influence of NaCl salinity on growth, ion uptake, and gas exchange of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Angewandte Bot.*, 65: 161-168.
- Hogan, J.P. 1982. Digestion and utilisation of protein. *In*: J.B. Hacker (ed) *Nutritional limits to animal production from pastures*. Proceedings of the international symposium. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.
- Hoffman, G.O., & Walker, A.H. 1912. Prickly pear – Good or bad? *Texas Agric. Exp. Sta. Bull.*, 806: 3-7.
- Humbolt, A. de. 1984. *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*. México: Ed. Porrúa. 696 p.
- INIF. 1983. *El nopal*. Comisión Nacional de las Zonas Aridas. México. 85 pp.
- IPA, 1998. *Palma adensada: maior produção de forragem por hectare*. Folder. Recife, Brazil. 6 pp.
- Israel, A.A. y Nobel, P.S. 1995. Growth temperature versus CO₂ uptake, Rubisco and PEPCase activities, and enzyme high-temperature sensitivities for a CAM plant. *Plant Physiol. Biochem.*, 33: 345-351.
- Jarrige, R., Demarquilly, C., & Dulphy, J.P. 1982. Forage conservation. *En*: J.B. Hacker (ed.) *Nutritional limits to animal production from pastures*. Proceedings of the International Symposium. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.
- Juárez, C. y Passera, C. 1998. Micropropagación de *Opuntia ellisiana* Griff. a partir de areolas y su aclimatación a condiciones de campo. p.147 *et ff*, *in*: Resúmenes XXVI Jornadas Argentinas de Botanica. Rio Cuarto, Cdrdoba: Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- Kaerger, K. 1986. *Agricultura y colonización en México en 1900*. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México. 350 p.
- Karim, M.R., Felker, P. y Bingham, R.L. 1996. Correlations between cactus pear (*Opuntia* spp.) cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality. *Journal of Plant Nutrition*. (en prensa).
- Kausch, W. 1965. Beziehungen zwischen Wurzelwachstum, Transpiration und CO₂-Gaswechsel bei einigen Kakteen. *Planta*, 66: 229-238.
- Komisarczuk, B.S., & Durand, M. 1991. Effects of minerals on microbial metabolism. p. 179-198, *in*: J.P. Jouany (ed) *Rumen microbial metabolism and ruminant digestion*. Paris: INRA.

- Kossila, V.L. 1984. Location and potential feed use. *In*: F. Sundstol and E. Owen (eds) *Straw and other fibrous by-products as feed*. Amsterdam: Elsevier.
- Köeppen, R. 1948. *Cliamtopologia*. Fondo de Cultura Economica. México.
- Lastra, E. J. y S. Perez P. 1978. Digestibilidad in vivo y in vitro de ensilaje de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Le Houérou, H.N. 1979. Resources and potential of the native flora for fodder and sown pastures production in the arid and semi-arid zones of North Africa. p. 384-401, *in*: J.R. Goodin and D.K. Worthington (eds) *Arid Land Plant Resources*. ICASALS, Texas Tech Univ., Lubbock, Texas.
- Le Houérou, H.N. 1984. Rain-use efficiency and unifying concept of arid land ecology. *J. of Arid Environments*, 7: 213-247
- Le Houérou, H.N. 1989. An assessment of the economic feasibility of fodder shrubs plantation (with particular reference to Africa). p. 603-630, *in*: C.M. McKell (ed) *The Biology and Utilization of Shrubs*. New York: Academic Press. 656 p.
- Le Houérou, H.N. 1991a. Rangeland management in Northern Africa and the Near East: evolution, trends and development outlook. Proc. of 4th International Rangeland Congress, Montpellier, France. CIRAD
- Le Houérou, H.N. 1991b. Feeding shrubs to sheep in the Mediterranean arid zone. Intake performance and feed value. P. 639-644 (Vol. 2). En: Proc. 4th Int. Rangeland Congress. Montpellier, France: CIRAD-CIDARC.
- Le Houérou, H.N. 1992. The role of *Opuntia* cacti in the agricultural development of the Mediterranean arid zones. 2nd Int. Cong. de Tuna y Cochinilla. Santiago, Chile, 22-25 Septiembre, 1992.
- Le Houérou, H.N. 1994. Drought tolerant and water-efficient fodder shrubs (DTFS), their role as a "drought insurance" in the agricultural development of arid and semi-arid zones in southern Africa. Report to the Water Research Commission of South Africa. Pretoria, South Africa. 139 p.
- Le Houérou, H.N. 1995a. Informe de las visitas a la Argentina: Octubre-Noviembre 1992 y Septiembre-Noviembre 1995. Mendoza: IADIZA. 26 pp.
- Le Houérou, H.N. 1995b. Bioclimatologie et biogeographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. *Options Méditerranéennes, Série B*, No.10. 396 p.
- Le Houérou, H.N. 1996a. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33: 135-159.
- Le Houérou, H.N. 1996b. Utilization of fodder trees and shrubs (TRUBS) in the arid and semi-arid zones of western Asia and northern Africa (WANA): history and perspectives. A review. ICARDA/CIHEAM. Hammamet, Tunisia. 51 p.
- Le Houérou, H.N. 1999. Estudios e investigaciones ecológicas de las zonas aridas y semiáridas de Argentina. Mendoza: IADIZA. 228 p.
- Le Houérou, H.N., Binham, L.R. y Skerbeck, W. 1988. Relationship between the variability of primary production and the variability of animal production in world arid lands. *J. of Arid Environments*, 15: 213-247
- Le Houérou, H.N., Popov, C.F. y See, L. 1993. Agro-bioclimatic classification of Africa. *FAO Agrometeorology Working Papers Series*, No.6.
- Leng, R.A. 1982. Modification of rumen fermentation. *In*: J.B. Hacker (ed) *Nutritional limits to animal production from pastures*. Proc. of the International Symposium. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.
- Lima, M.C.A., Fernandes, A.P.M. y Farias, I. 1974. Comparação entre especies e espaçamentos de palma forrageira em dois municípios do Agreste de Pernambuco. p.285-286, *in*: Anais 11^a Reunião da Soc. Bras. de Zoot., Fortaleza, Brazil.
- Lima, M.C.A., Araújo, P.E.S., Cavalcanti y M.F.M. 1974b. Competição de espécies e espaçamentos de palmas forrageiras. p.288-289, *in*: Anais 11^a Reuniao da Soc. Bras. de Zoot., Fortaleza, Brazil.

- Lima, M.C.A, Correia, E.B., Fernandes y A.P.M. 1974c. Efeito de NPK sobre a produção da palma 'Gigante', no Município de Caruaru, PE. p.290, in: Anais 11ª Reunião da Soc. Bras. de Zoot., Fortaleza, Brazil.
- Lima, M. de A., Farias, I., Fernandes y A. de P.M. 1981. Valor nutritivo da palma (*Opuntia ficus-indica*) associadas as silagens de milho e de sorgo. 2:79. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, Atuação do IPA no âmbito do POLONORDESTE. Recife, Brazil.
- Lima, M. de A., França, M.P. y Dias, F.M. 1985. Emprego da associação palma forrageira e silagem de sorgo na alimentação de vacas holandesas em lactação. p.133, En: Anais 22ª Reunião da Soc. Bras. de Zoot.
- Longo, S., & Rapisarda, C. 1995. Pests of Cactus Pear. p.100-108, En: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
- López, G. J. J. 1977. Descripción y transformación del ecosistema *Opuntia streptacantha* Lemaire. Tesis de M.C. Depto. Ciencia Animal. UAAAN. Saltillo México.
- López, J.J. y Elizondo, J.L. 1990. Conocimiento y aprovechamiento del nopal en México. En López, M.J.L. y M.J. Ayala. Memorias de la 3ª Reunión Nacional y Primera Internacional sobre el Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- López, J.J. y Fuentes, J.L., Rodríguez, V. y Rodríguez, A. 1997. Establecimiento, utilización y manejo del nopal rastrero (*Opuntia rastrera* Weber) en el sur de Coahuila, México. En Memorias de la 7ª Reunión Nacional y 5ª Reunión Internacional sobre el Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Monterrey, Nuevo León, México.
- López, M.J.L., Cruz H., P. y Lopez A., J. 1988. Contenidos nutrimentales de tallos y raíces de nopal tunero *Opuntia amychlaea* Tenore. *Revista Chapingo*, 62-63: 143-148.
- Lozano, G.M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal (*Opuntia* spp.). BSc Diss., Esc. Sup. de Agric. "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Luo, Y. y Nobel, P.S. 1993. Growth characteristics of newly initiated cladodes of *Opuntia ficus-indica* as affected by shading, drought and elevated CO₂. *Physiol. Plantarum*, 87: 467-474.
- MAFF [Ministry of Agriculture, Fisheries and Food]. 1986. The analysis of agricultural materials. 3rd ed. MAFF Book No.427. London: HMSO.
- Maltsberger, W.A. 1989. Prickly pear cactus: an unsung blessing of the Rio Grande Plains. p.19-31, in: Hanselka & J.C. Paschal (eds) Developing prickly pear as a fruit, forage and vegetable resource. Texas Agriculture Experiment Station Publication.
- Márquez, E. 1986. San Luis Potosí. Textos de su historia. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, México. 548 p.
- Marroquín, S. G. Boruja L. R., Velázquez C. y J. A. de la Cruz. C. 1964. Estudio dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. Pub. Especial 2. INIF. México. 116 p.
- Martínez, M. L. 1968. Estudios del nopal rastrero y el nopal frutal. En: T. W. Box y P. Rojas M. (eds.) Proc. Int. Symposium on increasing food production in arid lands. Lubbock. Texas.
- Mascarua-Esparza, M.A., Villa-Gonzalez, R. y Caballero-Mellado, J. 1988. Acetylene reduction and indolacetic acid production by *Azospirillum* isolates from cactaceous plants. *Plant and Soil*, 106: 91-95.
- McDonald, P. E., Edwards, R.A. y Greenhalgh, J.F.D. C.A. 1981. Nutrición animal. 3ª. Ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. y Morgan, C.A. 1995. *Animal Nutrition*. 5th ed. New York: Longman. p. 607.
- McDowell, L.R. 1985. *Nutrition of grazing animals in warm climates*. Academic Press. 443 p.

- Medina, G.J., Acuña G.E. y De la Cruz, J.A. 1987. *Opuntia* revegetation: An agro-ecological restoration alternative for deteriorated rangelands of Coahuila, México. In: E.E. Whitehead *et al.* (eds) *Arid Lands: Today and Tomorrow*. Tucson, AZ: University of Arizona Press.
- Medina, T. J.G., M. E. Acuña M., J.J. Lopez G. y O. E. Cavazos C., 1990. Variables críticas para el establecimiento de nopal forrajero en el arido del Norte de México. En: J.J. Lopez G. y M. J. Ayala O. Memorias de la 3a. Reunion Nacional y 1a. Reunion Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Saltillo, Coah. México
- Melo, J.N. de, França, M.P. y Andrade, J.C. de. 1992. Silagem em Mutirão - Uma prática quo deu Certo. *IPA Comunicado Técnico*, 51.
- Méndez, G.S.G., Torres, A.M. y Martínez, H.J.S. 1999. Recolección y evaluación agronómica de 30 variantes do nopal (*Opuntia* spp.) del Centro do México en condiciones de hidroponia. In: J.R. Rivera & J.A. Reyes A. (eds) Memorias del 8° Congreso Nacional y 6° Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosi, México.
- Merrill, L.B., Taylor, C.A., Dusek, R., & Livingston, C.W. 1980. Sheep losses from range with heavy prickly pear infestation. In: D.N. Ueckert & J.E. Huston (eds) *Rangeland Resources Research*. Texas Agriculture Experiment Station Consol. Prog. Rep., 3665. 91 p.
- Metral, J.J. 1965. Les cactées fourragères dans le Nord-Est du Brésil, plus particulièrement dans L'état du Ceara. *L'Agronomie Tropical*, 20: 248-261.
- Meyer, M.M., & Brown, R.D. 1985. Seasonal trends in the chemical composition of ten rangeland plants in south Texas. *Journal of Range Management*, 38: 154-157.
- Migaki, G., Hinson, L.E., Imes, G.D., & Garner, F.M. 1969. Cactus spines in the tongues of slaughtered cattle. *J. of the American Veterinary Medical Association*, 155: 1489-1492.
- Minson, D.J. 1973. Effect of fertiliser nitrogen on digestibility and voluntary intake of *Chloris gayana*, *Digitaria decumbens* and *Pennisetum clandestinum*. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 13: 153-157.
- Minson, D.J. 1988. The chemical composition and nutritive value of tropical legumes. p.185-193, in: P.J. Skerman, D.G. Cameron and F. Riveros (eds) *Tropical forage legumes 2nd ed.* Rome: FAO.
- Minson, D.J. 1990a. pp. 85-148. En: *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press Inc.
- Minson, D.J. 1990b. The chemical composition and nutritive value of tropical grasses. p.163-180, in: P.J. Skerman and F. Riveros (eds) *Tropical grasses*. Rome: FAO.
- Mizrahi, Y., Nerd., A. y Nobel, P.S. 1997. Cacti as crops. *Horticultural Review*. 18:291-346.
- Mondragón, J. C. 1994. Fertilización del nopal tunero. En: Memoria sobre Aportaciones Tecnicas y Experiencias de la Produccion de Tuna en Zacatecas. Zacatecas, México.
- Mondragón, J. C. 1999. Preliminary genetic studies on cactus pear (*Opuntia* spp, Cactaceae) germplasm from Central México. Ph. D. Diss. Purdue University. West Lafayette, Indiana.
- Mondragón, J. C. y B. P.Bordelon. 1996. Cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) breeding for fruit production. *J. Prof. Assoc. for Cactus Development*. 1:19-35.
- Mondragón, J. C. y E. Pimienta B. 1995. Propagation. in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
- Mondragón, J.C. y E. Pimienta B. 1990. Fertilización del nopal tunero. Campo Experimental Norte de Guanajuato. INIFAP-SARH. San José Iturbide, México. Folleto Técnico 1. 14 p.
- Mondragón, J. C. y E. Pimienta B. 1995. Propagation. p.64-70, in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.

- Mondragón, J. C. 1993. 'Reyna' (Syn. Alfajayucan) is the leading cactus pear cultivar in Central México. *Fruit Var. J.* 48:134-136.
- Monjauze, A. y Le Houérou, H.N. 1965. Le role des opuntias dans l'economie agricole de L'Afrique du Nord. *Bull. Ecole Sup. Agron. Tunis.*, 8-9: 85-164.
- Monson, W.G., Powell, J.B. y Burton, G.W. 1972. Digestion of fresh forage in rumen fluid. *Agronomy Journal*, 64: 231-233.
- Morrison, F. B. 1956. Compendio de alimentacion del ganado. Ed. UTEHA. México.
- Motolinía, T. 1995. Historia de la Indias de la Nueva España..México: Ed. Porrúa. 254 p.
- Munoz, U.A., García V., A. y E. Pimienta. 1995. Relación entre el nivel de ploidía y variables anatómicas morfológicas en especies silvestres y cultivadas de nopal tunero (*Opuntia* spp.). *In: E. Pimienta-Barrios, C. Neri L., A. Mufioz U., & F. Huerta M. (eds) 6º Congreso Nacional y 4º Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Guadalajara, México.
- Murillo, S.M., Fuentes R., J., Torres H., M., Borrego F., F. y Gutierrez A., R. 1994. *In vitro* protein digestibility of two *Opuntia* genotypes after addition of yeast, ammonia and urea. p.77-82, *in: Proc. of the 5th Annual Texas Prickly Pear Council.* Kingsville, TX.
- Nefzaoui, A., Chermiti, A. y Ben Salem, H. 1993. Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) as a supplement for treated straw. p.130-133, *In: Proc. 7th Meeting of the FAO Sub-Network on Mediterranean Pastures and Fodder Crops.* Chania, Greece, 21-23 April 1993.
- Nefzaoui, A., Ben Salem, H. y Ben Salem, L. 1995. Ewe-lambs feeding with cactus-based diets. Effect of the type of nitrogen supplement. IVth International Symposium on the Nutrition of Herbivores – Satellite "Ruminant use of fodder resources in warm climate countries", Montpellier, France.
- Nefzaoui, A. y Ben Salem, H. 1996. Nutritive value of diets based on spineless cactus (*Opuntia ficus indica* var. *inermis*) and atriplex (*Atriplex nummularia*). *In: Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-Arid Zones.* Regional Training Workshop. Tunisia.
- Nefzaoui, A., Ben Salem, H. Y Ben Salem, L. 1996. Nitrogen supplementation of cactus based diets fed to Barbarine yearlings. *In: Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-Arid Zones, Regional Training Workshop.* Tunisia.
- Nefzaoui, A. y H. Ben Salem. 1998. Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones. *Proc. Int. Symp. Cactus pear and nopalitos processing and uses.* Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/FAO. Santiago, Chile. P58-76.
- Nerd, A. y Y. Mizrahi, 1994. Toward seedless prickly pear. *En: P. Felker and J. Moss (eds). Proc. of the 5th Annual Texas Prickly Pear Council.* Kingsville.
- Nerd, A., & Mizrahi, Y. 1995. Reproductive biology. p.49-57, *in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.* FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
- Nerd, A., & Nobel, P.S. 1991. Effects of drought on water relations and non-structural carbohydrates in cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Physiologia plantarum*, 81: 495-500.
- Nerd, A., & Nobel, P.S. 1995. Accumulation, partitioning, and assimilation of nitrate in *Opuntia ficus-indica*. *J. Plant Nutrition*, 18: 2533-2549.
- Nerd, A., Karady, A., & Mizrahi, Y. 1991. Salt tolerance of prickly pear cacti (*Opuntia ficus-indica*). *Plant Soil*, 137: 201-207.
- Nerd, A., Mesika, R., & Mizrahi, Y. 1993. Effect of N fertilizer on the autumn floral flush and cladode N in prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *J. Hort. Sci.*, 68: 337-342.
- Nkhonjera, L.P. 1989. Strategies to overcome constraints in efficient utilisation of agricultural by-products as animal feed. *In: A.N. Said and D.A. Dzwowela (eds) Overcoming constraints to the efficient utilisation of agricultural by-products as animal feed.* Addis Ababa, Ethiopia:

- Nobel, P.S. 1977. Water relations and photosynthesis of a barrel cactus, *Ferocactus acanthodes*, in the Colorado desert. *Oecologia*, 27: 117-133.
- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti in relation to nocturnal acid accumulation and growth. *American J. of Botany*, 70: 1244-1253.
- Nobel, P.S. 1984. Productivity of *Agave deserti*: Measurement by dry weight and monthly prediction using physiological responses to environmental parameters. *Oecologia*, 64: 1-7.
- Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. New York: Cambridge Univ. Press.
- Nobel, P.S. 1989. Productivity of desert succulents. *Excelsa*, 14: 21-28.
- Nobel, P.S. 1989a. A nutrient index quantifying productivity of agaves and cacti. *J. Appl. Ecol.*, 26: 635-645.
- Nobel, P.S. 1991a. Achievable productivities of CAM plants: Basis for high values compared with C₃ and C₄ plants. Tansley Review no. 32. *New Phytol.*, 119: 183-205.
- Nobel, P.S. 1991b. Environmental productivity indices and productivity for *O. ficus-indica* under current and elevated atmospheric CO₂ levels. *Plant Cell Environ.*, 14: 637-646.
- Nobel, P.S. 1994. Remarkable agaves and cacti. New York: Oxford Univ. Press.
- Nobel, P.S. 1995. Environmental biology. p.36-48, *En*: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. *FAO Plant Production and Protection Paper*, 132.
- Nobel, P.S. 1996. Responses of some North American CAM plants to freezing temperatures and doubled CO₂ concentrations: Implications of global climate change for extending cultivation. *J. Arid Environ.*, 34: 187-196.
- Nobel, P. S. 1998. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge Univ. Press. UK, CUP.
- Nobel, P.S. 1999. Physicochemical and environmental plant physiology. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.
- Nobel, P.S. y Castañeda, M. 1998. Seasonal, light and temperature influences on organ initiation of unrooted cladodes of the prickly pear cactus *Opuntia ficus-indica*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123: 47-51.
- Nobel, P.S. y 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: 71-75.
- Nobel, P.S. y Hartsock, T.L. 1984. Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. *Physiol. Plant.*, 60: 98-105.
- Nobel, P.S. e Israel, A.A. 1994. Cladode development, environmental responses of CO₂ uptake, and productivity for *Opuntia ficus-indica* under elevated CO₂. *J. Exp. Bot.* 45: 295-303.
- Nobel, P. S. y E. M. Loik, 1993. Low temperature tolerance of prickly pear. *In*: P. Felker and J. Moss (eds) Proc. of the 5th Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville.
- Nobel, P.S. Garcia-Moya, E. y Quero, E. 1992. High annual productivity of certain agaves and cacti under cultivation. *Plant Cell Environ.*, 15: 329-335.
- Nobel, P.S., Israel, A.A. y Wang, N. 1996. Growth, CO₂ uptake, and responses of the carboxylating enzymes to inorganic carbon in two highly productive CAM species at current and doubled CO₂ concentrations. *Plant Cell Environ.*, 19: 585-592.
- Nobel, P.S., Russell, C.E., Felker, P., Galo, M. y Acuña, E. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agron. J.*, 79: 550-555.
- Nobel, P.S., Wang, N., Balsamo, R.A., Loik, M.E. y Hawke, M.A. 1995. Low-temperature tolerance and acclimation of *Opuntia* spp. after injecting glucose or methylglucose. *Int. J. Plant Sci.*, 156: 496-504.

- Nordblom, T. y Shomo, F. 1995. Food and feed prospects to 2020 in the West Asia/North Africa Region. ICARDA, Aleppo, Syria.
- North, G. B., Moore, T.L. y Nobel, P.S. 1995. Cladode development for *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) under current and doubled CO₂ concentrations. *Amer. J. Bot.*, 82: 159-166.
- Norton, B.W. 1982. Differences between species in forage quality. *In*: J.B. Hacker (ed) Proc. International Symposium. Nutritional limits to animal production from pastures. Commonwealth Agricultural Bureaux, UK.
- NRC [National Research Council]. 1968. Nutrient requirements of beef cattle. Washington, D.C. NRC publication No.1137.
- NRC . 1984. Nutrient requirements of beef cattle. Washington D.C. National Academy Press.
- Ochoa de Cornelli, M.J. 1997. Aspects of Opuntiae cultivation and post-harvest handling in South America. Conference in International Workshop on Promotion of Minor Fruits Crops: Cactus pear. Cerdeña, Italy.
- Ochoa de Cornelli, M.J., Ayrault, G., Degano, C. y Lopez Alsogaray, M.S. 1992. El cultivo de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la provincia de Santiago del Estero., Argentina. pp.97-102, *in*: Actas del II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Omed, H.M., Axford, R.F.E., Chamberlain, A.G. y Givas, D.J. 1989. A comparison of three laboratory techniques for the estimation of the digestibility of feedstuffs for ruminants. *Journal of Agricultural Science*, 113: 35-39.
- Palomo, G.D.R. 1963. Datos sobre los nopales utilizados como forraje de invierno en el Noreste de México. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura y Ganadería. ITESM. Monterrey, México.
- Parish, J. and P. S. Felker, 1997. Fruit quality and production of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit clones selected for increased hardiness. *J. of Arid Environments* 37:123-143.
- Pessoa, A.S. 1967. Cultura da Palma Forrageira. SUDENE - Divisio de Documentayção 98p. Agricultura, 5. Recife, Brazil.
- Pimienta, B. E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Pimienta, B., E., M. Loera Q. y L. L. Lopez A. 1992. Estudio anatómico comparativo en morfoespecies del subgénero opuntia. p. 30-39, *in*: Actas III Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla, Santiago de Chile.
- Pimienta, B. E., Loera, Q. M. y López A. L.L. 1993. Estudio anatómico comparativo en colectas del subgénero Opuntia. *Agrociencia, series Fitociencia*, 4: 7-14.
- Pimienta, B. E. 1993. Vegetable cactus pear (*Opuntia* spp). *In*: Underutilized crops, pulses and vegetables. Chapman & Hall. 177-191 pp.
- Pimienta, B. E. y A. Muñoz U. 1995. Domestication of Opuntias and cultivated varieties. *In*: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper, 132.
- Pluenneke, R.H. 1990. Prickly pear work at the R.W. Williams Ranch in Dimmit County Texas in the 1960s. p.22-26, *En*: Proc. First Annual Texas Prickly Pear Council, Kingsville, TX.
- Preston, T.R., & Leng, R.A. 1987. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics. Armidale, Australia: Penambul Books.
- Radojevcis, I., Simpson, R.J., St. John, J.A., & Humphreys, M.O. 1994. Chemical composition and *in vitro* digestibility of lines of *Lolium perenne* selected for high concentrations of water-soluble carbohydrates. *Australian Journal of Agricultural Research and Animal Husbandry*, 45: 901-912.
- Rangnekar, D.V. 1988. Availability and intensive utilization of sugar cane by-products. p.76-93, *in*: C. Devendra (ed) *Non-conventional feed resources and fibrous agricultural residues*. International Development Research Centre (IDRC) and Indian Council of Agricultural Research (ICAR).

- Rao, A.V., & Venkateswarlu, B. 1982. Associative symbiosis of *Azospirillum lipoferum* with dicotyledoneous plants of the Indian desert. *Canadian Journal of Microbiology*, 28: 778-782.
- Resh, H. M. 1987. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. 2a. edición. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. España.
- Retamal, N., Duran, J.M. y Fernandez, J. 1987. Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) *J. Sci. Food and Agriculture*
- Retamal, N., Duran, J.M. y Fernandez, J. 1987a. Seasonal variations of chemical composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *J. Science of Food and Agriculture*, 38: 303-311.
- Revuelta, G. L. 1963. Bromatología zootécnica y alimentación animal. Ed. Salvat. Madrid, España.
- Reynoso, A.A., Gómez, J.C., Ricarte, R.A. y Aguirre, E. 1998. Productividad de plantaciones de tuna (*Opuntia ficus-indica*) aplicando diferentes técnicas de manejo. p.103-130, *in*: Estudios sobre pastizales naturales y el cultivo de la tuna. La Rioja, Argentina: Instituto de Zonas Áridas.
- Ricarte, R.A., Gómez, J.C. y Reynoso, A.A. 1998. Diagnóstico de las plantaciones de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en los departamentos Chamental y General Belgrano, La Rioja. p.59-101, *in*: Estudios sobre pastizales naturales y el cultivo de la tuna. La Rioja, Argentina: Instituto de Zonas Áridas.
- Rios, L. A. 1954. El nopal y la oveja. Una esperanza para las zonas desérticas mexicanas. Memorandum Técnico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 6 p.
- Riveros, E. V., García de Cortázar y G. García. 1990. Uso de cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como suplemento forrajero estival para ovinos en crecimiento. *Avances en Produccion Animal*. 15 (1-2):81-88.
- Rodríguez-Felix, A. y Cantwell, M. 1988. Developmental changes on the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plants Food for Human Nutrition*, 38 :83-93.
- Rojas, T. (coord.) 1990. La Agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días. México: CONACULTA-Grijalbo. 420 p.
- Rojas, T., & Sanders, W. T. (coord.) 1985. Historia de la Agricultura. Época prehispánica. Siglo XVI. México: INAH. 266 p.
- Roussow, C. de W. 1961. The prickly pear native's fodder bank and silo. *Farming in South Africa*, 37(5): 23-26.
- Russell, Ch. E. 1990. Estabilización de la productividad en regiones semiáridas; el caso de un sistema silvopastoril cactus/leguminosas. *Interciencia*, 15: 272-277.
- Russell, C. E. and Felker, P. 1987. The prickly pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): a source of human and animal food in semiarid regions. *Econ. Bot.*, 41: 433-445.
- Russell, C. E. y Felker, P. 1987. Comparative cold hardiness of *Opuntia* spp. and cvs. grown for fruit, vegetable and fodder production. *J. Hort. Sci.*, 62: 545-550.
- Saenz, C. 1985. La tuna (*Opuntia ficus-indica*) un cultivo con perspectivas. *Alimentos*. 3:47-49 pp.
- SAGAR. 1990. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México: T.I. 600 p.
- SAGAR. 1991. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México: T.I. 592 p.
- SAGAR. 1992. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México: T.I. 656 p.
- SAGAR. 1993. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México: T.I. 708 p.
- SAGAR. 1994. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. México: T.I. 1698 p.

- SAGAR. 1995. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. México: T.I. 608 p.
- SAGAR. 1996. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. México: T.I. 733 p.
- SAGAR. 1997. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. México: T.I. 721 p.
- Sahagún de, B. 1997. *Historia General de las Cosas de la Nueva España*. México: Porrúa. 1094 p.
- Santana, P. 1992. Tunas forrajeras (*Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera*) en el nordeste brasileño. Actas del II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
- Santana, O.P., Estirna, A.L. y Farias, I. 1972. Palma versus silagem na alimentação de vacas leiteiras. *Rev. Soc. Bras. Zoot.*, 1(1): 31-40.
- Santos, M.V.F. dos, Lira, M. de A., Burity, H. de A. 1990a. Numero, dimensão e composição química de artigos de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*)cv. «Gigante», de diferentes ordens. *Pesq. Agrop. Pernamb.*, 7: 69-79.
- Santos, M.V.F. dos, Lira, M. de A., Farias, I., et al. 1990b. Estudo do comportamento das cultivares de palma forrageira gigante, redonda (*Opuntia ficus-indica*)e miúda (*Nopalea cochenillifera*) na produção de leite. *Rev. Soc. Bras. Zoot.*, 19(6): 504-511.
- Santos, M.V.F. dos, Lira, M. de A., Farias, I., et al. 1990c. Efeito do periodo de armazenamento pós-colheita sobre s teores de matéria seca e composição química das palmas forrageiras Redonda, Gigante e Miúda. *Pesq. Agrop. Bras.*, 27(6): 777-783.
- Santos, D.C. 1992. Estimativa de parâmetros genéticos em caracteres de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) e (*Nopalea cochenillifera*). Tese de Mestrado, UFRPE, Recife, Brazil. 119 p.
- Santos, D.C. dos, Farias, L., Lira, M. de A. 1996. Produção e composição química da palma forrageira cv. «Gigante» (*Opuntia ficus-indica*)sob adubação e calagem, no Agreste Semiárido de Pernambuco. *Pesq. Agrop. Pernamb. Volume especial*. 9: 69-78.
- Santos, D.C. dos, Lira, M. de A., Santos, M.V.F. dos 1998a. Competição de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), São Bento do Una-PE. p.37-39, in: *Anais 35ªReunião da Soc. Bras. de Zoot.*, Botucatu, Brazil.
- Santos, D.C. dos, Santos, M.V.F. dos, Farias, L. 1998b. Adensamento e frequência de cortes em cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). p.512-514, in: *Anais 35ªReunião da Soc. Bras. de Zoot.*, Botucatu, Brazil.
- SARH. 1984. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*, Tomo I. México. 351 p.
- SARH. 1985. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*, Tomo I. México. 302 p.
- SARH. 1989. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*, Tomo I. México. 586 p.
- Satter, L.D. y Slyter, L.L. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. *British J. of Nutrition*, 32: 199-208.
- Scheinvar, L. 1995. Taxonomy of utilized opuntias. In: G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta B. *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy.
- Shoop, M.C., Alford, E.J. y Mayland, H.F. 1977. Plains prickly pear is good for cattle. *Journal of Range Management*, 30: 12-17.
- Silva, A.A., Correla, E.B., Farias, I. 1974. Intensidade de corte na cultura da palma gigante (*Opuntia ficus-indica*). p.270-271, in: *Anais 11ª Reunião da Soc. Bras. de Zoot.*, Fortaleza, Brazil.
- Silva, H. y E. Acevedo. 1985. Introduccion y adaptacion de *Opuntia* spp. en el secano mediterraneo arido de la IV region. Informe Final. Proyecto 0065. Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 136 pp.

- Silva, F.B.R., Riché, G.R., Tonneau, J.P. 1992. Zoneamento agroecológico do Nordeste – Diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, Brazil: Embrapa-CPATSA. 155 p.
- Silva, F.E. 1931. A importância da palma na alimentação do gado. Secretaria de Viação, Obras Públicas, Agricultura e Indústria. Recife, Brazil. 29p.
- Souza, de A.C. 1963. Revisão dos conhecimentos sobre as «palmas forrageiras». IPA Boletim Técnico, 5. 36 p.
- Steiner, A. A.1976. The development of soilless culture an introduction to the congress. TWOSC Proc. 21 p.
- Steynberg, H., &De Kock, G.C. 1987. Aangeplante weidings in die Veeproduksiestel van die Karoo in arid gebiede. *Karoo Agric.*, 3(10): 4-13.
- SUDENE. 1972. Estudos sobre consórcios. *In: Resultados de trabalhos de pesquisas algodoeiras em convênio com os órgãos regionais de pesquisa do Nordeste-1971/72. SUDENE Serie Agricultura*, 18: 179-214.
- Sudzuki Hills, F. 1995. Anatomy and morphology. p.28-35, *En: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper*, 132.
- Teles, F.F.F. 1978. Nutrient analysis of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). Ph. D Diss. Michigan State University. Ann Arbor, Michigan.
- Teles, F.F.F., Stull, J.W., Brown, W.H. y Whiting, F.M. 1984. Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *J. Science of Food and Agriculture*, 35: 41-425.
- Terblanche, I.L., Mulder, A.M. y Rossouw, J.W. 1971. The influence of moisture content on the dry matter intake and digestibility of spineless cactus. *Agro-animalia*, 3(2): 73-77.
- Theriez, M. 1965. Recherches sur la digestibilité de *Opuntia ficus-indica* var. inermis en Tunisie. Inst. Nat. Rech. Agr.
- Tibón, G. 1993. *Historia del hombre y de la fundación de México*. México: Fondo de Cultura Economica. 894 p.
- Timbau, A.O. 1987. Cactáceas forrageiras. p.74-81, *in: Pecuária intensiva, com uma introdução sobre forrageiras e pastos*. 10th ed.. Sao Paulo, Brazil.
- Ting, L.P. 1985. Crassulacean acid metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36: 595-622.
- Tironi-Compiano, F. y Zuñiga-Oliver, X. 1983. Aspectos tecnológicos y socioeconómicos de la producción de tunas en las comunas de Til-Til y Pudahuel, región metropolitana. B.S. Diss., Santiago Univ. de Chile. 120 p.
- Tisserat, B. E., B. Essan y T. Murashige. 1979. Somatic embryogenesis in angiosperms. *Hort. Reviews*.1:1-78.
- Torres, A. E., M. Ayala J. y J.J. Lopez G. 1990. Evaluacion de dos sistemas de plantacion de nopal forrajero (*Opuntia rastrera* Weber y *O. lindheimeri* var. *lindheimeri* Englemann) *In: J.J. Lopez G. and M. J. Ayala O. Memorias de la 3a. Reunion Nacional y 1a. Reunion Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Saltillo, Coah. México.
- Trabulse, E. 1992a. Historia de la Ciencia en México. Vol. XVII. México: CONACyT/Fondo de Cultura Económica. 298 p.
- Trabulse, E. 1992b. Historia de la Ciencia en México. Vol. XVIII. México: CONACyT/Fondo de Cultura Económica. 514 p.
- Trabulse, E. 1993. Historia de la Ciencia en México. Vol. XVI. México: CONACyT/Fondo de Cultura Económica. 462 p.
- Uden, P. 1984. Laboratory methods for evaluating the nutritive value of untreated and treated fibrous by products. *In: F. Sundstol and E. Owen (eds) Straw and other fibrous by-products as feed*. Amsterdam: Elsevier.
- UN [United Nations]. 1978. UN Conference on Desertification, 1977. New York. 40 p.
- UNEP [United Nations Environment Programme]. 1993. General Assembly INCD. Document A/AC. 241/12. Second Session. Geneve, Switzerland. 86 p.

- Uphoff, T. C., 1916. Cold resistance of spineless cacti. University of Arizona. Agric. Exp. Sta. Bu. 74. Tucson, Arizona.
- Ushida, K., & Jouany, J.P. 1985. Effect of protozoa on rumen protein degradation in sheep. *Reproduction, Nutrition, Développement*, 25: 1075-1081.
- Valdes, F.C., & Aranda O., G. 1997. Opuntia ruminant feeding Systems in México. *J. Professional Association for Cactus Development*, 2: 3-8.
- Valdes G.C., & Flores, C.V. 1967. Alimentación del ganado lechero estabulado en la Cd. de Saltillo, Coahuila. *Escuela Nacional de Agricultura (Inedito) Chapingo, México*.
- Van Soest, P.J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. USA: O. and B. Books Inc.
- Velázquez, E. 1998. *El nopal y su historia*. México: Clio Libros y Videos. 96 p.
- Viana, S.P. 1965. El uso del nopal sin espinas en la alimentación del ganado. p.1461, *in*: Vol. 2 of *Anales 9º Congreso Internacional de Pasturas*. Sao Paulo, Brasil.
- Viana, S. P., Souto, J.P. de M. y Coêlho, A. de A. 1966. Alimentação de bovinos manejados em regime de confinamento. *IPA Boletim Técnico*, 12. 26 p.
- Villarreal, G., A. 1958. El nopal como forraje para el ganado. Mimeo, s/f p.4. *Escuela Nacional de Agricultura, México*. 13 p.
- Walters, M.M. 1951. The effect of season and years on the nutrient content of spineless cactus leaves (*Opuntia ficus-indica*) picked for feeding purposes. *Bull Dept. Chem. Sev.*, 182.
- Wang, X., Felker, P. y Paterson, A. 1997. Environmental influences on cactus pear fruit yield, quality and cold hardiness, and development of hybrids with improved cold hardiness. *J. Professional Association for Cactus Development*, 2: 48-59.
- Wessels, A.B. 1988. *Spineless prickly pears*. Cape Town, South Africa: Luxor Pub.
- Winter, K. 1985. Crassulacean acid metabolism. p.329-387, *En*: J. Barber & N.R. Baker (eds) *Photosynthetic mechanisms and the environment*. Amsterdam: Elsevier.
- Woodward, T.E., Turner, W.F., & Griffiths, D. 1915. Prickly pear feed for dairy cows. *J. Ag. Res.*, [USDA. Washington, D.C.] 4(5): 405-449.
- Yilala, K. 1989. Overcoming the constraints of nitrogen availability to improved crop residue utilisation by ruminants in Burkina Faso. *In*: A.N. Said and D.A. Dzowela (eds) *Overcoming constraints to the efficient utilisation of agricultural by-products as animal feed*. Addis Ababa, Ethiopia.
- Zimer, A.H., Euclides, V.P.B., & Macedo, M.C.M. 1988. Manejo de plantas forrageiras do género *Brachiaria*. p.141-184, *in*: *Anais 9º Simpósio sobre Manejo de Pastagem*. ESALQ, Piracicaba, Brazil.
- Zimmerman, H.G., & Moran, V.C. 1991. Biological control of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 37: 29-35.

Anexo 1 – Sitios de internet con información de nopal

FAO – Cactus Pear as Forage (Technical Bulletins)

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/pasture/CACTUS.HTM>

Cactusnet Newsletter 2000

<http://www.data.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/publicat/Cactusnt/cactus0.htm>

Development of Sustainable Agriculture in Arid Regions of Chile – Paper on “Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) utilization as a feed for ruminants”

<http://ag.arizona.edu/OALS/oals/proj/linkages/cactus/feed.html>

IPGRI - An ethnobotanical inventory

http://www.ciat.cgiar.org/ipgri/fruits_from_americas/frutales/Ficha%20Opuntia%20ficus-indica.htm

Paper on “Controle de plantas daninhas na cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.)”

<http://www.sbz.org.br/eventos/PortoAlegre/homepagesbz/For%5CFOR146.htm>

FAO Electronic Conference – Paper on “The Prickly Pears (*Opuntia* spp., Cactaceae)”.

<http://www.fao.org/ag/aqa/agap/FRG/ECONF95/HTML/OPUNTIA.HTM>

Paper on Biological Control of *Opuntia stricta* in the Kruger National Park

<http://www.parks-sa.co.za/knp/scientificservices/hoffmann%20opuntia.html>

Environmental Affairs Office, Washington State USA - *Opuntia fragilis*

<http://www.wsdot.wa.gov/eesc/environmental/programs/culres/ethbot/m-p/Opuntia.htm>

Arizona – Index of Prickly Pears

<http://arizona.cacti.home.att.net/cacti02.htm>

Paper on “Evaluation of leucaena and cactus pear as forage resources for rabbits”

<http://www.asas.org/jas/papers/1997/mtqabs/rabbitsym.pdf>

Value and Use of *Opuntia polyacantha*

http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/cactus/opupol/value_and_use.html

FAO electronic conference – Paper on “Opuntia-based ruminant feeding systems in Mexico”

<http://ces.iisc.ernet.in/hpg/envis/doc97html/envfoo24.html>

Paper on “Plains Prickly pear: relation to grazing intensity and blue grama yield on central great plains”

<http://jrm.library.arizona.edu/data/1968/212/6beme.pdf>

Native cultivars of cactus pear in Mexico

<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-446.html>

FAO – a paper on “Opuntiae: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region

<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/PUBLICAT/Cactusnt/cactus2.htm>

Cactus homepage of Texas A & M University, including use as forage

<http://www.tamuk.edu/webuser/cactus/>

Paper on “Efeito da adubação e de nematicida no crescimento da palma forrageira cv. Gigante

<http://www.sbz.org.br/eventos/PortoAlegre/homepagesbz/For%5CFOR172.htm>

Prickly Pear Cactus Control

http://www.aginfont.com/agricarta/content/grazing_pasture_technology/prickly_pear.html

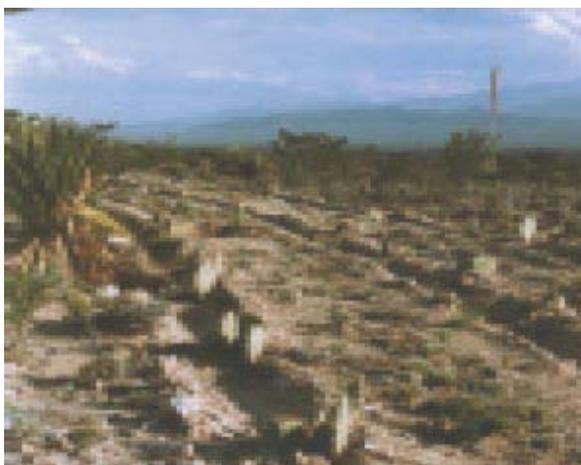
Famine Food Field Guide – *Opuntia ficus-indica*

http://www.telecom.net.et/~undp-eue/faminefoodweb/category1/cat1_Opuntia_sp_ok.htm

Programa de investigación y servicio en nopal

<http://www.chapingo.mx/ciestaam/directorio/nopal.htm>

Anexo 2 – Láminas de color



A) J.J.Lopez



B) A. Nefzaoui



C) C. Flores



D) C. Flores

Lámina 1. La opuntia es la planta de opción para la recuperación de tierras erosionadas y degradadas en México y en varios países del norte de África. También se planta para mejorar productividad de áreas excesivamente utilizadas.

A) La plantación de la *opuntia* en un área semiárida del norte de México se pensó para la recuperación vegetativa de la cubierta.

B) La conservación del suelo en Túnez aprovecha la tolerancia de la *opuntia* a la sequía y su alta productividad.

C) La *opuntia* plantado en un área subtropical del sur central de México para reforzar la conservación simple del suelo.

D) Un proyecto de la recuperación del prado en México central incluye la colección del agua de lluvia y el opuntia espinoso para la producción de fruta y forraje.



A) D. Cordeiro



C) J.J.Lopez



C) D. Cordeiro



B) A. Nefzaoui

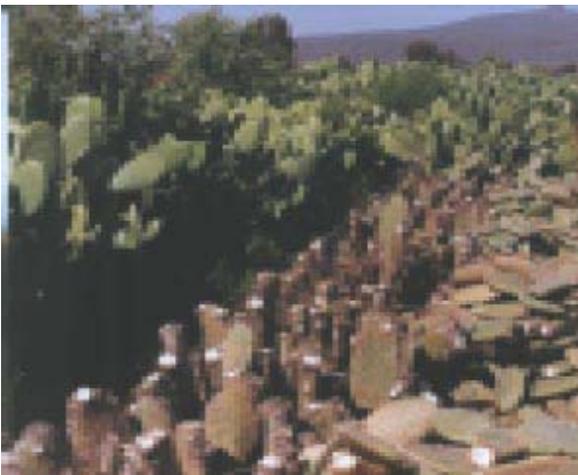
Lámina 2. Las pencas de *opuntia* se taján antes de alimentar al ganado.

A) Interruptor eléctrico pequeño del Brasil.

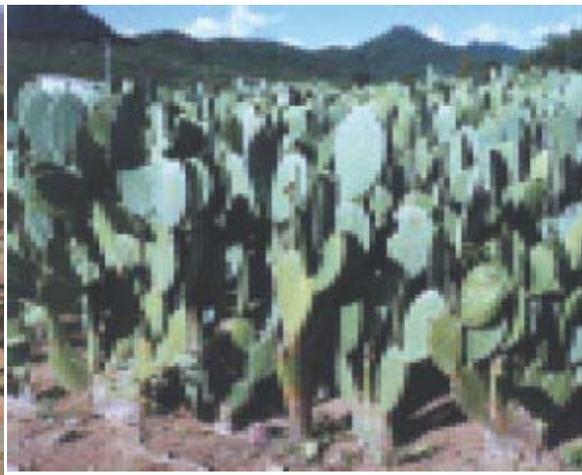
B) Una máquina del norte de México diseñada para una operación diaria de tamaño medio.

C) Entrega de pencas enteras en Brasil.

D) El tajado manual de las pencas de *opuntia* en Túnez. Los dispositivos mecánicos son de diseño local y se construyen generalmente para ordenar en pequeñas tiendas de metal.



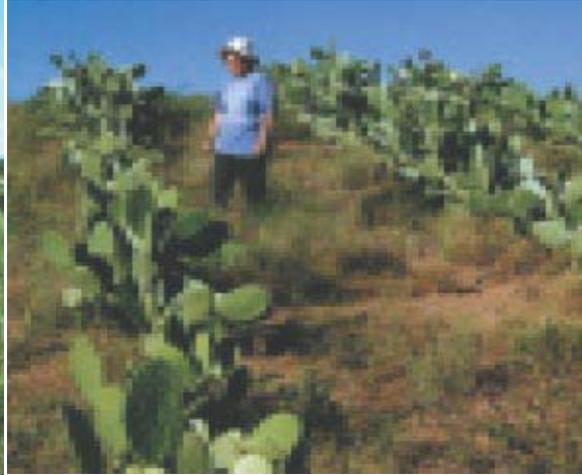
A) C. Mondragon



B) D. Cordeiro



C) A. Nefzaoui



D) C. Guevara

Lámina 3. El cultivo de *Opuntia* se puede ajustar a las necesidades y posibilidades del área.

A) Plantación de alta densidad en camas en México central para la producción intensiva de forraje *Opuntia*. Las plantas pueden ser cosechadas anualmente o cada otro año, irrigación limitada se proporciona a veces.

B) Plantación en zona lluviosa en el noreste del Brasil. Las plantas se cosechan en el tercer año.

C) La cebada en cultivo intercalado entre hileras de *Opuntia*, aumenta el cociente de utilización del suelo y el número de productos obtenidos de un pedazo único de tierra: el grano cereal y el forraje, así como pencas frescas de *Opuntia* para la alimentación animal.

D) *Opuntia* sin espinas plantada en hileras para la producción de forraje en Mendoza, Argentina.



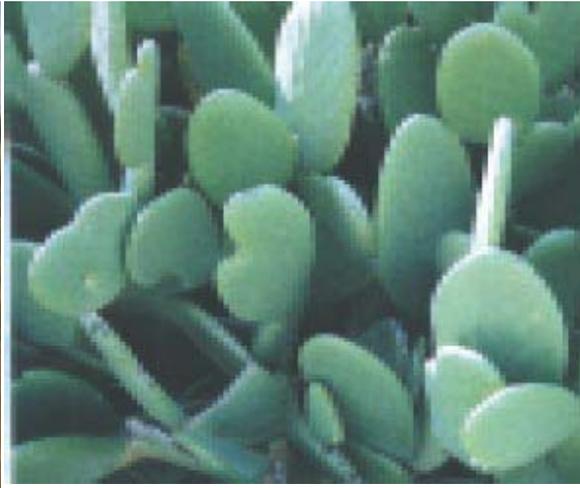
A) C. Mondragon



B) C. Mondragon



C) C. Mondragon



D) C. Mondragon

Lámina 4. *Opuntia* sin espinas seleccionado para la producción de forraje.

A) CPF1, obtenido por el último F. Barrientos en Chapingo, México.

B), C) y D) Muchas de las *O. cus-indica* sin espinas, pueden tener mas de un uso, la producción de fruta y forraje es una combinación interesante. "Amarilla Grande" seleccionó por esto sus grandes frutas jugosas y los cladodes sin espinas "Selección Pabellón" los cuales producen la fruta roja, son algunos ejemplos.

CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETAL

- 1 Horticulture: a select bibliography, 1976 (I)
- 2 Cotton specialists and research institutions in selected countries, 1976 (I)
- 3 Las leguminosas alimenticias: su distribución, su capacidad de adaptación y biología de los rendimientos, 1978 (E F I)
- 4 La producción de soja en los trópicos, 1978 (C E F I)
- 4 Rev. 1. Soybean production in the tropics (first revision), 1982 (I)
- 5 Les systèmes pastoraux sahéliens, 1977 (F)
- 6 Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 1, 1977 (E F I)
- 6/2 Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 2, 1980 (E F I)

- 6/3 Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 3, 1983 (E F I)
- 7 Rodent pest biology and control – Bibliography 1970-74, 1977 (I)
- 8 Tropical pasture seed production, 1979 (E** F** I)
- 9 Food legume crops: improvement and production, 1977 (I)
- 10 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1977 – Informe, 1978 (E F I)
- 10 Pesticide residues in food 1977 – Evaluations, 1978 (I)
- Sup.
- 11 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1965-78 – Índice y resumen, 1978 (E F I)
- 12 Calendarios culturales, 1978 (E/F/I)
- 13 Empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas, 1978 (E F I)
- 14 Manual de control integrado de plagas del arroz, 1979 (Ar C E F I)
- 15 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1978 – Informe, 1979 (E F I)
- 15 Pesticide residues in food 1978 – Evaluations, 1979 (I)
- Sup.
- 16 Rodenticidas: análisis, especificaciones, preparados para uso en salud pública y agricultura, 1986 (E F I)
- 17 Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos, 1980 (C E F I)
- 18 Guidelines for integrated control of maize pests, 1979 (C I)
- 19 Introducción al control integrado de las plagas del sorgo, 1980 (E F I)
- 20 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1979 – Informe, 1980 (E F I)
- 20 Pesticide residues in food 1979 – Evaluations, 1980 (I)
- Sup.
- 21 Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides, 1980 (F I)
- 22 China: multiple cropping and related crop production technology, 1980 (I)
- 23 China: development of olive production, 1980 (I)
- 24/1 Improvement and production of maize, sorghum and millet – Vol. 1. General principles, 1980 (F I)
- 24/2 Improvement and production of maize, sorghum and millet – Vol. 2. Breeding, agronomy and seed production, 1980 (F I)
- 25 Prosopis tamarugo: arbusto forrajero para zonas áridas, 1981 (E F I)
- 26 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1980 – Informe, 1981 (E F I)
- 26 Pesticide residues in food 1980 – Evaluations, 1981 (I)
- Sup.
- 27 Small-scale cash crop farming in South Asia, 1981 (I)
- 28 Criterios ecológicos para el registro de plaguicidas (segunda consulta de expertos), 1982 (E F I)
- 29 Sesame: status and improvement, 1981 (I)
- 30 Palm tissue culture, 1981 (C I)
- 31 An eco-climatic classification of intertropical Africa, 1981 (I)
- 32 Weeds in tropical crops: selected abstracts, 1981 (I)
- 32 1. Weeds in tropical crops: review of abstracts, 1982 (I)
- Sup.
- 33 Plant collecting and herbarium development, 1981 (I)
- 34 Improvement of nutritional quality of food crops, 1981 (C I)
- 35 Date production and protection, 1982 (I)

- 36 El cultivo y la utilización del tarwi – *Lupinus mutabilis* Sweet, 1982 (E)
- 37 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1981 – Informe, 1982 (E F I)
- 38 Winged bean production in the tropics, 1982 (I)
- 39 Semillas, 1982 (E/F/I)
- 40 La lucha contra los roedores en la agricultura, 1984 (Ar C E F I)
- 41 Rice development and rainfed rice production, 1982 (I)
- 42 Pesticide residues in food 1981 – Evaluations, 1982 (I)
- 43 Manual on mushroom cultivation, 1983 (F I)
- 44 Mejoramiento del control de malezas, 1985 (E F I)
- 45 Pocket computers in agrometeorology, 1983 (I)
- 46 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1982 – Informe, 1983 (E F I)
- 47 The sago palm, 1983 (F I)
- 48 Control integrado de plagas del algodón, 1985 (Ar E F I)
- 49 Pesticide residues in food 1982 – Evaluations, 1983 (I)
- 50 International plant quarantine treatment manual, 1983 (C I)
- 51 Handbook on jute, 1983 (I)
- 52 The palmyrah palm: potential and perspectives, 1983 (I)
- 53/1 Selected medicinal plants, 1983 (I)
- 54 Manual de fumigación contra insectos, 1986 (C E F I)
- 55 Breeding for durable disease and pest resistance, 1984 (C I)
- 56 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1983 – Informe, 1984 (E F I)
- 57 El cocotero, árbol de vida, 1986 (E I)
- 58 Directrices económicas para la lucha contra las plagas en la agricultura, 1985 (E F I)
- 59 Micropropagation of selected rootcrops, palms, citrus and ornamental species, 1984 (I)
- 60 Requisitos mínimos para recibir y mantener material de propagación en cultivo de tejidos, 1985 (E F I)
- 61 Pesticide residues in food 1983 – Evaluations, 1985 (I)
- 62 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1984 – Informe, 1985 (E F I)
- 63 Manual of pest control for food security reserve grain stocks, 1985 (C I)
- 64 Contribution à l'écologie des aphides africains, 1985 (F)
- 65 Amélioration de la culture irriguée du riz des petits fermiers, 1985 (F)
- 66 Sesame and safflower: status and potentials, 1985 (I)
- 67 Pesticide residues in food 1984 – Evaluations, 1985 (I)
- 68 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1985 – Informe, 1986 (E F I)
- 69 Breeding for horizontal resistance to wheat diseases, 1986 (I)
- 70 Breeding for durable resistance in perennial crops, 1986 (I)
- 71 Technical guideline on seed potato micropropagation and multiplication, 1986 (I)
- 72/1 Pesticide residues in food 1985 – Evaluations – Part I: Residues, 1986 (I)
- 72/2 Pesticide residues in food 1985 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1986 (I)
- 73 Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos, 1986 (E F I)
- 74 Ecología y control de malezas perennes en América Latina, 1986 (E I)
- 75 Guía técnica para ensayos de variedades en campo, 1986 (E I)
- 76 Guidelines for seed exchange and plant introduction in tropical crops, 1986 (I)
- 77 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1986 – Informe, 1987 (E F I)
- 78 Pesticide residues in food 1986 – Evaluations – Part I: Residues, 1986 (I)

- 78/2 Pesticide residues in food 1986 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1987 (I)
- 79 Tissue culture of selected tropical fruit plants, 1987 (I)
- 80 Improved weed management in the Near East, 1987 (I)
- 81 Weed science and weed control in Southeast Asia, 1987 (I)
- 82 Hybrid seed production of selected cereal, oil and vegetable crops, 1987 (I)
- 83 El litchi y su cultivo, 1987 (E I)
- 84 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1987 – Informe, 1988 (E F I)
- 85 Manual sobre elaboración y empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas, 1988 (E F I)
- 86/1 Pesticide residues in food 1987 – Evaluations – Part I: Residues, 1988 (I)
- 86/2 Pesticide residues in food 1987 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1988 (I)
- 87 Root and tuber crops, plantains and bananas in developing countries – challenges and opportunities, 1988 (I)
- 88 Jessenia y Oenacarpus: palmas aceiteras neotropicales dignas de ser domesticadas, 1992 (E I F)
- 89 Vegetable production under arid and semi-arid conditions in tropical Africa, 1988 (F I)
- 90 El cultivo protegido en clima mediterráneo, 2002 (E F I)
- 91 Pasto y ganado bajo los cocoteros, 1994 (E I)
- 92 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1988 – Informe, 1989 (E F I)
- 93/1 Pesticide residues in food 1988 – Evaluations – Part I: Residues, 1988 (I)
- 93/2 Pesticide residues in food 1988 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1989 (I)
- 94 Utilization of genetic resources: suitable approaches, agronomical evaluation and use, 1989 (I)
- 95 Rodent pests and their control in the Near East, 1989 (I)
- 96 Striga – Improved management in Africa, 1989 (I)
- 97/1 Fodders for the Near East: alfalfa, 1989 (Ar I)
- 97/2 Fodders for the Near East: annual medic pastures, 1989 (Ar F I)
- 98 An annotated bibliography on rodent research in Latin America 1960-1985, 1989 (I)
- 99 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1989 – Informe, 1989 (E F I)
- 100 Pesticide residues in food 1989 – Evaluations – Part I: Residues, 1990 (I)
- 100/2 Pesticide residues in food 1989 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1990 (I)
- 101 Soilless culture for horticultural crop production, 1990 (I)
- 102 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1990 – Informe, 1991 (E F I)
- 103/1 Pesticide residues in food 1990 – Evaluations – Part I: Residues, 1990 (I)
- 104 Major weeds of the Near East, 1991 (I)
- 105 Fundamentos teórico-prácticos del cultivo de tejidos vegetales, 1990 (E)
- 106 Technical guidelines for mushroom growing in the tropics, 1990 (I)
- 107 Gynandropsis gynandra (L.) Briq. – a tropical leafy vegetable – its cultivation and utilization, 1991 (I)
- 108 La carambola y su cultivo, 1991 (E I)
- 109 Soil solarization, 1991 (I)
- 110 Potato production and consumption in developing countries, 1991 (I)
- 111 Pesticide residues in food 1991 – Report, 1991 (I)
- 112 Cocoa pest and disease management in Southeast Asia and Australasia, 1992 (I)
- 113/1 Pesticide residues in food 1991 - Evaluations -Part I: Residues, 1991 (I)

- 114 Integrated pest management for protected vegetable cultivation in the Near East, 1992 (I)
- 115 Olive pests and their control in the Near East, 1992 (I)
- 116 Residuos de plaguicidas en los alimentos 1992 – Informe 1992, 1993 (E F I)
- 117 Semilla de calidad declarada, 1995 (E F I)
- 118 Pesticide residues in food - 1992 - Evaluations - Part I: Residues, 1993 (I)
- 119 Quarantine for seed, 1993 (I)
- 120 Weed management for developing countries, 1993 (I E)
- 120/1 Weed management for developing countries, Addendum 1, 2003 (I)
- 121 Rambutan cultivation, 1993 (I)
- 122 Residuos de plaguicidas en los alimentos – 1993 Informe conjunto FAO/OMS, 1995 (I E F)
- 123 Rodent pest management in eastern Africa, 1994 (I)
- 124 Pesticide residues in food 1993 – Evaluations – Part I: Residues, 1994 (I)
- 125 Plant quarantine: theory and practice, 1994 (Ar)
- 126 Tropical root and tuber crops - Production, perspectives and future prospects, 1994 (I)
- 127 Residuos de plaguicidas en los alimentos, 1996 (E I)
- 128 Manual sobre elaboración y empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas – Cuarta edición, 1997 (I E F)
- 129 Mangosteen cultivation, 1995 (I)
- 130 Post-harvest deterioration of cassava - A biotechnology perspectives, 1995 (I)
- 131/1 Pesticide residues in food 1994 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 1, 1995 (I)
- 131/2 Pesticide residues in food 1994 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 2, 1995 (I)
- 132 Agroecología, cultivo y usos del nopal, (I E) 1999
- 133 Pesticide residues in food 1995 – Report, 1996 (I)
- 134 Number not assigned
- 135 Citrus pest problems and their control in the Near East, 1996 (I)
- 136 El pepino dulce y su cultivo, 1996 (E)
- 137 Pesticide residues in food 1995 – Evaluations – Part I: Residues, 1996 (I)
- 138 Sunn pests and their control in the Near East, 1996 (I)
- 139 Weed management in rice, 1996 (I)
- 140 Pesticide residues in food 1996 – Report, 1996 (I)
- 141 Cotton pests and their control in the Near East, 1997 (I)
- 142 Pesticide residues in food 1996 – Evaluations – Part I: Residues, 1997 (I)
- 143 Management of the whitefly-virus complex, 1997 (I)
- 144 Plant nematode problems and their control in the Near East region, 1997 (I)
- 145 Pesticide residues in food 1997 – Report, 1998 (I)
- 146 Pesticide residues in food 1997 – Evaluations – Part I: Residues, 1998 (I)
- 147 Soil solarization and integrated management of soilborne pests, 1998 (E)
- 148 Pesticide residues in food 1998 – Report, 1999 (I)
- 149 Manual on the development and use of FAO specifications for plant protection products – Fifth edition, including the new procedure, 1999 (I)
- 150 Restoring farmers' seed systems in disaster situations, 1999 (I)
- 151 Seed policy and programmes for sub-Saharan Africa, 1999 (I)
- 152/1 Pesticide residues in food 1998 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 1, 1999 (I)
- 152/2 Pesticide residues in food 1998 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 2, 1999 (I)
- 153 Pesticide residues in food 1999 – Report, 1999 (I)

- 154 Greenhouses and shelter structures for tropical regions, 1999 (I)
 155 Vegetable seedling production manual, 1999 (I)
 156 Date palm cultivation, 1999 (I)
 156 Date palm cultivation, 2002 (I)
 Rev1
 157 Pesticide residues in food 1999 – Evaluations – Part I: Residues (I)
 158 Ornamental plant propagation in the tropics, 2000 (I)
 159 Seed policy and programmes in the Near East and North Africa, 2000 (I)
 160 Seed policy and programmes for Asia and the Pacific, 2000 (I)
 161 Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos, 2001 (E I)
 162 Grassland resource assessment for pastoral systems, 2001, (I)
 163 Pesticide residues in food 2000 – Report, 2001 (I)
 164 Políticas y programas de semillas en América Latina y el Caribe, 2001 (E I)
 165 Pesticide residues in food 2000 – Evaluations – Part I, 2001 (I)
 166 Global report on validated alternatives to the use of methyl bromide for soil fumigation, 2001 (I)
 167 Pesticide residues in food 2001 - Report, 2001 (I)
 168 Seed policy and programmes for the Central and Eastern European countries, Commonwealth of Independent States and other countries in transition, 2001 (I)
 169 El nopal (Opuntiaspp.) como forraje, 2003 (I E)
 170 Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed, 2002 (I)
 171 Pesticide residues in food 2001 – Evaluations – Part I, 2002 (I)
 172 Pesticides residues in food, 2002 – Report, 2002 (I)
 173 Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides, 2002 (I)
 174 Genotype x environment interaction – Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations, 2002 (I)
 175/1 Pesticide residues in food 2002 – Evaluations – Part 1: Residues – Volume 1 (I)
 175/2 Pesticide residues in food 2002 – Evaluations – Part 1: Residues – Volume 2 (I)

Disponibilidad: noviembre de 2003

Ar – Árabe Multil – Multilingüe
 C – Chino * Agotado
 E – Español ** En preparación
 F – Francés (E F I) = ediciones separadas en español, francés e inglés.
 I – Inglés

P – Portugués (E/F/I) = edición trilingüe

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los Puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente solicitándolos al Grupo de Ventas y Comercialización, FAO, Viale delle Terme di Caraca a, 00100 Roma, Italia.

Cubierta Posterior

Las Opuntias son plantas de usos múltiples que se utilizan cada vez más en los sistemas agrícolas de las zonas áridas y semiáridas, y que constituyen un componente clave de la productividad y sostenibilidad de estas regiones. Esta publicación presenta información científica y práctica actualizada sobre el uso en diversos países del nopal *Opuntia* spp. como forraje para el ganado. Debido a su alta eficiencia de uso del agua, *Opuntia* spp. es especialmente útil como forraje en épocas de sequía y en zonas donde muy pocas otras plantas pueden ser cultivadas. Se estima que existen en el mundo 900 000 hectáreas cultivadas con *Opuntia* spp. para la producción de forraje.