



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (1): 038-079. Enero-Junio, 2012
<http://www.rvcta.org>
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2012. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

Innovaciones en el agordesarrollo de las cactáceas

Innovations in the agro-development of cactus plant

Carlos Alberto **Padrón Pereira**

Asociación RVCTA. Avenida Andrés Bello N° 101-79, Sector La Pastora, Municipio Valencia,
Estado Carabobo, C. P. 2001, Venezuela. E-correo: carlospadron1@gmail.com

Aceptado 10-Abril-2012

Resumen

La globalización de los mercados ofrece nuevas oportunidades de desarrollo del campo en especial a recursos subutilizados en algunos países como las cactáceas, debido en parte a que, en cada país, los modelos culturales y de cultivo son diferentes. El cambio climático está generando nuevas dinámicas en dichos modelos que pueden llegar a ser sostenibles o disruptivas y las cactáceas se presentan en ciertos aspectos como alternativas para la sustentabilidad de algunos sistemas; aunque también pueden verse afectadas. Lo expresado genera estudios diversos y en distintas especialidades. En este trabajo se presenta una recopilación de información existente y actualizada sobre temas relacionados con el aprovechamiento, la morfoanatomía, la germinación y desarrollo de las cactáceas, el cultivo *in vitro*, como también aspectos relativos a parámetros fisicoquímicos, la poscosecha y una reseña sobre cactáceas epífitas y/o trepadoras, las menos estudiadas.

Palabras claves: Cactaceae, cultivo *in vitro*, germinación de semillas, morfoanatomía, poscosecha, producción, epífito.

Abstract

Market globalization offers new opportunities for the development of the field, especially under utilized resources such as cacti; in some countries, this is partially due to differences in crop management, and cultivation models among countries. Climate change is creating new dynamics in such models which can become sustainable or disruptive. Cacti are in some aspects good alternatives to achieve the sustainability of some systems, although, they may also be affected. This previously

expressed generates numerous studies in different specialties. This revision presents a compilation of the existing and updated information on issues related to the uses, morphoanatomy, germination and development of cacti, *in vitro* cultivation, as well as aspects of physicochemical parameters, postharvest and a review of epiphytes cacti and/or climbing plants, as the least studied species.

Key words: Cactaceae, epiphyte, *in vitro* culture, morpho-anatomy, post-harvest, production, seed germination.

INTRODUCCIÓN

La familia Cactaceae contiene entre 1500 y 1800 especies, tradicionalmente divididas en tres subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae, siendo sugerida una cuarta subfamilia: Maihuenioideae (Nyffeler, 2002; Mihalte *et al.*, 2010). La subfamilia Opuntioideae contiene entre 220 y 350 especies (Griffith y Porter, 2009). El cactus (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.)) es una especie originaria de México y por siglos se ha constituido en la base alimentaria de sus poblaciones locales (Turkon, 2004). En el siglo XVI fue llevado a Europa por los españoles. Es un cultivo generalizado en todos los continentes con presencia constante en la ganadería y la dieta humana (Inglese, 2010).

Ha sido informado por Inglese (2010) que en México, mas de 70.000 ha se dedican a la producción de frutos en plantaciones especializadas en Zacatecas, Saltillo y Durango, entre otras regiones, y más de 1 millón de hectáreas a la producción de forraje. Para la producción frutícola, en Argentina hay plantaciones especializadas en Santiago del Estero, Tucumán y Catamarca, que cubren alrededor de 1.000 ha, en Chile poco mas de 1.000 ha y en Italia alrededor de 3.000 ha. En Brasil 300.000 ha de *Opuntia* se dedican a la producción de forraje y recientemente se estimó que el semiárido brasileño posee una superficie cultivada de nopal superior a 600.000 ha (Torres-Sales, 2010); informaciones que en la práctica pueden ser subestimadas siendo aún mayores.

En cada región se elaboran subproductos de la transformación de los frutos y cladodios destinados al consumo humano o usos no alimentarios (Barbera *et al.*, 1995). Desde el siglo XIX en Italia y el siglo XX en el resto del mundo, las especies de cactus se cultivan a gran escala con fines comerciales siendo los modelos culturales y de cultivo muy diferentes pero de igual importancia (Inglese, 2010).

Al menos el 30 % de las especies de cactáceas mexicanas se encuentran en situación de riesgo, siendo las principales causas: el cambio de usos del suelo, que provoca que los ambientes naturales sean completamente transformados, ya sea en áreas agrícolas, ganaderas o utilizados con fines urbanos, generando la pérdida indirecta de muchas poblaciones de especies silvestres, la introducción de especies exóticas y la recolecta directa de ejemplares. Como medidas de protección se han sugerido la recolección y la preservación de semillas, el cultivo de plantas en invernaderos con el fin de propiciar la investigación, la introducción de plantas a sus hábitats naturales y fomentar un comercio legal. Todas estas consideraciones las sostiene Jiménez-Sierra (2011). Por otra parte, el cambio climático amenaza la sustentabilidad de los sistemas de producción ganadera y los cactus prometen ser una herramienta para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera bajo este contexto (Ben Salem y Nefzaoui, 2010).

El libro editado por Mondragón-Jacobo *et al.* (2003) constituye una referencia de inte-

rés que trata temas enfocados principalmente al uso de *Opuntia* como forraje y su ecofisiología, así como sobre recursos genéticos y cultivo para la producción de forraje y producción bajo condiciones de hidroponía. Otra importante fuente de información compendiada es el libro de Sáenz *et al.* (2006), que presenta temas relacionados con operaciones de campo requeridas para asegurar la calidad de la materia prima destinada a la producción agroindustrial, principios técnicos generales para la utilización de los frutos de *Opuntia* spp., ofrece una síntesis de las experiencias en el mundo basadas en estudios de caso sobre la utilización agroindustrial de *Opuntia* spp. en distintos países, y presenta pautas básicas para el desarrollo de cadenas y redes de valor en base al cultivo.

El desarrollo de nuevas investigaciones y la información que se deriva a través de la literatura publicada, amerita la necesidad de ser recopilada por ser extensa y encontrarse dispersa, y en tal sentido, el presente trabajo consolida información actualizada que fue revisada sobre cactáceas en temas relacionados con su aprovechamiento, la morfoanatomía, la germinación y desarrollo, el cultivo *in vitro*, parámetros fisicoquímicos, poscosecha y especies epífitas y/o trepadoras.

CONTENIDO

- 1.- Aprovechamiento, producción y adaptabilidad
- 2.- Morfoanatomía
- 3.- Germinación y desarrollo
 - 3.1.- Cultivo *in vitro*
- 4.- Parámetros fisicoquímicos
- 5.- Poscosecha
- 6.- Cactus epífitos y/o trepadores

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.- Aprovechamiento, producción y adaptabilidad

La ganadería en las regiones semiáridas y áridas es fuertemente afectada por las sequías

e irregularidades de las lluvias, causando baja disponibilidad de forrajes, lo que genera que los ganaderos utilicen alimentos de alto costo que incrementa los costos de producción. Los cactus se presentan como alternativa para estas regiones por su alta eficiencia en la utilización del agua (Torres-Sales, 2010). La succulencia en *O. ficus-indica* permite mantener la actividad fotosintética cinco meses después de que cesan las lluvias (Zañudo-Hernández *et al.*, 2010) y se ha señalado que con humedad limitada en el suelo se incrementa significativamente la proporción de biomasa de los nopalitos (cladodios jóvenes) (Camacho-C. *et al.*, 2007). Estos cultivos manejados adecuadamente mediante tecnologías de cultivo tradicional o intensivo se transforman en fuente de forraje de buena calidad a bajo costo y agua, permitiendo viabilidad económica en los sistemas de producción ganaderos (Torres-Sales, 2010).

Nefzaoui (2010) señala que el método de utilización de cladodios de cactus para el ganado difiere según las circunstancias, tales como la mano de obra disponible, las instalaciones y disponibilidad del material. Aunque el pastoreo de los cladodios *in situ* es el método más simple, no es lo más recomendado y debe cuidarse que los animales no sobrepastoreen las plantas. El método más común es cortar y alimentar en el interior. Los cladodios pueden ser ensilados y se utilizan cuando es necesario, siendo más económico almacenar los cladodios como partes de plantas vivas en lugar de ensilar o secar. Jiménez-Sierra (2011) ha señalado que las cactáceas son elementos importantes en la estructura y la dinámica de las comunidades de las zonas semidesérticas y su desaparición conlleva a un proceso de empobrecimiento biológico y a la pérdida de recursos útiles para las poblaciones humanas, siendo el ganado una amenaza directa cuando se utilizan las cactáceas como forraje vivo.

Con base en estimaciones de la alta digestibilidad de materia seca (*in vitro*) y los niveles elevados de energía y proteínas, Pinos-

Rodríguez *et al.* (2010) evidenciaron que la calidad de los cladodios de *Opuntia ficus-indica* cultivado bajo fertilización y riego por goteo como alimento de rumiantes es comparable a forrajes convencionales de alfalfa y maíz.

La sustitución de harina de maíz por *Opuntia ficus-indica* L. Miller, en la alimentación de cabras, reduce el contenido de extracto etéreo de la dieta con influencias en la calidad fisicoquímica de la leche de cabra, llevando a una disminución en la grasa, sólidos totales, ácidos grasos monoinsaturados y deseable concentración de ácidos grasos (Costa *et al.*, 2010). Aranda-Osorio y Flores-Valdez (2011) compilaron información que muestra que la inclusión de nopal en dietas animales tiene un efecto directo en la calidad nutritiva de la carne desde la perspectiva de su composición de ácidos grasos, sin afectar su palatabilidad.

Existen otras especies que han sido utilizadas para alimentar ganado caprino, bovino, ovino, porcino y en la cría de conejos y aves de corral (Reveles-Hernández *et al.*, 2010). El uso del cactus columnar *Stenocereus griseus* como forraje en la cría de cabras es muy utilizado por la comunidad indígena Wayúu en la Guajira, Caribe colombiano. El contenido acuoso-oleífero del parénquima de *Stenocereus griseus* se deja expuesto al animal, después de hacer una incisión a la epidermis para que se abastezca de alimento y se hidrate (Villalobos *et al.*, 2007). Existe un primer registro (mediante observación directa) de herbivoría por guanaco (*Lama guanicoe*) sobre *Tephrocactus alexanderi* (Britton & Rose) Backeberg, especie endémica del desierto del Monte en la Provincia de San Juan en Argentina (Gurvich, 2010).

La inclusión de cladodios de cactus en dietas de ovinos en cantidades de 15 y 30 %, sin afectar el desarrollo de los animales, permite la reducción de los costos del alimento en aproximadamente 48 y 65 %, respectivamente (Aranda-Osorio *et al.*, 2008). De manera similar, Aguilar-Yáñez *et al.* (2011) en un estudio con inclusión de cactus fresco, y

también deshidratado, en cantidades de 17 % versus una dieta control, determinaron que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto al desarrollo de los ovinos, y el análisis económico mostró un incremento en la ganancia neta de 25 y 37 % para dietas con cactus fresco y deshidratado, respectivamente.

Fuentes *et al.* (2006) estudiaron la digestibilidad *in situ* de la materia seca de 4 especies de cactus determinando las siguientes variaciones: 86,27 % para *O. lindheimeri* var. *lindheimeri*, 54,67 % *O. rastrera*, 57,25% *O. megacantha* y 62,56% para *O. lindheimeri* var. *subarmatha*.

Ben Salem y Nefzaoui (2010) en relación al ganado y los cactus, recomiendan fomentar investigaciones sobre el suministro de proteínas, la administración de taninos y saponinas, el impacto en las bacterias y protozoos del rumen, cactus en dietas mixtas completas y el efecto del ácido málico en cactus sobre la microflora y la metanogénesis, entre otras.

La producción de forraje, sea de nopal o cualquier otra especie, es un sistema en el que se conjuga una serie de procesos para lograr el objetivo deseado que es la máxima producción de materia seca con la máxima calidad nutritiva. Los procesos que participan en el sistema de producción de forrajes, inician con la selección adecuada de la especie y variedad, la cual debe ser apta para las condiciones de suelo, clima y manejo de la explotación, seguida del establecimiento (preparación del terreno), manejo (fertilización, riegos, control de malezas, plagas y enfermedades), cosecha (etapa de madurez, monitoreo en campo, programación) y conservación (ensilaje, henificado) (Flores-Ortiz y Reveles-Hernández, 2010).

En el cultivo de *Opuntia* spp., la fertilización con estiércol permite obtener mejores rendimientos (Salazar-Sosa *et al.*, 2011). El incremento en la población de plantas de *Opuntia ficus-indica* Mill. reduce el número de cladodios por planta, no obstante, el desarro-

llo morfológico (en número, perímetro y longitud) de los cladodios del cactus se incrementa con la fertilización orgánica (estiércol) (dos Santos *et al.*, 2010). Asimismo, la biomasa de raíces por hectárea se ve afectada negativamente por el incremento de la población de plantas y la ausencia de fertilización orgánica. Cuando estiércol es añadido, la fluctuación en la biomasa de las raíces es menor. Esto trae como consecuencia implicaciones en la tolerancia a la sequía y persistencia de la planta, por lo que regiones propensas a la sequía y baja pluviosidad no deberían tener alta densidad de poblaciones de plantas con el fin de maximizar el desarrollo de la raíz por planta (Dubeux Jr. *et al.*, 2010).

Guevara *et al.* (2009) relatan que algunas limitaciones en sistemas de producción de forraje a partir de especies de cactus son la presencia de espinas y poca tolerancia al frío. En alimentación animal muchas veces los animales las ingieren sin ningún manejo y como resultado las espinas forman lesiones en la boca y tejidos del esófago que conllevan a problemas de salud. Algunas alternativas son la quema de espinas, no obstante, debido al alza en los precios de los combustibles el leve quemado de las plantas resulta costoso; y en este sentido, hallazgos en genética aseguran superar estas limitaciones. Cruzas totales entre hermanos indican que la heredabilidad de las espinas está probablemente controlada por un gen simple. Híbridos interespecíficos entre *O. ficus-indica*, de crecimiento rápido, sensible al frío y sin espinas con *O. lindheimerii* Engelm., resistente al frío, con espinas y de crecimiento más lento, han identificado progenie sin espinas (Guevara *et al.*, 2009; Felker *et al.*, 2010), con mayor resistencia al frío que *O. ficus-indica* y mayor productividad que *O. ellisiana*, especie sin espinas y tolerante al frío. Sobre esta progenie ya sido demostrado que con fertilización nitrogenada es posible obtener una alta producción de biomasa en regiones que son demasiado frías para *O. ficus-indica* y con solo 156 mm de lluvia por año (Guevara *et al.*, 2011).

Mondragón-Jacobo (2010) señala que el cultivo del cactus en México depende de las variedades tradicionales, pero el mercado global impone nuevos retos y hace mención a los cultivares multipropósitos. El autor presentó tres nuevos cultivares de primera generación de variedades mejoradas. “Juanita” (híbrido de RCNF x “Roja Rosalito”): cultivar con cladodios suaves sin espinas, multipropósito (frutos, vegetales o forraje); “Virreyna”: 20 % menos semillas que el cv. “Reyna”; y “Tricolor” (híbrido de “Roja Lisa” (LT07) x “Cristalina”). Los tres cultivares están adaptados a zonas semiáridas con pluviosidad de 380 a 650 mm, altitud de 2000 a 2400 msnm y suelos ligeramente alcalinos.

Existen áreas donde sus suelos no son adecuados para la agricultura tradicional, pero el clima si lo permitiría, sumado a esto, el agotamiento y contaminación de los suelos sugiere el uso de sistemas de producción de cactus como los hidropónicos, donde los medios de cultivo en general emplean agua, arena, grava, serrín, entre otros, simulando lo que hace el suelo (Vázquez-Alvarado *et al.*, 2010). En este sentido diversos estudios se han llevado a cabo.

La posible afectación de especies de *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) a las altas salinidades fue estudiada por Franco-Salazar y Véliz (2007). Cladodios basales y apicales se cultivaron bajo condiciones de hidroponía y vivero con concentraciones de NaCl de 0, 50, 100 y 150 mol/m³. Los análisis estadísticos revelaron una interacción significativa de los factores salinidad y tiempo sobre los volúmenes de ambos cladodios. En cladodios apicales hubo un aumento de volumen en todas las salinidades. En cladodios basales los autores observaron un aumento constante sin NaCl (0 mol/m³), a 50 mol/m³ un ligero aumento a partir del día 30, mientras que a 100 y 150 mol/m³ un descenso del volumen a los 30 días para luego ascender hasta el día 70. El comportamiento en cladodios basales sugirió que la solución de cultivo inicialmente impuso

un estrés hídrico en la planta ocasionando disminución del volumen en la medida en que aumentaba la salinidad y el aumento al final fue debido a la adaptación a la salinidad, es decir, hubo recuperación del volumen frente al estrés salino. En contraposición a este estudio, Nerd *et al.* (1991) quienes estudiaron la tolerancia al NaCl en concentraciones de 5 a 200 mol/m³ en cladodios de 1 año de edad, de la misma especie (cv. 'Ofer'), concluyeron que bajo estrés salino no ocurre ajuste osmótico.

La producción de cuatro cultivares de *O. ficus-indica* ('Villanueva', 'Jalpa', 'Copena-V1' y 'Copena-F1') en un sistema hidropónico con reciclaje de la solución nutritiva empleando agua con un alto contenido de sales fue evaluada por Vázquez-Alvarado *et al.* (2009). El sustrato fue una mezcla de 73,88 % de arena, 12,72 % de limo y 13,40 % de arcilla. La solución nutritiva estuvo constituida por 282 ppm de N, 60 ppm de P, 250 ppm de K, 200 ppm de Ca, 50 ppm de Mg, 0,5 ppm de Fe, 0,25 ppm de Zn, 0,25 ppm de Mn, 0,25 ppm de B, 0,02 de Cu y 0,01 ppm de Mb. Los cladodios fueron plantados hasta 1/3 de su longitud, efectuándose el primer corte 2 meses después de plantados. Los resultados promedios de 22 cosechas (cortes) indicaron un mayor valor de rendimiento para el cv. 'Villanueva' (69 t/ha).

Ramírez-Tobías *et al.* (2010) evaluaron la productividad en nopalitos y forraje para 4 especies de cactus (*Nopalea cochenillifera*, *Opuntia ficus-indica*, *O. robusta* ssp. *larreyi* y *O. undulata* x *O. tomentosa*) creciendo en condiciones de invernadero hidropónico, determinando que la productividad de nopalitos fue similar para las 4 especies pero diferente en la productividad de forraje.

En otro sentido, con fines ecológicos, es de hacer notar un estudio realizado por Masyr y Peachey (2011) aprovechando al cactus *Ritterocereus griseus* con miras a reducir las cantidades de fosfatos y sedimentos que llegan al océano a través de la escorrentía y de esta manera mantener los ecosistemas de arrecifes de coral en Bonaire. Simulando a la lluvia, la

evidencia obtenida sugirió que su utilización como cerco vivo puede reducir la cantidad de escurrimiento. También cabe destacar el trabajo de Vázquez-Alvarado *et al.* (2011) en el que se revisan los procedimientos de la reforestación para promover la conservación del suelo y agua a base de nopales (opuntias) y magueyes (agaves).

2.- Morfoanatomía

El conocimiento de la diversidad genética es una herramienta útil en la gestión de bancos genéticos, identificación y/o eliminación de duplicados, clasificar a los grupos en base de sus usos actuales y potenciales, identificar las accesiones con características agronómicas deseadas para una evaluación más precisa, identificar las interrelaciones entre los grupos geográficos de los cultivares y estimar la magnitud de las variaciones en la colección (Chessa, 2010).

Existe una amplia lista de descriptores estándar aceptados que se utilizan para optimizar las características de las colecciones y accesiones de cactus como resultado de las actividades conducidas por la Food and Agriculture Organization of the United Nations-International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, International Technical Cooperation Network on Cactus (FAO-ICARDA CACTUSNET) (Chessa y Nieddu, 1997; Chessa, 2010, Mondragón-J. y Chessa, 2010). La lista ha sido utilizada para optimizar el manejo de colecciones de *Opuntia* establecidas por la Universidad de Santiago del Estero en Argentina (Ochoa, 2003) y también sobre 12 variedades de la colección de *Opuntia* de la Universidad de Sassari en Italia, para aportar información mas completa de rasgos descriptivos específicos relacionados con la producción de frutos (Chessa *et al.*, 2006). También son de hacer notar las directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad (DHE) en variedades de 2 grupos de *Opuntia* (chumbero,

nopal tunero, tuna y xoconostles) de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales ('International Union for the Protection of New Varieties of Plants' siglas UPOV), que permiten identificar caracteres apropiados para el examen DHE y producir descripciones armonizadas de variedades (UPOV, 2006); utilizadas por Gallegos-Vásquez *et al.* (2011) en la evaluación de 29 especies de *Opuntias* mediante 24 caracteres cuantitativos. Otros descriptores han sido propuestos con un mínimo de caracteres de mayor prioridad, para proporcionar mayor normalización entre las colecciones, así como mejorar la utilización de las accesiones. Potgieter y Mashope (2009) propusieron un modelo de conservación del germoplasma para que fuese adoptado para cactus en Sudáfrica que permite la interacción entre la conservación, evaluación y utilización. Reyes-Agüero *et al.* (2005a) publicaron un trabajo cuyos objetivos fueron: a) integrar notas sistemáticas sobre la nomenclatura común, origen, biología de la reproducción y niveles de ploidía de *Opuntia ficus-indica*, b) presentar una descripción botánica completa con base en especímenes recolectados en la región centro-norte de México, y c) discutir las relaciones taxonómicas con otras especies de *Opuntia* con las cuales se ha relacionado. En Ecuador durante una revisión de las colecciones de cactáceas presentes en los principales herbarios del país, Loaiza *et al.* (2009) evidenciaron una clara desinformación y desactualización sobre algunos cambios a nivel taxonómico realizados en los últimos años, y dada la importancia de estos cambios, revisaron toda la documentación respectiva a fin de poder analizar y exponer los criterios que llevaron a dicha clasificación, con el objetivo de que dicha información fuese puesta a consideración de los principales herbarios del Ecuador. En dicho trabajo se determinó que entre los géneros más diversos sobresalen: *Armatocereus*, *Cleistocactus*, *Opuntia* y *Rhipsalis*. Posteriormente, Loaiza (2010) presentó un trabajo con consideraciones

taxonómicas sobre las cactáceas *Armatocereus laetus* Backeberg y *Armatocereus rupicola* Ritter. Muruaga (2010) relata que en Argentina el género *Rebutia* que se distribuye desde Catamarca hasta Jujuy, cuenta con cerca de 199 nombres de especies. *Rebutia* incluye especies mal definidas o de identidad dudosa, aunque diversos trabajos están orientados a mejorar su taxonomía y sistemática, pero generalmente se ven dificultados por la gran cantidad de nombres de taxones, muchos de los cuales han caído en sinonimia por la numerosa bibliografía, muchas veces dispersa y confusa por la falta de un minucioso análisis poblacional y de ejemplares de herbario. En tal sentido, realizaron un estudio taxonómico fundamentado en el análisis en diferentes poblaciones que habitan en el noroeste de la Argentina, para las provincias de Catamarca, Tucumán, Salta y Jujuy. Para ello, se llevaron a cabo campañas entre los meses de septiembre y marzo (desde 2002 hasta 2009), a fin de estudiarlas en toda su extensión geográfica y observar en función del ambiente donde crecen las distintas variaciones intra e interespecíficas que presentan. El trabajo contribuyó a reconocer a *Rebutia krainziana*, *R. marsoneri* y *R. minuscula* como especies morfológicamente distintas entre sí, segregar a *R. krainziana* y *R. marsoneri* de *R. minuscula* y mejorar el conocimiento sobre la distribución geográfica, endemismo y distintos factores que amenazan a las poblaciones de *R. fabrisii*, *R. krainziana*, *R. marsoneri* y *R. minuscula*. También, existen esfuerzos realizados para la implementación de un programa para la conservación de los cactus cubanos (González-Torres *et al.*, 2011).

Una nueva especie de *Strombocactus* (*Strombocactus corregidora*), que difiere de *S. disciformis*, ha sido descrita e ilustrada por Arias y Sánchez-Martínez (2010), como también, ha sido propuesto por Arias y Terrazas (2008) un notogénero nuevo (*xPachebergia*) asociado con los taxones *Pachicereus pecten-aboriginum* y *Backebergia militaris*.

Desde el punto de vista morfológico, el género *Opuntia* Mill. está compuesto con plan-

tas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas, con tronco bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postradas. Fruto en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico, a menudo comestible (Guillot-Ortiz y Van Der Meer, 2006).

Ochoa *et al.* (2010) recopilaron información dispersa sobre especies de la familia Cactaceae distribuidas en la Provincia de Santiago del Estero (Argentina), creando un libro que mediante ilustraciones fotográficas a color acompañadas de una breve descripción facilita su identificación.

Técnica de análisis multivariable y prueba de comparación de medias de Scott-Knott permitieron a Leão de Mello *et al.* (2010) establecer estándares y clasificar la diversidad genética de 8 genotipos de cactus forrajeros de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* en Brasil, identificando los más divergentes y como resultado agrupando los cruces posibles entre ellos. Análisis de correlación y de componentes principales permitieron a Gallegos-Vázquez *et al.* (2010) revelar que solo 14 variables fueron significativas para describir la variabilidad de xoconostles (*Opuntia* spp.) (entre ellas, longitud de cladodio, número de hileras de aréolas y de ellas en la fila central, longitud y diámetro del fruto y su relación, densidad de aréolas en el fruto, profundidad del receptáculo del fruto, peso del fruto, de la piel y acidez de la pulpa) en la región centro-norte de México.

Ante la enorme diversidad de tipos y formas de especies de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, Gallegos-Vázquez *et al.* (2006) evaluaron características morfológicas de cladodios maduros de 40 cultivares mexicanos, mediante análisis de componentes principales y de conglomerados. Los caracteres morfométricos básicos evaluados cualitativa o cuantitativamente fueron: grosor, color, ondulación del margen, aréolas en hilera central, presencia de glóquidas y de espinas, entre otros. El estudio permitió diferenciar cinco grandes clases o grupos. Tres grupos con-

formados por un cultivar cada uno ('Tapón Macho', diferenciado por la presencia de gran cantidad de espinas; 'Copena F-1', diferenciado por presentar cladodios sumamente alargados y 'Oreja de Elefante' que se diferenció por su margen ondulado y superficie extremadamente cerosa), un grupo conformado por tres cultivares ('Tamazunchale', 'Nopalea Jalpa' y 'Llera', caracterizados por su textura extremadamente cerosa y una relación longitud/ancho grande) y un grupo que estuvo conformado por 34 cultivares que pudo ser dividido en dos subclases o subgrupos, de las cuales una estuvo caracterizada por una gama compleja de atributos morfológicos. El estudio aportó acervos de importancia para programas de mejoramiento genético.

Reyes-Agüero *et al.* (2005b) analizaron la variabilidad de atributos morfológicos con o sin interés económico de diversas variantes de *Opuntia*, para contribuir a dilucidar su taxonomía y el proceso de su domesticación. La matriz de estudio estuvo integrada por 42 atributos morfológicos (19 en cladodios (tallos desarrollados, no lignificados, utilizados como forraje), 1 en nopalitos (cladodios inmaduros o jóvenes, consumidos como verdura) y 22 en frutos) de 243 variantes recolectadas en 31 localidades de 7 estados de la altiplanicie meridional en México. Las 243 variantes quedaron identificadas en 76 grupos, siendo los atributos más utilizados en la clasificación las espinas radiales y el número de espinas por aréola en el cladodio, y el color y peso de la pulpa. Entre los elementos del síndrome de domesticación para fruto identificados mediante la clasificación, el peso de la pulpa fue el principal, seguido de las características de sus aréolas y espinas y luego por su longitud y color.

Por otro lado la variación fenotípica a través de 28 variables anatómicas y morfológicas mediante análisis discriminantes en poblaciones de *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia leucotricha*, *Opuntia rastrera*, *Opuntia robusta* y *Opuntia streptacantha* separadas

entre sí por distancias de entre 32 y 110 km fue evaluada por Muñoz-Uría *et al.* (2008), observando que la altitud y la temperatura media anual no mostraron variación en el área de estudio. Las diferencias fenotípicas entre las poblaciones, según los autores, al parecer están relacionadas con la densidad de individuos y no con variables ambientales. En el estudio no se encontró una relación entre la distancia que separa las poblaciones y el grado de diferenciación entre ellas, como tampoco no fue posible identificar cuales variables mostraban menor plasticidad fenotípica con respecto al ambiente, al no encontrar consenso sobre cuales variables no son modificadas por el mismo, y citan a Silva *et al.* (2001), quienes señalan que el tamaño y la densidad de los estomas en plantas del género *Opuntia* pueden variar por diferencias en la exposición a la radiación solar, y a Hernández *et al.* (2007), quienes encontraron que el tamaño y la densidad de estomas varía con relación a variables edáficas en *Myrtillocactus geometrizans*; por lo que las diferencias podrían estar influenciadas por numerosas variables ambientales.

La morfoanatomía de semillas y plántulas (somaclones) de *Cereus hildmannianus* Schumann fue estudiada por Garcia de Almeida *et al.* (2009) mediante microtécnicas convencionales (microscopía electrónica y microfotografía). La comparación de los resultados obtenidos para las semillas y los somaclones con especies silvestres referidas, no presentó diferencias morfoanatómicas. Es de hacer notar un estudio morfológico del pericarpio de semillas de *Opuntia ficus-indica* realizado por Habibi *et al.* (2008), en el que mostraron que las células presentan principalmente fibras de esclerenquima fusiformes y cantidades significativas de celulosa (35 %) y xilano (27 %).

La caracterización del germoplasma con huella dactilar molecular ha alcanzado especial atención debido a un mayor uso en el mejoramiento de los cultivos y la selección de

genotipos deseables. La aplicación de marcadores genéticos también se ha utilizado con éxito para resolver problemas taxonómicos y evolutivos de las plantas, para evaluar la estructura y variabilidad genética de las accesiones, mostrar las relaciones genéticas entre ellas y localizar los genes que denotan los rasgos potencialmente útiles en la producción agrícola o el mejoramiento de cultivos. La recopilación y creación de colecciones básicas, con caracterización adecuada de los rasgos morfológicos y agronómicos es necesaria para facilitar la utilización de germoplasma por los agricultores, investigadores y criadores (Chessa, 2010).

La variabilidad genética entre plántulas de *Pilosocereus* sp. mediante el polimorfismo generado por marcadores ISTR ('Inverse Sequence Tagged Repeat', traducido como: Secuencias Inversas Repetidas y Marcadas), fue estimada por Montalvo-Fernández *et al.* (2010) en Cuba. Especie cuya fenología ha sido estudiada por Ruiz *et al.* (2000) en Colombia y condiciones de cultivo necesarias para su propagación *in vitro* por Montalvo *et al.* (2004) en Cuba. Los autores resaltan, que a pesar de los pocos genotipos que fueron analizados (en Santa Clara, Cuba, existe una sola población natural con muy pocos individuos), fue evidente que partiendo de semillas, se pudo obtener variabilidad en las plántulas obtenidas.

La ploidía ha sido bien estudiada y extensivamente utilizada en el género *Opuntia* para determinar límites entre especies, detectar indicios de hibridación e inferir patrones evolutivos. En el estudio de la citogeografía del clado *Humifusa* del género *Opuntia* en el sureste y suroeste de Estados Unidos, Majure *et al.* (2012) encontraron correlaciones con refugios pleistocénicos y sugieren que el clado en conjunto debería ser considerado un complejo poliploide maduro.

3.- Germinación y desarrollo

Méndez (2010) en una recopilación de antecedentes indica que las semillas varían

considerablemente en cuanto a su respuesta germinativa a la luz; algunas tienen necesidad de luz absoluta para germinar, en otras la exposición a la luz inhibe la germinación y un tercer grupo puede germinar bajo la luz y bajo la oscuridad; agrega, que todo esto resulta complejo por el hecho de que la temperatura puede interactuar con la luz durante la germinación de muchas semillas. La luz y temperatura han sido consideradas como factores importantes para la germinación de cactáceas, y por tal razón determinó la respuesta germinativa a la temperatura y luz de las semillas de *Echinopsis leucantha*. Las semillas fueron extraídas manualmente de la pulpa de 10 frutos maduros cosechados de 10 plantas, desecadas a temperatura de 20 °C, aproximadamente y guardadas en bolsas de papel a la sombra a 15 °C hasta los ensayos. Los tratamientos ensayados con diferentes tipos de luz fueron: luz blanca, luz roja y en oscuridad. Las semillas se colocaron en cajas de Petri de plástico conteniendo un disco de papel de filtro sobre una delgada capa de algodón saturado con agua destilada. Para el tratamiento con luz roja las cajas fueron exteriormente envueltas en papel celofán o film rojo, y el de oscuridad en papel aluminio. Las cajas fueron colocadas en dos cámaras de crecimiento a temperatura constante de 20 °C y otra a 30 °C, en ambos casos con incidencia de luz blanca fluorescente, de manera continua. Los ensayos tuvieron una duración de 30 días. Las respuestas de la germinación de las semillas de *Echinopsis leucantha* a diferentes temperaturas y tipos de luz indicaron un carácter termófilo y fotoblástico positivo. Los tratamientos con temperaturas de 20 y 30 °C y bajo luz blanca dieron porcentajes de germinación que alcanzaron un 90 % de semillas germinadas y los tratamientos con luz roja representaron entre un 80 a 85 % de semillas germinadas. A 20 °C hubo diferencias significativas en los porcentajes de germinación con luz blanca, presentando mayores valores (casi un 10 % más que con la luz roja) y a 30 °C no hubo diferen-

cias. Los tratamientos en oscuridad afectaron la germinación aunque no fue nula, atribuido por el autor a la entrada de luz durante la apertura de las cajas para el conteo, hecho que se corroboró en un ensayo posterior en el cual no se abrieron las cajas dando nula la germinación. En un trabajo posterior, el mismo autor siguiendo la misma metodología pero con una duración de 15 días, evaluó el efecto de la temperatura y luz sobre la germinación de semillas de *Trichocereus candicans* y *Trichocereus strigosus* (Méndez, 2011). Nuevamente las respuestas de la germinación de las semillas de ambas especies indicaron un carácter termófilo y fotoblástico positivo, con porcentajes de germinación bajo luz blanca a temperatura de 20 °C de 93,2 % para *Trichocereus candicans* y 86,4 % para *Trichocereus strigosus*, y a 30 °C porcentajes > 90 % para ambas especies; resultados similares a los del trabajo anterior, como también los obtenidos con luz roja. En función de los resultados el autor señala que las semillas de *Trichocereus candicans* germinan a mayor velocidad y alcanzan, en igualdad de tiempos, mayores porcentajes de germinación que las semillas de *Trichocereus strigosus*, y esto, podría estar relacionado con las características de las semillas; *Trichocereus candicans* presenta menor tamaño y peso en relación a *Trichocereus strigosus* (las semillas más grandes tardan más tiempo en embeberse con agua que las pequeñas). Finalmente agrega, que el resguardo de las semillas en condiciones de oscuridad absoluta las mantiene en estado de latencia por más tiempo.

El efecto de un amplio intervalo de temperaturas constantes y alternadas en la germinación de semillas de *Echinopsis schickendantzii* Web., fue estudiado por Ortega-Baes *et al.* (2011). Las bases de las temperaturas fueron 7,0; 26,8 y 49,0 °C. La mayor proporción de semillas que germinaron ocurrió a 15, 20, 30 y 30/15 °C, y la mayor tasa de germinación a 25, 30, 30/20, 35/20 y 40/25 °C sin diferencias significativas entre los mayo-

res valores a temperaturas constantes y alternadas. Los resultados indicaron que las semillas no tienen un requerimiento obligatorio de alternancia de temperatura para la germinación.

El efecto de la luz (fotoperiodos de 12 h, 9 h/3 h sombra y oscuridad constante) y la temperatura (constante 30 °C, fluctuante 30 - 38 °C y 60 °C/4 h diarias) en ambiente simulado (cálido seco y extremoso), sobre la germinación de semillas de frutos maduros de *Mammillaria mazatlanensis* K. Shum. ex Gürke (cactácea globosa), *Stenocereus alamosensis* (J. M. Coul.) A. C. Gibson y K. E. Horak, y *Stenocereus thurberi* subsp. *thurberi* (Engelm.) Buxb. (especies columnares), recolectados en la isla Mazocahui I, Sinaloa, México, fue evaluado por Sánchez-Soto *et al.* (2010) quienes evidenciaron respuesta fotoblástica positiva para las tres especies; y altos porcentajes de germinación bajo las condiciones térmicas emuladas, presentando un incremento significativo mayor en la germinación la especie globosa a temperaturas fluctuantes (30 - 38 °C) y el pretratamiento a 60 °C; lo que supone que esta especie, a diferencia de las columnares, desarrolla diversas respuestas de germinación para persistir en los ambientes desérticos de la costa de Sinaloa. En otro trabajo realizado por Jiménez-Aguilar y Flores (2010) en semillas de cactáceas (4 especies) y agaváceas (6 especies) del desierto chihuahuense colocadas en placas de Petri en fotoperiodos diarios de 14 h luz y con oscuridad continua a 25 °C por 30 días; en el caso de las cactáceas, solo la especie *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto fue fotoblástica positiva con germinación nula en la oscuridad; considerando a las otras como fotoblásticas neutras con 2 patrones de respuestas: 1) especies con germinación similar tanto en condiciones de luz como oscuridad, como fue el caso de *Coryphantha delicata* L. Bremer (cactácea globosa) y 2) especies con mayor germinación en luz que en oscuridad, caso ocurrido con los cactus columnares

Myrtillocactus geometrizans (Mart. ex Pfeiff.) Console y *Stenocereus queretaroensis* (F. A. C. Weber) Buxb. Cabe comentar que entre las agaváceas evaluadas se presentaron los 2 patrones además de un tercero que fue: especies con mayor germinación en la oscuridad que en luz.

En un estudio, llevado a cabo por de Carvalho *et al.* (2008) para la especie *Cereus hildmannianus*, diferencias en la tasa de germinación para somaclones y plantas silvestres fueron encontradas por efecto de tratamientos a que fueron sometidas las semillas (escarificación ácida, pre-remojo, incubación a baja y alta temperatura e imbibición en ácido giberélico); determinando que el mejor pretratamiento para mejorar la germinación fue el de 24 h de pre-remojo en agua.

Altare *et al.* (2006) estudiaron la estimulación y promoción de la germinación en semillas de *Opuntia ficus-indica* L. f. *inermis* (Web.) Le Houér. ("Cuenca" accesión con pulpa de color verde) a la acción de diversos agentes químicos y físicos en condiciones de régimen fotoperiódico diario, luz continua y oscuridad continua. En régimen fotoperiódico diario los ensayos fueron: en soluciones de H₂O₂ de concentraciones 5, 15 y 30 %; escarificación química con H₂SO₄ concentrado durante 0, 5, 10, 30 y 90 min seguido de lavado con KOH 0,1 %; escarificación química con el reactivo Schweizer durante 0, 30, 60 y 90 min; escarificación química con H₂SO₄ concentrado durante 5 min seguido de incubación en soluciones de H₂O₂ de concentraciones 0; 1; 2,5 y 5 % y escarificación química con el reactivo Schweizer durante 30, 60 y 90 min seguido de incubación en solución de H₂O₂ (5 %). En oscuridad continua algunos de los ensayos fueron: lixiviación de las semillas con agua corriente durante 1 a 7 días; con humedad y frío a temperatura de 4 °C durante 0 a 6 semanas; incubación directa en soluciones de Thiourea a concentraciones 0; 0,15; 0,60 y 1,2 %; incubación directa en soluciones de KNO₃ de 0

a 1,5 % y tratamientos en ciclos de hidratación y deshidratación a 25 °C. Las respuestas de la germinación de semillas mostraron que las mismas requieren luz en régimen de fotoperiodos durante 40 ó 60 días para estimular la germinación, mientras que en luz u oscuridad continua no se induce la germinación. En condiciones fotoperiódicas el H₂O₂ (5 %) tuvo un efecto estimulante sobre la germinación. La escarificación química con H₂SO₄ produjo generalmente porcentajes mayores de germinación que el H₂O₂ (5 %), y en contraste, la escarificación química con el reactivo Schweizer menores porcentajes que el H₂O₂ (5 %). La combinación de la escarificación química con H₂SO₄ concentrado durante 5 min seguido de incubación en soluciones de H₂O₂ de concentraciones 1 a 5 % tuvo un efecto sinérgico en el proceso logrando una alta tasa de germinación en corto tiempo; efecto que también fue observado en la combinación reactivo Schweizer-solución de H₂O₂ (5 %) aunque con menores porcentajes de germinación.

Las semillas agrupadas en altas densidades pueden generar un porcentaje bajo de germinación, no obstante, también se han registrado incrementos. Flores y Jurado (2009) estudiaron como la germinación de semillas de 2 especies de cactus columnares (*Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb. y *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console) es afectada por la densidad de las mismas. En la experiencia no se aplicó ningún tratamiento químico ni mecánico promotor de la germinación. Las semillas se colocaron en cajas de Petri con arena estéril, en cantidades de 1, 5, 10, 20 y 50 semillas por caja y a su vez en cámara de germinación en condiciones de fotoperiodo 12 h luz-12 h oscuridad a temperatura de 25 °C, regadas a diario con agua destilada. *I. dumortieri* mostró menor porcentaje de germinación con el aumento de la densidad y *M. geometrizans* no se vio afectada, permaneciendo constante. Los autores expresaron que en el caso de *I. dumortieri* pudo

deberse a competencia por recursos e inhibición por el CO₂ producido en la respiración de las plántulas que germinaron primero.

Se ha informado que la variación del tamaño de las semillas influye en la supervivencia de las plántulas. Las semillas grandes tienden a incrementar su viabilidad, germinación, velocidad de emergencia y sobreviven mejor que las semillas pequeñas, mientras que estas últimas pueden formar un banco de semillas para evadir mejor la depredación. Ayala-Cordero *et al.* (2004) relacionaron la germinación de semillas de *Stenocereus beneckeii* (Ehrenb.) Buxb. con su tamaño y peso. Las semillas fueron agrupadas en 5 categorías de pequeñas a grandes mediante intervalos de peso, determinando que el porcentaje de germinación fue superior para las categorías 3 a 5 (intermedio a grande), alcanzando un 84 % la categoría 3; y 11 % la categoría 1 (más pequeña). Los menores porcentajes de germinación de las semillas más pequeñas fueron atribuidos a su inmadurez fisiológica. Reviste interés la comparación de estos resultados con los de Méndez (2011, ya citado). Cabe agregar que Karababa *et al.* (2004) afirman que la relación entre el número de semillas viables/número de semillas abortadas no es dependiente del número de semillas totales.

En ambientes naturales, Santini (2011) señala que las semillas de una planta que las produce puede o no dispersarlas, y esas semillas pueden o no germinar. Tanto la dispersión como la germinación dependerán de la variabilidad en los factores abióticos (agua, temperatura, pH, viento) y bióticos (zoocoria, efecto nodriza). Cuando una planta retiene al menos una porción de sus semillas en alguna estructura, ya sea vegetativa y/o reproductiva, retrasando la dispersión, se dice que es serótina. La autora agrega que estudios recientes sobre el papel ecológico y evolutivo de la serotinia en cactáceas alientan a realizar más trabajos sobre este fenómeno que ha sido poco estudiado.

Nassar y Emaldi (2008) condujeron estudios detallados para determinar la capaci-

dad de producción anual de flores, frutos y semillas de 2 cactáceas columnares (cardones) subutilizadas en Venezuela, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill., además de las condiciones que propician el establecimiento de nuevas plantas, bajo condiciones naturales, considerando al individuo como unidad de producción y contemplando los aportes de biomasa total durante toda la fenofase de fructificación, la producción por unidad de área y la capacidad regenerativa de cada especie, incluyendo inversión en semillas, porcentajes de germinación y supervivencia bajo distintas condiciones microambientales. Los autores comentan que la capacidad de regeneración de *Stenocereus griseus* y *Cereus repandus* se traduce en términos de producción de semillas viables por ciclo reproductivo; y concluyen que ambas especies de cardón tuvieron un poder regenerativo alto, ya que produjeron numerosas semillas viables por unidad de dispersión, por individuo y por hectárea. *Cereus repandus* produjo casi siete veces más semillas por individuo reproductivo que *Stenocereus griseus*, resultado que sugirió que el Cardón Lefaria (*Cereus repandus*) podría tener ventaja en el proceso de dispersión sobre el Cardón Dato (*Stenocereus griseus*) en una población en que ambas especies fueran igualmente abundantes, asumiendo que los porcentajes de aborto de semillas fueran similares. El lavado de las semillas con agua fue suficiente para romper el estado de inactividad. Bajo condiciones apropiadas de luz, humedad y sombra, el potencial de germinación de las semillas de ambos cardones fue alto. Sin embargo, bajo las circunstancias típicas de hábitat de la zona de estudio, la condición más propicia para la germinación fue bajo sombra. Aún así y en pleno período de lluvias, el porcentaje de germinación de las semillas expuestas directamente al ambiente natural fue muy bajo.

Cabe destacar un estudio desarrollado por Romo-Campos *et al.* (2010) cuyos resulta-

dos indican que en localidades con ambientes húmedos, semillas de *Opuntia robusta* y *Opuntia jaliscana* tuvieron mayor capacidad de germinación que en localidades con ambientes secos; y resultados opuestos fueron observados en *Opuntia lasiacantha* and *Opuntia streptacantha*. También es de hacer notar que Habibi *et al.* (2008) han informado que la estructura supramolecular del xilano presente en el pericarpio de semillas de *Opuntia ficus-indica*, es muy sensible al medio ambiente circundante, en particular a la presencia de agua y fibras de celulosa.

3.1.- Cultivo *in vitro*

Ojeda-Zacarías *et al.* (2010) relatan que el uso de la biotecnología vegetal ofrece una alternativa para la resolución de un gran número de problemas relacionados con el mejor aprovechamiento de las cactáceas. El cultivo de tejidos vegetales se ha utilizado con éxito para la conservación de germoplasma. Todas las especies tienen diferente potencial de regeneración incluso entre la misma especie, por lo que es necesario establecer técnicas de propagación que permitan incrementar la disponibilidad del material vegetal, ajustando protocolos de regeneración para cada especie en particular. Las cactáceas tradicionalmente son propagadas a partir de semillas o cortes, en estos casos, las plántulas tienden a ser de lento crecimiento y susceptibles a pudriciones. En tal sentido, estos autores implementaron una técnica de desinfección para el establecimiento aséptico de *Opuntia ficus indica*, así como, la dosis óptima de los reguladores de crecimiento que permitió la regeneración de la especie *in vitro*. El protocolo para la desinfección consistió inicialmente en una pre-desinfección, en la cual cladodios (de 5 a 8 cm) se sometieron durante 15 min en solución jabonosa, luego en solución fungicida (10 g/L) por 30 min y posterior enjuague con agua estéril. Para la desinfección superficial se sometieron en alcohol etílico (70 %) por 60 s seguido de

enjuague y posteriormente los tratamientos de desinfección consistieron en la utilización de concentraciones de 10, 15 y 20 % de NaClO (Cloralex®, 6 % de cloro activo) con la adición de 2 gotas de Tween® 20 (polisorbato) durante 5, 10 y 15 min, seguido de 3 enjuagues. El establecimiento *in vitro* se realizó en medio de cultivo Murashige y Skoog con adición de los reguladores de crecimiento 6-Bencilaminopurina (6-BAP) (1, 2, 3 y 4 mg/L), ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolacético (AIA) a concentración de 1 mg/L, y fosfato diácido de sodio (NaH₂PO₄) 170 mg/L. Los resultados fueron variables, algunos de los tratamientos presentaron 100 % de contaminación, 100 % de oxidación, 40 y 50 % de explantes sin contaminar, y uno presentó 90 % de explantes, 10 % de contaminación y 90 % de supervivencia. También fue observado que luego de permanecer los explantes *in vitro* por 28 días en el medio de cultivo con las diferentes dosis de reguladores de crecimiento, se evidenció ligera formación de estructuras nodulares semejantes a pequeños callos sobre la superficie de los cortes, lo que se atribuyó a la utilización y combinación de auxinas y citocininas que estimulan el crecimiento, elongación y multiplicación celular en cactáceas.

Rubalcava-Ruiz *et al.* (2010) mencionan que los métodos de propagación *in vitro* se consideran técnicas valiosas para la conservación de recursos fitogenéticos en extinción y en tal sentido, desarrollaron un protocolo viable para la propagación *in vitro* de la especie amenazada *Coryphantha retusa* Britton & Rose por organogénesis directa. Los explantes fueron obtenidos de semillas botánicas, previa colecta de frutos silvestres lavados con jabón líquido (Axió®) y agua corriente bajo campana de flujo laminar para mantener condiciones asépticas, desinfectando superficialmente con solución de cloro comercial (Cloralex®) al 1 % por 15 min, seguido de tres enjuagues con agua bidestilada estéril. Los tratamientos de micropropagación

consistieron de medio basal Murashige y Skoog suplementado con 0,0; 1,0; 2,0 y 3,0 mg/L de 6-BAP y 0,0; 0,5 y 1,0 mg/L de ANA. Posterior a 60 días de incubación evaluaron la proliferación de brotes axilares. La variable respuesta fue la regeneración de plántulas por la vía de organogénesis directa y los valores mas altos de proliferación de brotes axilares se observaron en el medio que contenía 2 mg/L de 6-BAP. Las plántulas obtenidas fueron enraizadas *in vitro* en el medio basal sin reguladores de crecimiento y el 95 % de las plantas regeneradas presentaron buen crecimiento y fueron fenotípicamente similares a la planta madre. Otro protocolo para la regeneración a través de organogénesis indirecta en *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. fue descrito por Angulo-Bejarano y Paredes-López (2011), el cual señalan los autores puede también ser utilizado para llevar a cabo la regeneración de plantas después de transformación genética a fin de desarrollar plantas transformadas sin la presencia de zonas quiméricas. Otros 2 cactus bajo protección especial, *Aztekium ritterii* (Boed.) y *Coryphantha borwigii* (Purpus), el primero amenazado, productor de mescalina y el segundo una especie rara de Coahuila, México; fueron cultivados *in vitro* por Navarro-Cruz *et al.* (2009). Para los ensayos utilizaron como explantes aréolas de ambas especies sometidas a tratamiento de desinfección con Agrimicin 600 mg/L, Tween y Microdin. Se cultivaron en medio Murashige y Skoog suplementado con 30 g/L de sacarosa mas diferentes concentraciones y combinaciones de adenina sulfatada, polivinilpirrolidona y reguladores de crecimiento como, bencilaminopurina, ácido naftalenacético, ácido indolbutírico y kinetina. Cada explante se colocó en cámara de incubación en condiciones de luz-oscuridad en un fotoperiodo de 16 horas a temperatura de 27 °C ± 2 °C y una humedad relativa de 90 %. Para ambas especies se consiguieron brotes y después de 60 días de transferidas a macetas con sustrato compuesto por tierra negra y tepezil en proporción 2:1

mostraron 100 % de supervivencia. En otro estudio, Quiala *et al.* (2009) describen un método de propagación *in vitro* de *Pilosocereus robinii* (Lemaire) Byles *et Rowley* (especie en extinción) que incluye por primera vez un sistema para la producción de brotes múltiples por activación de aréolas, así como su enraizamiento, aclimatación y establecimiento en vivero para especies difíciles de propagar por métodos convencionales.

El cultivo *in vitro* de cactáceas es una alternativa para obtener compuestos, entre otros, los colorantes naturales. Reguladores del crecimiento a distintas concentraciones fueron utilizados por Santos-Díaz *et al.* (2005) para obtener cultivos *in vitro* de *Mammillaria candida* (una cactácea mexicana que genera callos pigmentados). Los autores estudiaron el efecto de las auxinas y las citocininas sobre la formación de pigmentos y la inducción de estos últimos por estrés biótico y abiótico; obteniendo callos 4 veces más pigmentados que el testigo modificando las condiciones de cultivo. En el análisis del extracto de los callos de *Mammillaria candida*, mediante espectro de absorbancia, no detectaron picos correspondientes a betaxantinas o betacianinas, sino un pico a 420 - 450 nm que correspondió según posterior cromatograma al 2, 6-dimetoxi-4-(2-propenil) fenol, siendo probable que sea precursor del ácido betalámico; y sugirieron estudios posteriores con fracciones purificadas para determinar la naturaleza exacta del pigmento. Cabe destacar que una nueva betacianina identificada como 5-O-(6'-O-malonil)- β -soforosido ha sido informada por Wybraniec y Nowak-Wydra (2007) en frutos de nueve especies de *Mammillaria* (*M. roseo-alba* (Boedecker), *M. donatii* (Berge), *M. coronata* (Scheidweiler), *M. karwinskiana* (Martius), *M. gummifera* (Engelmann), *M. infernillensis* (Craig), *M. centricirra* (Lemaire), *M. krameri* (Muehlenpfordt) y *M. magnimamma* (Haworth)).

4.- Parámetros fisicoquímicos

Algunas características físicas y químicas de los frutos de el Cardón de Dato (*Lemaireocereus griseus* (Haw.) Britton y Rose) en 5 grupos clasificados según el color de la pulpa (roja, blanca, amarilla, anaranjada y fucsia) fueron determinadas por Terán *et al.* (2008). Diferencias significativas no fueron encontradas ($p > 0,05$) en las variables físicas masa fresca total, masa de pulpa mas semilla, masa de la cáscara y diámetro ecuatorial; siendo significativo ($p < 0,05$) para el diámetro polar y el número de semillas, lo que sugirió que existe una relación entre el tamaño del fruto y el número de semillas, siendo la variación promedio de estas últimas de entre 1779 (fucsia) y 3251 (roja) semillas. Los valores de pH estuvieron dentro del intervalo de 4,45 - 5,03 y los contenidos de sólidos solubles totales entre 3,77 y 7,22 °Bx.

La calidad de 12 variedades de frutos de cactus de la especie *Opuntia ficus-indica* comunes en 3 localidades sudafricanas diferentes fue estudiada por de Wit *et al.* (2010a) en el sentido del efecto de las distintas regiones agroecológicas (con variaciones de altitud, clima y pluviosidad) sobre las variables de calidad: masa del fruto, porcentaje de pulpa, contenido de sólidos solubles totales en jugo y pH, acidez titulable, ácido ascórbico, fructosa y glucosa en pulpa. Mediante análisis de varianza combinado determinaron que la localidad tuvo influencia significativa en todas las características excepto en glucosa en pulpa, y los mas altos efectos fueron en el porcentaje y pH de pulpa, lo que indicó que estas características se vieron significativamente influenciadas por el medio ambiente. Por otra parte, la influencia del genotipo fue significativo en todas las características y particularmente mayor en masa del fruto. También es de hacer notar que la interacción genotipo con medio ambiente fue altamente

significativa para todas las características, lo que indicó que los genotipos reaccionan diferentemente en distinto medio ambiente. La fuente de variación se atribuyó por tanto a factores genéticos y ambientales como concluyen los autores, expresando que esta afirmación se encuentra en consonancia con el trabajo llevado a cabo por Ochoa *et al.* (2009) sobre parámetros de calidad de frutos de la misma especie de cactus estudiados en las provincias de Santiago del Estero y Salta en Argentina, las cuales presentan características climáticas diferentes, y contradice los resultados publicados por Felker *et al.* (2002) en el estudio de parámetros en clones de *Opuntia* en Argentina y Estados Unidos.

El material genético, la localidad, como también las interacciones entre cultivares, localidades y temporada o estación ejercen influencia sobre la calidad de frutos de *Opuntia ficus-indica* (de Wit *et al.*, 2010b).

Los frutos de xoconostle (*Opuntia matudae*) son un alimento rico en fibra alimentaria soluble (7,8 a 18,6 %) e insoluble (11,6 a 16,5 %), y el tipo de polisacáridos que los conforma varía en dependencia de la madurez del fruto. Álvarez-Armenta y Peña-Valdivia (2009) encontraron que el contenido de mucílago, pectinas y celulosa representó una cantidad significativamente superior en los frutos con mayor madurez (7,5; 8,0 y 15,4 %, respectivamente) en relación a los menos maduros (1,8; 2,5 y 10,0 %, respectivamente); mientras que el contenido de hemicelulosas fue significativamente similar. También ha sido informado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) que el contenido de hierro en el pericarpio de estos frutos (de 6 a 9,6 mg/100 g en base seca) es mayor a los del mesocarpio y endocarpio (pulpa). Estos frutos se caracterizan por poseer mesocarpio ácido (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2010).

La composición química de cladodios de la especie *Opuntia ficus indica* var. Milpa Alta en función del estado de madurez fue estudiada por Hernández *et al.* (2010). Los

autores utilizaron para el estudio tres muestras de un mismo huerto, cortadas a la misma hora (edad 1 = 60 g; edad 2 = 120 - 140 g y edad 3 = 190 - 210 g). En general, con el aumento progresivo de la edad, el comportamiento habitual en cladodios se orienta a una disminución del contenido de cenizas y proteína; y aumento en el contenido de fibra (Sáenz *et al.*, 2006). En el estudio, al compararse los resultados obtenidos para las muestras, en edad 1 y 2, estos pudiesen asociarse al comportamiento habitual, sin embargo, la muestra de mayor edad (edad 3) presentó el menor contenido de fibra. El trabajo reviste interés en el sentido de que un cladodio de mayor tamaño no necesariamente puede presentar mayor contenido porcentual de fibra que otro de tamaño menor.

Corrales-García (2011) compendió información en la que expresa que una consecuencia práctica del metabolismo ácido crasuláceo que presentan los nopalitos es su acidez, que es muy alta al amanecer pero baja rápidamente durante las primeras horas de la mañana. La acidez de los nopalitos varía considerablemente (0,1 - 0,6 % de acidez titulable) dependiendo de la hora del día. Esta variación afecta al sabor, y agrega que, de acuerdo con Corrales-García *et al.* (2004), la acidez de los nopalitos también depende de la variante. Nopalitos de mayor acidez son de la variante 'Texas' cosechados a las 6:00 horas, en cambio los de menor acidez fueron los de la variante 'Copena V-1' cosechados a las 6:00 ó a las 13:00 horas. La acidez de los nopalitos ya cosechados también cambia con la hora del día y la noche. En la determinación de la acidez de nopalitos de la variante 'Milpa Alta' cada seis horas después del corte ha sido encontrado que independientemente de la hora de corte, la acidez también presenta fluctuaciones en poscosecha, disminuyendo durante el día y aumentando durante la noche. Fluctuaciones de acidez que afectan el sabor y la calidad de los nopalitos, dependiendo fundamentalmente de la

hora de consumo o de procesamiento, más que de la hora del corte.

La composición en carbohidratos de 4 variedades de *Opuntia ficus-indica* ('Copena F1', 'Palma Gigante', 'Clon 20' y 'Palma Redonda') fue evaluada por Ribeiro *et al.* (2010) en cladodios jóvenes y viejos, en Brasil, en distintas temporadas (sequía y lluvias). El contenido de azúcares totales en cladodios viejos en temporada seca fue de 21,58 a 29,04 mg/mL y en temporada de lluvias de 15,32 a 24,11 g/mL. En cladodios jóvenes fue de 11,56 a 15,25 g/mL en temporada seca y de 13,80 a 15,80 g/mL en temporada de lluvias, destacando que la ocurrencia de diferencias significativas entre las variedades de cactus indicó que la cantidad de azúcares totales en cladodios viejos fue mayor, presentando casi el doble de la cantidad de azúcar encontrada en los cladodios jóvenes en ambas temporadas. La misma tendencia fue observada en el contenido de ácido poligalacturónico. El estudio en parte concluye que la edad de los cladodios influencia su composición química y la cantidad de constituyentes de la fibra se incrementa con la edad. Curiosamente la ramnosa no fue detectada en ninguna de las variedades estudiadas.

Gebresamuel y Gebre-Mariam (2012) han determinado que el mucílago de *Opuntia stricta* presenta mejor poder de hinchamiento, tensión superficial, pH y viscosidad que el de *Opuntia ficus-indica*, por lo que su calidad es superior para su utilización como excipiente farmacéutico y/o aditivo alimentario; además de, ambos mucílagos, exhibir bajos niveles de toxicidad aguda.

La calidad nutricional de los cladodios de *Opuntia* depende de la especie y variedad, edad, estación y condiciones agronómicas como el tipo de suelo, clima, condiciones de crecimiento (Nefzaoui, 2010) e incluso las condiciones del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes y la distribución de raíces (Zúñiga-Tarango *et al.*, 2009). Nefzaoui (2010) presentó un cuadro indicando que el contenido de agua

en cladodios de diversas especies y regiones oscila de 85 a 90 %. En base seca, el contenido de cenizas es alto (17 - 27 %) principalmente por las cantidades de calcio (3,9 - 8,7 %), proteína de 2,9 a 10,4 %, fibra cruda de 8,6 a 10,9 %, extracto libre de nitrógeno de 58 a 65 %, fósforo de 0,01 a 0,04 %, potasio de 1,1 a 3,0 % y sodio de 0,003 a 0,05 %.

Hernández-Urbiola *et al.* (2011) evaluaron la composición química de cladodios de cactus en diversas etapas de crecimiento, en edades comprendidas entre los 40 y 135 días. Los contenidos de fibra cruda presentaron una tendencia al incremento con la edad de 11,00 % (40 días) a 23,33 % (135 días), con variaciones fluctuantes para otros días y las cenizas aumentaron proporcionalmente de 17,65 % (40 días) a 24,30 % (135 días). Se ha informado que por lo general la fibra cruda aumenta y las cenizas disminuyen en función de una mayor edad del cladodio (Sáenz *et al.*, 2006), por lo que los resultados de cenizas obtenidos se encuentran en contraposición a lo informado, no obstante, se han observado contenidos de cenizas menores en cladodios jóvenes y mayores en viejos (Tegegne, 2002; Harrak y Jaouan, 2010). En relación a la variación del contenido de proteína con la edad, los autores determinaron contenidos de 7,07 % (40 y 135 días) con variaciones entre 5,85 % (125 días) y 8,99 % (50 días), donde no se apreció una clara relación con la edad, siendo atribuido a condiciones como la disponibilidad de agua, temperatura y periodos de luz/oscuridad, las cuales se encuentran implicadas en la síntesis de proteínas. En otros trabajos se ha señalado que en cladodios jóvenes el contenido de proteínas es mayor y disminuye con la edad (Sáenz *et al.*, 2006).

Los flavonoides identificados en algunas especies de *Opuntia* son mayoritariamente quercetina, kaempferol e isoramnetina. En un estudio en el que se evaluaron los cambios en el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y flavonoides individuales durante el desarrollo de cladodios tiernos de dos variedades comer-

ciales de *Opuntia ficus-indica* L. ('Copena F-1' y 'Atlixco'), donde adicionalmente se comparó su contenido en dos épocas de cosecha (primavera y verano), fue observado que el contenido de fenoles totales disminuyó y el de flavonoides totales aumentó en 'Copena F-1'. En general, el contenido de quercetina y kaempferol disminuyó mientras que el de isoramnetina aumentó con el estado de desarrollo en ambas variedades, y el contenido de quercetina y kaempferol fue mayor en primavera, contrario a isoramnetina (Rodríguez-Félix *et al.*, 2010). Para mayor información sobre estos componentes y otros, en cladodios, frutos y semillas de diversas especies de cactus, puede consultarse el trabajo de Nazareno y Padrón-Pereira (2011).

5.- Poscosecha

Sáenz *et al.* (2006) relatan que los primeros estudios realizados sobre conservación de frutos de cactus revelaron que los principales problemas de poscosecha lo constituían las pudriciones y la deshidratación. Las técnicas usadas para reducir las pudriciones y pérdidas de peso incluían la aplicación de fungicidas, termoterapia, ceras y envoltorios plásticos. Agregan que en Chile, tratamientos de inmersión en agua caliente en combinación con fungicidas se realizaron en la década de 1970, disminuyendo la incidencia de pudriciones; sin embargo, fueron discontinuados por falta de registros de los fungicidas para su uso en cactus, retomándose posteriormente estos estudios utilizando solo agua caliente sin causar efectos perjudiciales sobre la firmeza, apariencia externa o aceptabilidad de frutos verdes y rojos. Reseñando que los beneficios conferidos por el tratamiento de inmersión en agua a 55 °C durante 2 minutos, permite prolongar la vida de poscosecha, manteniendo la buena calidad de los frutos durante un mes. Zegbe y Mena-Covarrubias (2010) expresan que la calidad de los frutos puede ser mantenida por periodos

largos de almacenamiento poscosecha a través del raleo de yemas reproductivas en precosecha.

El seguimiento directo del desarrollo de los pigmentos betalainas en los frutos de cactus puede indicar el grado de madurez de los mismos (Duru y Turker, 2005).

La variación de color de los frutos de *Opuntia* durante su maduración en la planta es notable y, por ese motivo, ésta es usada por los productores como uno de los parámetros más simples para determinar el punto llamado de madurez comercial y, en consecuencia, el momento de cosecha. La evolución del contenido de pigmentos en piel y pulpa de frutos de *Opuntia* spp., *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia megacantha* durante el proceso de maduración fue estudiada por Coria-Cayupán *et al.* (2011). Los cambios en la actividad antirradicalaria y las variaciones en el contenido de sustancias bioactivas tales como vitamina C y polifenoles fueron medidas desde 4 semanas previas y las 4 posteriores al estado de madurez comercial de dichos frutos. La disminución del contenido de clorofilas se observó claramente tanto en pulpa como en la piel de los frutos así como el incremento del contenido de betalainas, observándose la formación de éstas en pulpa antes que en la piel (Fig. 1). Esta observación de la anticipación en el color interior frente al exterior fue coincidente con lo informado por Felker *et al.* (2008) para frutos de *Opuntia ficus-indica*, quienes estudiaron los factores genéticos que definen los distintos colores de los frutos de *O. ficus-indica* usando primers degenerados para obtener secuencias genómicas parciales de los genes relacionados a la biosíntesis de betacianinas y betaxantinas. Como resultado de este trabajo, los autores no encontraron diferencias en el ADN genómico entre variedades coloreadas y no coloreadas y atribuyeron el control de la pigmentación de los distintos tejidos del fruto a mecanismos regulatorios, aunque se encontró que la coloración de la epidermis es independiente de

056



SST: sólidos solubles totales.

Figura 1.- Variación del color en fruto de *Opuntia ficus-indica* durante la maduración.

éstos y se ve inducida por la luz. Estos mecanismos regulatorios actúan en forma análoga a los factores que controlan la producción de antocianinas en las uvas.

Considerando que los frutos de *Opuntia* presentan un patrón respiratorio no climatérico, con una baja tasa de respiración (Berger *et al.*, 2005) y que son altamente perecederos por daños físicos y microbiológicos, la refrigeración resulta muy efectiva para reducir y retardar estos inconvenientes (Cantwell, 1995). El traslado de los frutos a los mercados de destino para su exportación implica su traslado en condiciones refrigeradas (5 a 8 °C) durante un periodo aproximado de 3 a 4 semanas. A fin de evaluar los posibles cambios

en la actividad antioxidante de los frutos, Nazareno *et al.* (2009) simularon estas condiciones de almacenado bajo refrigeración durante dicho período de tiempo. Se determinó el contenido efectivo de vitamina C y la actividad antirradicalaria. Esta última se mostró sin cambios significativos después de 4 semanas a 8 °C. En general, se observó un ligero incremento en la concentración de las sustancias bioactivas atribuido a la pérdida de agua del fruto (aproximadamente un 10 % en 4 semanas). En cuanto al contenido de vitamina C tampoco se observó una pérdida significativa. De los resultados obtenidos concluyen que, los frutos almacenados en condiciones refrigeradas mantuvieron sus propiedades antioxidantes y

nutricionales por un período de hasta 4 semanas, y en consecuencia pueden llegar a los consumidores al cabo de este tiempo manteniendo sus propiedades benéficas para la salud.

Con fines de su conservación, también se han obtenido buenos resultados con condicionamiento de los frutos a 37 - 38 °C por 24 a 48 horas o por inmersión en agua a 50 - 55 °C durante 3 a 5 min y luego almacenamiento a 6 °C, con humedad relativa de 95 % durante 6 semanas después de recolectados (Inglese, 2010).

Del Nobile *et al.* (2009) presentaron un estudio preliminar sobre procedimientos de empaque para prolongar la vida útil de frutos de cactus mínimamente procesados, en particular, diferentes estrategias de empaque combinando revestimiento e hidrogeles; tras el monitoreo de las concentraciones de gases en los espacios, la carga de células viables de microorganismos deteriorativos, características sensoriales y la pérdida de peso. Los resultados mostraron que en los frutos frescos cortados que fueron inmersos en hidrogeles se redujo considerablemente la vida de anaquel, y caso contrario, con el revestimiento se extendió hasta por 13 días (incremento del 40 % con respecto a una muestra control).

Uno de los principales problemas que presentan los frutos de *Opuntia ficus indica* y que afectan la aceptación por los consumidores y, por consiguiente, su comercialización, es la presencia de pequeñas espinas agrupadas en gran número (gloquidios) sobre la piel de los frutos. Dimitris *et al.* (2005) propusieron la aplicación de un tratamiento de cepillado con agua caliente para lograr el desespinado y estudiaron la evolución de los frutos durante el almacenamiento posterior después de 7 días. El intervalo de temperatura del tratamiento fue de 60 a 70 °C, aplicado durante tiempos de entre 10 y 30 s. Se encontró que los tratamientos no afectaron significativamente la tasa de respiración que fue medida usando un analizador de CO₂ en el empaque hermético

para los frutos y tampoco modificaron significativamente el contenido de sólidos solubles totales. Sin embargo, los tratamientos a 60 y 65 °C redujeron la pérdida de agua y la incidencia de manchas pardas sobre la piel de los frutos.

Los frutos tratados a 70 °C por 20 y 30 s mostraron una pérdida de agua similar o ligeramente mayor que el control e indujo cierto daño por temperatura en la forma de áreas coloreadas (color pardo). Como una forma de superar este aspecto negativo en los frutos de cactus que afecta su comercialización, debido a la presencia de espinas en su forma natural, el procesamiento mínimo es una alternativa que ha sido considerada y que actualmente es la forma en que estos frutos están disponibles en los mercados más exigentes.

Felker *et al.* (2011), al considerar las posibilidades macroeconómicas de la producción de frutos, destacan que es importante conocer la vida de poscosecha de los frutos, la cual determina: cuan lejos puede ser transportada antes de su deterioro, y la habilidad para acumular grandes cantidades por períodos largos de tiempo, como es el caso de las manzanas y bananas para satisfacer el mercado durante una parte significativa del año. Los frutos del cactus no son climatéricos y no continuarán madurando después de la cosecha, por lo que deben ser cosechados cuando maduran totalmente. Agregan que, a pesar del trabajo considerable que se ha realizado para el desarrollo de técnicas con miras a prolongar la vida poscosecha de los frutos (tratamientos con agua caliente, fungicidas y atmósfera controlada), el alargamiento de la vida de poscosecha obtenido ha sido de aproximadamente 3 semanas. Dado que los envíos internacionales por barco se extienden aproximadamente 3 meses y que se requiere una semana desde la cosecha hasta la partida y otra semana desde el arribo hasta el lugar de venta, las 3 semanas de vida útil de los frutos eliminan el envío en barco entre los hemisferios

norte y sur. Por otra parte, debido a la naturaleza rápida del transporte por carretera, estas 3 semanas de vida poscosecha permiten: 1) comercializar en cualquier lugar de los continentes europeo o norteamericano la producción que ocurre en el mismo continente, 2) dentro del Mercosur en Sudamérica, y 3) probablemente dentro de varios miles de kilómetros de los sitios de producción en el norte y sur de África y del Medio Este.

En relación a los cladodios, Rodríguez-Félix *et al.* (2007) señalan que la calidad de los cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) durante el almacenamiento refrigerado es afectada por la pérdida de peso y daño por frío y la aplicación de cubiertas comestibles ha mostrado reducir estos problemas en otros productos hortícolas. En tal sentido, evaluaron el efecto de la aplicación de 2 ceras comestibles (Semperfresh® y una cera a base de carboximetilcelulosa (CMC), denominada cera 1) en la calidad de los cladodios de dos variedades de nopal verdura ('Copena F-1' y 'Copena V-1') durante almacenamiento por 30 días a 5 y 10 °C. Periódicamente evaluaron las variables pérdida de peso, color (ángulo de matiz (°h), croma (C*) y luminosidad (L*)), permeabilidad al vapor de agua de las cutículas, daño por frío y pudriciones. Los cladodios de nopal verdura de la variedad 'Copena V-1' fueron más susceptibles a daño por frío y pudriciones durante el almacenamiento a 5 y 10 °C que los de 'Copena F-1'. La aplicación de tratamientos con cera a nopal verdura tuvo un efecto diferente en la calidad durante el almacenamiento, dependiendo de la temperatura en cada una de las variedades evaluadas. Los beneficios de la aplicación de la cera Semperfresh® fueron disminución en la pérdida de peso, en los cambios en color, en el daño por frío y en la pudrición durante el almacenamiento a 5 °C de los cladodios de 'Copena V-1' y en la pérdida de peso a 10 °C en los cladodios de ambas variedades. En cambio, la cera 1 tuvo un efecto benéfico en reducir el daño por frío durante el almace-

namiento a 5 °C y la pudrición durante el almacenamiento a 10 °C de los cladodios de 'Copena V-1', no obstante, incrementó el daño por frío de los cladodios de 'Copena F-1' y favoreció la pérdida de peso durante el almacenamiento a 10 °C de los cladodios de ambas variedades.

Osorio-Córdoba *et al.* (2011) en su trabajo, relatan, compilando antecedentes, que el daño físico causado durante el procesamiento mínimo de cladodios, incrementa procesos metabólicos como la respiración y producción de etileno, la degradación de los lípidos de las membranas, el oscurecimiento oxidativo, la pérdida de firmeza y agua, y la acumulación de metabolitos secundarios, produciendo deterioro y reduciendo la vida de anaquel. Por lo que después del procesamiento mínimo de los cladodios se recomienda que las superficies cortadas se mantengan limpias y secas, y se almacenen a temperaturas inferiores a 5 °C, y condiciones inferiores a 10 °C causan daño por frío, que se manifiesta por oscurecimiento y pérdida del color verde original. Destacan que su grupo de trabajo encontró que el nopal 'Milpa Alta' sin espinas envasado en atmósfera de N₂ en bolsa 'polysweat' (Bolco, bolsas coextruidas, México) permeable a O₂, H₂O y CO₂ y almacenado a 7 °C ± 1 °C, prolongó la vida de anaquel hasta por 20 días, manteniendo su calidad; y agregan, a título de justificación, que el nopal verdura desespinado y conservado en atmósferas modificadas en envases de tamaño adecuado para el consumidor, constituye un nicho de mercado que todavía no ha sido explotado. En función de lo anterior, evaluaron el efecto del envasado en dos tipos de envases: 'clamshell' (National Plastic, Inc., USA) y las bolsas 'polysweat' con atmósferas modificadas en la conservación del nopal desespinado variedad 'Milpa Alta' determinando parámetros indicadores de las condiciones de estrés provocadas por el daño mecánico del desespinado y la atmósfera modificada. Dos experimentos se llevaron a cabo. En el primero, los cladodios sin espinas

(desespinaados y rebordeados) se colocaron en las bolsas 'polysweat', se sometieron a vacío que luego se liberó con la aplicación de 3 atmósferas (aire, nitrógeno y mezcla de 5 kPa O₂ + 4 kPa CO₂ complementada con N₂), se sellaron y almacenaron a 4 °C ± 1 °C. En el segundo, cladodios, pero con espinas, se colocaron en envases 'clamshell' y se almacenaron a temperaturas de 23 °C ± 2 °C y 4 °C ± 1 °C, como también cladodios, sin espinas, en envases 'clamshell' (4 °C ± 1 °C). Las mediciones de atributos de calidad (acidez titulable, firmeza, pérdida de peso y color) y metabolitos de fermentación (acetaldehído y etanol) se realizaron al cosechar y a los 5, 10, 15, 20 y 25 días de almacenamiento. Los autores observaron reducción de la acidez titulable durante el almacenamiento, siendo mas notable en los cladodios con espinas almacenados a temperatura de 23 °C ± 2 °C, (el envasado con atmósfera modificada no influyó en la acidez); para éstos también observaron los valores de firmeza mas altos y de progresivo aumento. La pérdida de peso de los cladodios sin espinas conservados en aire, nitrógeno y mezcla de 5 kPa O₂ + 4 kPa CO₂ fue menor al 1,0 % después de 25 días de almacenamiento; y en los sin espinas en envases 'clamshell' (4 °C ± 1 °C) mayor (≈ 10 %). Con espina en envases 'clamshell' (4 °C ± 1 °C) fue menor (≈ 6 %) que los sin espinas en envases 'clamshell' a la misma temperatura (día 25). El oscurecimiento que apareció en los tejidos expuestos donde las espinas se eliminaron, empezó a observarse a los 10 días de almacenamiento a 4 °C ± 1 °C en los cladodios envasados en 'clamshell' y a los 15 días en todos los cladodios envasados en atmósferas modificadas, donde el daño fue además menos intenso. En relación a los metabolitos de fermentación, los autores concluyen que la atmósfera modificada conteniendo nitrógeno indujo la menor producción de ellos y la recomiendan para conservar la calidad de los cladodios de la variedad estudiada por un periodo de 20 días a 4 °C ± 1 °C.

6.- Cactus epífitos y/o trepadores

Strasburger *et al.* (1994) sostienen que las plantas epífitas viven desde el principio en la copa o ramas de los árboles (hospederos) y las plantas trepadoras enraízan en el suelo y trepan con sus tallos sobre los árboles (adaptaciones para el aprovechamiento de la luz).

Ha sido observado por Rondón-R. (1998) que la propagación vegetativa de la cactácea *Hylocereus lemairei* (Hook.) Britton & Rose se realiza por desprendimiento de tallos articulados jóvenes que presentan raíces caulógenas y que al caer del hospedero pueden continuar creciendo hasta culminar la fase intermedia y adulta, bien como epífitos o trepadores. Por lo que puede presentarse dimorfismo en una misma especie. En la literatura es común encontrar al referirse a una misma especie de cactus como epífita o trepadora, como por ejemplo, *Hylocereus undatus*. Estas especies y los cactus columnares han sido los menos estudiados (Esquivel, 2004) en el ámbito agroalimentario.

Díaz-B. (2005) en una revisión sobre la pitaya (o pitahaya) roja y amarilla (*Hylocereus* spp. y *Selenicereus* spp., respectivamente), reseñó información importante sobre las características morfológicas de estas plantas, composición química, fisiología, requerimientos ambientales y sistemas de manipulación poscosecha de sus frutos.

En Israel se están ensayando algunas agrotécnicas como la polinización natural a falta de polinizadores naturales, aclimatación a las condiciones áridas y semiáridas, sistemas de tutorado y mecanización para la remoción de la cáscara, como también la reproducción de nuevos híbridos a partir de pitahaya roja y amarilla (Tel-Zur, 2010).

Pohlan *et al.* (2007) señalan que el cultivo especializado de *Hylocereus undatus* Britton & Rose, estaba para la fecha, por cumplir 20 años, por lo que se trata de un cultivo nuevo, cuyos frutos tienen amplia

demanda en mercados regionales y son apreciados y demandados como fruta exótica en el mercado internacional. Agregan los autores que en Centroamérica, Nicaragua y Guatemala ya han incursionado en el mercado internacional de frutas frescas exóticas, y Nicaragua lo comercializa en forma de fruta congelada a Estados Unidos. Las prácticas de cultivo orgánico se basan en una reproducción en forma sexual y asexual. Las plantas provenientes de semillas tienen un crecimiento lento y el inicio de la floración es tardío. Generalmente, la vaina o tallo es el material más utilizado para establecer plantaciones comerciales, por presentar las plantas mayor crecimiento y desarrollo. En el establecimiento de la plantación se realizan las siguientes labores: limpieza y preparación del terreno, trazado de los surcos en curvas de nivel y estaquillado, hoyado del terreno y establecimiento o siembra de los tutores. El uso de los tutores en el cultivo de la pitahaya es indispensable, pues facilita el crecimiento y desarrollo de la planta sirviendo de sostén.

Centurión-Yah *et al.* (2008) evaluaron los cambios físicos (color de la cáscara, firmeza de pulpa, diámetros ecuatorial y polar, peso fresco de fruto entero, cáscara y pulpa), químicos (contenido de azúcares reductores, sólidos solubles totales, acidez titulable, ácido ascórbico,) y sensoriales (sabor, aceptación general) ocurridos durante el desarrollo y maduración de frutos de *Hylocereus undatus*, para definir el estado de madurez al corte con mejor calidad sensorial y mayor aceptación por el consumidor. La experiencia se llevó a cabo en un huerto comercial en Yucatán, México (temperatura media 26,1 °C y pluviosidad 73,9 mm durante el periodo de evaluación), con plantas de 4 años de edad establecidas en un sistema de tutores inertes. Un día después de la apertura de la flor, se etiquetaron 300 flores de diversas plantas, de las cuales cuajaron 150 frutos; de éstos, el crecimiento se evaluó en 50. Describen e ilustran fotográficamente que a los 25 días de la apertura floral presentaban color

verde claro mezclado con rojo incipiente, a los 27 verde amarillento con zonas rojas en 10 a 20 % de la superficie, a los 29 color rojo brillante en un 70 % y a los 31 días rojo púrpura en su totalidad; agregan que, en forma concomitante a los cambios de color, los frutos mostraron disminución en la firmeza de la pulpa. Un aumento continuo en el tamaño fue observado, el cual para el día 31 alcanzó un diámetro ecuatorial de 8,2 cm y polar de 8,9 cm con peso de 469,2 g. A partir del día 20 la tendencia del peso de la cáscara fue disminuir y en la pulpa aumentar pero aceleradamente. Durante la maduración, los azúcares reductores se incrementaron de 4,5 % (día 25) a 6,6 % (día 31) y lo mismo ocurrió con el contenido de sólidos solubles totales (9,5 y 12,6 °Bx para los días 25 y 31, respectivamente). La acidez titulable disminuyó de 1,2 % (día 25) a 0,4 % (día 31) y lo mismo ocurrió con el contenido de ácido ascórbico (12,2 y 9,6 % para los días 25 y 31, respectivamente). Los autores concluyen que la maduración ocurrió entre los 25 y 31 días de la apertura floral, la percepción del sabor varió de agrídulce a dulce y los frutos cortados a los 29 y 31 días fueron los más aceptados.

La calidad y vida poscosecha de frutos de *Hylocereus undatus* Haw. cosechados en tres estados de madurez (escala subjetiva de color rojo de la superficie de la cáscara: 25 a 50 - inicial, 50 a 75 - media y 75 a 100 % - completa), fueron estudiadas por Osuna-Enciso *et al.* (2011). Los autores concluyen que los frutos cosechados en madurez media y completa mantuvieron mejores características de color en cáscara y nivel de sólidos solubles totales durante 12 días de almacenamiento (20 ± 2 °C) en comparación a los cosechados en madurez inicial. Agregan que la rápida disminución de la acidez titulable afectó su calidad, la cual se mantuvo aceptable a los 8 y 6 días para madurez media y completa, respectivamente. Por otra parte, los frutos cosechados en madurez inicial conservaron los mayores niveles de firmeza, acidez titulable,

vitamina C y mejor relación grados Brix/acidez, la cual se mantuvo hasta el día 10 de almacenamiento; señalando que en estos frutos, el color rojo de la cáscara fue menos intenso.

Un estudio sobre el manejo poscosecha, enfocado a determinar los efectos del agua caliente (temperaturas de 35, 45 y 60 °C), tiempo de sumersión en la misma (15, 30 y 60 min) y tiempo de almacenamiento (0, 5, 10 y 15 días a temperatura de 25 °C), sobre la vida útil, de frutos de *Hylocereus polyrhizus* (fruta del dragón) fue realizado por Lum y Norazira (2011) en Malasia. Los parámetros de calidad evaluados fueron: pérdida de peso, sólidos solubles, acidez titulable, pH y firmeza. Los resultados mostraron que la mayor pérdida de peso (15,06 %) se obtuvo en frutos sumergidos por 60 min a 60 °C (interacción) y la menor por 60 min a 35 °C (5,05 %). La concentración de sólidos solubles se incrementó del día 0 (8,88 % °Bx) al día 15 (12,75 % °Bx) y luego hubo un decremento. Fue observado que en los frutos sumergidos a temperaturas de 35 a 45 °C la acidez titulable disminuyó y lo mismo ocurrió al transcurrir mayor tiempo de almacenamiento, como también que los valores de pH disminuyeron en la medida en que el tiempo de sumersión fue mayor. El mas alto valor de pH se obtuvo a 15 min de sumersión a 60 °C. En el trabajo se concluye que la vida útil y calidad de estos frutos, puede ser extendida utilizando un adecuado tiempo de sumersión en agua caliente.

La presencia de antracnosis, una enfermedad producida por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Zacc., ha sido documentada en *Hylocereus undatus* por Palmateer y Ploetz (2006) en plantaciones comerciales en el sur de Florida, Estados Unidos; por Takahashi *et al.* (2008) en tallos y frutos de *Hylocereus megalanthus* (sinominia de *Selenicereus megalanthus* (Lim, 2012)) en Botucatu, Brasil; y por Masyahit *et al.* (2009a), en frutos muestreados en áreas de cultivo de la región peninsular de Malasia. Awang *et al.* (2011) han evaluado el efecto de

la adición de cloruro de calcio (CaCl₂) sobre la antracnosis y calidad poscosecha de frutos de *Hylocereus polyrhizus*. La experiencia se basó, en remojar frutos en soluciones con 5 diferentes concentraciones de CaCl₂ (0; 1,0; 2,0; 3,0 y 4,0 g/L) por 30 min, y de manera artificial, provocar heridas en los mismos (0,5 cm de diámetro) e inocularlos con 10⁶ esporas por mL de *Colletotrichum gloeosporioides*. Los tratamientos con CaCl₂, no protegieron a los frutos de la antracnosis, exhibiendo 100 % de infección después de 3 días de incubación, en todos los casos. No obstante, el tamaño de la lesión se redujo hasta en un 70 % en la medida en que la concentración de CaCl₂ se incrementó de 0 a 4,0 g/L. También observaron, de manera proporcional, que el incremento de la concentración de CaCl₂ incrementó la firmeza de los frutos, y los contenidos de N, P, K y Mg, en piel y pulpa, no fueron afectados por los tratamientos con CaCl₂. Los tratamientos elevaron el contenido de calcio en los frutos (siendo mayor en cáscara que en pulpa). Similares resultados obtuvieron Abd-Ghani *et al.* (2011), para frutos de la misma especie, aplicando CaCl₂ mediante spray.

Ha sido documentada, por primera vez en Malasia, como causante de enfermedad por pudrición blanda de origen bacteriano en tallos y frutos de *Hylocereus polyrhizus*, *Hylocereus undatus* y *Selenicereus megalanthus*, a la especie *Enterobacter cloacae* (Masyahit *et al.*, 2009b); como también, el daño de un insecto coleóptero (*Cactophagus spinolae* (Gyllenhal 1838)) en tallos y botones florales de tres especies de *Hylocereus* (*H. undatus* (Haworth) Britton & Rose, *H. purpussi* (Weing) Britton & Rose, *H. ocamponis* (Salm-Dyck) Britton & Rose) y una subespecie (*H. undatus* subsp. *luteocarpus*) en Morelos, México (Ramírez-Delgadillo *et al.*, 2011).

Los frutos de especies del género *Hylocereus* hospedan moscas tefrítidas y por tal razón son sometidos a restricciones por parte de la regulación para su exportación a diversos mercados. Hoa *et al.* (2006) propusieron trata-

mientos con aire caliente para la desinfestación con mínima reducción de la calidad (46,5 °C por 20 y 40 min; 48,5 °C por 50, 70 y 90 min, seguidos de almacenamiento durante 2 a 4 semanas a 5 °C para *Bactrocera* spp.), observando que la calidad de los frutos durante o después del almacenamiento no sufrió consecuencias. Otros autores consideran que generalmente la irradiación es más efectiva. Wall y Khan (2008) ensayaron irradiación con rayos X en dosis de 200, 400, 600 y 800 Gy sobre clones de frutos de *Hylocereus* spp. (*Hylocereus undatus* x *Hylocereus polyrhizus*, piel roja con pulpa roja-púrpura e *Hylocereus undatus*, piel roja con pulpa blanca), los cuales luego fueron almacenados por 12 días a 10 °C. Al término observaron que el color de la superficie, daño a la cáscara y la apariencia bráctea difirió entre los clones sometidos al estrés de irradiación, pero en todos los casos, los cambios visibles fueron mínimos y los contenidos de sólidos solubles y acidez titulable no fueron afectados. El estudio se realizó con frutos cosechados en Hawaii y los autores mencionan que la dosis mínima aprobada por la regulación estadounidense para exportación es de 400 Gy y en frutos que reciben 150 Gy la inspección posttratamiento para cochinillas (*Dysmicoccus neobrevipes*, *Maconellicoccus hirsutus* y *Pseudococcus cryptus*) es requerida. El trabajo fue realizado debido a que no existía literatura sobre los límites de radiotolerancia para estos frutos. Follet (2009) describe que la radiación ionizante rompe los enlaces químicos en el ADN y otras moléculas alterando de esta forma la función celular normal de los insectos, por lo que muchos tejidos y funciones pueden verse afectados. Insectos y otros organismos vivos son capaces de reparar el daño molecular ocasionado por pequeñas cantidades de energía ionizante pero grandes cantidades son fatales o pueden causar esterilidad permanente, siendo esta la base para el uso de la irradiación para el control de insectos.

En apoyo al desarrollo de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose (Cactaceae

también llamada pitaya o fruta del dragón) como cultivo comercial en Hawaii, McQuate (2010) controló 2 ha de un huerto cultivado con esta especie, ubicado en Kapoho (Hawaii), durante las temporadas de fructificación 2007-2008, con el fin de documentar los niveles y la distribución espacial de las poblaciones de las moscas tefritidas *Bactrocera dorsalis* y *Bactrocera cucurbitae*, y el nivel de infestación; utilizando trampas. Niveles bajos de población para ambas especies se encontraron en las dos temporadas (< 0,25 moscas/trampa/día) detectando mayor población a lo largo de las fronteras del huerto que en el huerto mismo. En base a la recolección de frutos al final de la producción en ambas temporadas, la tasa de infestación en los frutos maduros se incrementó de 4,1 % y 6,1 % (2007) a 28,0 % y 8,0 % (2008) para *Bactrocera dorsalis* y *Bactrocera cucurbitae*, respectivamente.

Un estudio informa que la cáscara de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) consiste en aproximadamente un 22 % del peso del fruto la cual se descarta durante el procesamiento, y con miras a evaluar su potencial para la recuperación de materiales con cualquier valor agregado, Jamilah *et al.* (2011) evaluaron las características fisicoquímicas, determinando un contenido de humedad de 92,7 % aproximadamente, bajo contenido de sólidos solubles, proteína, cenizas y extracto etéreo, alto contenido de betacianina (150,46 ± 2,19 mg/100 g) y pectina (10,8 %), detectando glucosa, maltosa y fructosa pero no sacarosa y galactosa. La cáscara también presentó alto contenido de fibra dietética insoluble y soluble en una relación de 3,8:1,0.

La cáscara de frutos de especies de *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus undatus* presentan propiedades antibacterianas, siendo mayor en *H. polyrhizus* (Nurmahani *et al.*, 2012), especie, esta última citada, en la que ha sido identificada la presencia de betanina, indicándose que es el principal pigmento que contribuye con el color púrpura profunda de la

pulpa (Rebecca *et al.*, 2010). Ha sido informado por Harivaindaran *et al.* (2008) que las mejores condiciones para la obtención de los pigmentos del tipo betalainas en cáscara de *Hylocereus polyrhizus* son mediante calentamiento de las muestras a 100 °C por 5 minutos en agua destilada a pH 5 (regulada con solución de ácido cítrico 1,0 M). Jamaludin *et al.* (2011) resumen que los frutos de *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose siguen un patrón de tipo sigmoidal durante el crecimiento. Los autores estudiaron diversos cambios fisico-químicos y estructurales ocurridos a partir del día 5 hasta el día 35 después de la polinización. Los cambios de color en pulpa y cáscara fueron progresivos de verde a rojo-violeta. El rojo-violeta (betacianina) se manifestó en la pulpa a los 25 días después de la polinización y en la cáscara 4 - 5 días después. Al día 30, pulpa y cáscara se tornaron totalmente rojo-violeta. Señalan que hubo incrementos significativos en la concentración de sólidos solubles y acidez titulable conforme al continuo incremento del contenido de betacianina, y concluyen que los cambios en las propiedades fisico-químicas y la acumulación de betacianina durante el desarrollo y maduración, coincidieron con los cambios estructurales.

Por otra parte, Nurliyana *et al.* (2010) determinaron que el contenido de fenólicos en cáscara de *Hylocereus undatus* fue mayor (36,12 mg/100 g) que en *Hylocereus polyrhizus* (28,16 mg/100 g) y en pulpa el caso contrario (19,72 y 3,75 mg/100 g para pulpa de *H. polyrhizus* e *H. undatus*, respectivamente); a partir de estos resultados del estudio se puede derivar que las cáscaras presentan mayor contenido de fenólicos que las pulpas. En líneas generales, el trabajo de Nurliyana *et al.* (2010) difiere del llevado a cabo por Choo y Wong (2011), quienes determinaron que las pulpas contienen mayor contenido de compuestos fenólicos que las cáscaras, y a su vez, el contenido de fenólicos totales en pulpa para *H. undatus* fue mayor (28,65 mg/100 g) que en pulpa de *H. polyrhizus* (24,22 mg/100 g). Choo

y Wong (2011) también evaluaron las propiedades antioxidantes de las 2 especies de *Hylocereus* citadas; la actividad antioxidante, mediante ensayo de actividad atrapadora de radicales libres DPPH^{*}, arrojó el siguiente orden: pulpa de *H. undatus* \approx pulpa de *H. polyrhizus* > frutos (cáscara y pulpa) de *H. polyrhizus* > frutos (cáscara y pulpa) de *H. undatus*; y mediante ensayo de la actividad quelante de iones ferrosos, el siguiente orden: pulpa de *H. undatus* > frutos (cáscara y pulpa) de *H. polyrhizus* > frutos (cáscara y pulpa) de *H. undatus* > pulpa de *H. polyrhizus*.

Las semillas de ambas especies de *Hylocereus* poseen alto contenido de aceite (18,33 - 28,3 %), predominando los ácidos linoleico, oleico y palmítico. Con contenidos de tocoferoles totales de 36,70 y 43,50 mg/100 g para *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*, respectivamente (Lim *et al.*, 2010). En el mismo sentido, Ariffin *et al.* (2009) señalan por su parte, que el aceite de las semillas de ambas contiene alrededor de 50 % de ácidos grasos esenciales, habiendo sido determinado que las semillas de *Hylocereus undatus* poseen ácido mirístico 0,3 %; palmítico 17,1 %; esteárico 4,37 %; palmitoleico 0,61 %; oleico indiferenciado 23,8 %; *cis*-vacénico 2,81 %; linoleico indiferenciado 50,1 % y linolénico 0,98 % (Ariffin *et al.*, 2009; Lim, 2012). Estos estudios han revelado que el aceite de semillas de pitaya posee un alto nivel de lípidos funcionales y puede ser utilizado como nueva fuente de aceite esencial (Lim *et al.*, 2010).

También ha sido informado en otro estudio que la adición de puré de frutos de *Hylocereus polyrhizus* (pulpa roja, piel rosada) e *Hylocereus undatus* (pulpa blanca, piel rosada) al yogurt mejora la tasa de fermentación de la leche, el contenido de ácido láctico, el porcentaje de sinéresis, la actividad antioxidante, el contenido fenólico total y las propiedades sensoriales (Zainoldin y Baba, 2012).

En Colombia, *Selenicereus megalanthus* Haw. (pitahaya amarilla) se cultiva comercialmente desde los años ochenta aproximadamente, siendo este país e Israel, los mayores proveedores a nivel mundial; lo señalan Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2005). Estos autores evaluaron el comportamiento en poscosecha de estos frutos con estados de madurez 3 (color verde-amarillo) y 5 (color amarillo con punta de las mamilas ligeramente verdosas) a temperaturas de almacenamiento de 8 y 19 °C, para determinar el efecto de estos factores sobre las variables: sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de madurez, pH, contenido de ácidos y azúcares, porcentaje de agua en el fruto y tasa respiratoria. Observaron que el estado de madurez fue el factor que determinó el comportamiento en poscosecha, siendo el estado 3 el que aportó mejores resultados (tiempo de vida útil mas largo y mejor estado de conservación). Por otra parte, a criterio de García y Robayo (2008), deficiencias en el manejo poscosecha que se reflejan en tiempos de vida útil cortos, pérdidas poscosecha significativas, costos de comercialización altos y una amplia fluctuación de precios, son factores que limitan el crecimiento de la cadena de estos frutos e impiden su posicionamiento en el mercado internacional; y a tales fines, las autoras evaluaron el uso de atmósferas modificadas pasivas a baja temperatura (10 °C) para su conservación. En este estudio los factores fueron dos estados de madurez (1 fruto verde y 3 fruto pintón), con y sin películas poliméricas para empaque, tipo de empaque (polietileno y polipropileno) y empaque perforado y no perforado. El efecto de los factores para estimar el comportamiento poscosecha se evaluó sobre el porcentaje del área deteriorada, el color de la cáscara, la pérdida de peso y firmeza, el contenido de sólidos solubles y la acidez. Apreciaron que, el mayor efecto del uso de empaques (no perforados) se constituyó en la reducción de la pérdida de peso.

En relación a otras especies, estudios taxonómicos han sido llevados a cabo por

Bauer y Waechter (2006) en el Estado de Río Grande del Sur, Brasil, quienes identificaron 4 géneros de epífitas verdaderas (*Epiphyllum*, *Hatiora*, *Lepismium*, *Rhipsalis*) y 2 de epífitas accidentales (terrestres que crecen sobre otras plantas de manera ocasional) para un total de 13 especies, de las cuales *Rhipsalis camposportoana* fue referida por primera vez en dicho Estado y siendo las especies accidentales *Cereus alacriportanus* Pfeiff. y *Opuntia monacantha* Haw.

Rhipsalis cereuscula Haw., *Rhipsalis floccosa* subsp. *hohenauensis* (F. Ritter) Barthlott *et* N. P. Taylor y *Lepismium cruciforme* (Vellozo) Miquel, son cactáceas epífitas obligatorias que frecuentemente habitan en troncos de árboles de bosques de Maringá, Paraná, Brasil. Secorun y de Souza (2011) analizaron la morfología y anatomía de las plántulas de estas especies mediante técnicas de inclusión en resina y pruebas histoquímicas. Las plántulas fueron clasificadas como fanerocotiledonares y se originaron de semillas con opérculo. Las raíces fueron diarcas y los hipocótilos presentaron estructura de transición raíz-tallo. Los cotiledones fueron sésiles, reducidos, con mesófilo homogéneo. Los epicótilos presentaron mucho parénquima y cilindro vascular reducido. Concluyendo que las 3 especies presentaron características anatómicas similares a las descritas para especies de *Rhipsalis* y *Lepismium*, así como otras cactáceas. Cota-Sánchez y Bomfim-Patricio (2010) estudiaron mediante microscopía electrónica de barrido, para analizar la morfología de semillas, estructura celular de la testa de semillas, tallo, estomas y frutos, a *Rhipsalis baccifera*, con el propósito de determinar patrones de variabilidad infraespecífica.

La morfología y anatomía de segmentos de tallos de *Lepismium cruciforme* y *Lepismium lumbricoides* que crecen en el bosque de Araucaria en Brasil, fue estudiada por Torres-Boeger *et al.* (2010) con el propósito de identi-

ficar rasgos morfológicos de adaptación para el epifitismo, condiciones de poca luz y establecer comparaciones. Encontraron diferencias entre las especies en el volumen total, área total fotosintética, grosor de la epidermis e hipodermis, área del esclerénquima/área transversal total de los segmentos del tallo y área del parénquima/área transversal total; indicando que estos caracteres pueden ser correlacionados a sus diferencias en forma; asimismo que el grosor de la hipodermis, el contenido de agua, la cantidad de esclerénquima y las densidad estomática fueron más similares a las plantas mesomórficas, pudiéndose correlacionar al epifitismo, demostrando que estas especies perdieron algunas de sus adaptaciones para ambientes secos. Como epífitas están sujetas a cierto grado de escasez de agua, aunque no a condiciones tan severas como las cactáceas terrestres.

Flores de *Epiphyllum phyllanthus* fueron morfo-anatómicamente analizadas por Garcia de Almeida *et al.* (2010) mediante microscopio de luz y electrónico, encontrando cavidades secretoras con mucílago y cristales de oxalato de calcio en todo el tejido parenquimático.

La composición química, componentes estructurales y factores antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. var. *hookeri* (Link & Otto) Kimn. (Fig. 2), especie epífita con frutos comestibles pero de poco interés comercial por su tamaño (Rondón-R., 1998), fueron determinados por Padrón-Pereira *et al.* (2008). Los valores de proteína, extracto etéreo y fósforo fueron similares a los señalados en otras especies de cactáceas no epífitas. Esta especie presentó alto contenido de hierro (37,2 mg/100 g de materia seca), valor que superó el de especies de *Opuntia* y otras especies vegetales como la espinaca. Asimismo, presentó alto contenido en fibra (35,54 %) y desde el punto de vista antinutricional los filocladios fueron considerados de muy baja toxicidad. Debido a su alto contenido en fibra, en un estudio poste-

rior (Padrón-Pereira *et al.*, 2009), la harina de *E. hookeri* fue hidrolizada enzimáticamente con enzimas fibrolíticas (Rapidase® TF y Rapidase® LIQ Plus, DSM, The Netherlands), lográndose bajas reducciones en los componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectina) lo que se tradujo en un incremento modesto de los azúcares solubles (2,89 %), atribuido en parte a la pérdida adsorptiva de las enzimas por causa de la lignina (16,57 % en la harina a hidrolizar). Cabe destacar que los filocladios de *E. hookeri* poseen un segmento cilíndrico de tallo unido a la gruesa vena central característica de los mismos, donde presumiblemente se encuentra gran concentración de material fibroso (celulosa, hemicelulosa y en mayor cantidad lignina). La lignina pudiera contribuir a disminuir el aprovechamiento alimenticio de este recurso; sin embargo, una alternativa de solución sería que durante el muestreo el corte se realice excluyendo el segmento cilíndrico del tallo (Padrón-Pereira *et al.*, 2008).

Extractos de diclorometano y acuoso metanólico crudos de *Rhipsalis micrantha* (parte aérea de la planta), mostraron actividad antioxidante moderada con valores porcentuales de $29 \pm 1,6$ y $21 \pm 1,5$ %, respectivamente (Niño *et al.*, 2011); no obstante, la actividad no pudo ser explicada en base al contenido de flavonoides debido a que estos fitocompuestos no fueron detectados en el tamizaje fitoquímico realizado.

Frutos de 4 especies de cactus epífitos: *Lepismium lorentzianum*, *Lepismium lumbricoides*, *Rhipsalis floccosa* y *Pfeiffera ianthothele*, que crecen en las Yungas Australes del Noroeste Argentino, fueron estudiados comparativamente en relación a su actividad antioxidante y propiedades antimutagénicas, así como en su perfil fotoquímico, por Zampini *et al.* (2011) mediante diversos ensayos (capacidad atrapadora de radicales ABTS^{•+} e inhibición de la peroxidación lipídica utilizando el sistema del β -caroteno-linoleato, entre otros). Un pigmento del tipo betalaina fue detectado en



Figura 2.- *Epiphyllum hookeri* (Link y Otto) Kimnach, hospedado en un árbol ubicado en las inmediaciones de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, en Canoabo, Venezuela (en imágenes detalle, su flor nocturna).

los frutos de ambas especies de *Lepismium*. En el extracto acuoso de *L. lumbricoides* el contenido fue menor (9,2 mg/100 g) que en el de *L. lorentzianum* (60,6 mg/100 g); esta última especie además mostró, en los preparados de los extractos, significativamente mayor contenido de compuestos fenólicos totales. En relación a la actividad antioxidante, las 2 especies de *Lepismium* fueron más activas que *Rhipsalis* y *Pfeiffera*. Los autores concluyen, por el contenido de compuestos bioactivos encontrados, que pueden ser propuestas aplicaciones farmacéuticas, cosméticas y en

alimentos. Por otra parte, es de hacer notar que este tipo de estudios puede conllevar a otros con miras al desarrollo de nuevos modelos culturales y de cultivo, por ser especies poco estudiadas, subutilizadas, pero con evidente rol promotor de la salud.

CONCLUSIONES

Nuevas posibilidades están siendo exploradas en el desarrollo del potencial de las cactáceas. En algunos casos, orientadas hacia un mejor aprovechamiento y productividad, la

conservación del medio ambiente y la diversidad genética, y en otros, los estudios y prácticas están dirigidos a dar valor agregado. En líneas generales, toda la información contribuye al desarrollo sustentable en las regiones.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la Dra. Mónica Azucena Nazareno de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en Argentina, la Fig. 1 y su discusión respectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-Ghani, Muhd Azlan, Yahya Awang, Yahia and Sijam, Kamaruzaman. 2011. Disease occurrence and fruit quality of pre-harvest calcium treated red flesh dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *African Journal of Biotechnology*. 10(9):1550-1558.
- Aguilar-Yáñez, M.I.; Hernández-Mendo, O.; Guerrero-Legarreta, I.; Ramírez-Bribiesca, J.E.; Aranda-Osorio, G. and Crosby-Galvan, M.M. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13:23-35.
- Altare, Mariela; Trione, Sinibaldo; Guevara, Juan C. and Cony, Mariano. 2006. Stimulation and promotion of germination in *Opuntia ficus-indica* seeds. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 8:91-100.
- Álvarez-Armenta; Rosario and Peña-Valdivia, Cecilia Beatriz. 2009. Structural polysaccharides in xocostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 11:26-44.
- Angulo-Bejarano, Paola Isabel and Paredes-López, Octavio. 2011. Development of a regeneration protocol through indirect organogenesis in prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). *Scientia Horticulturae*. 128(3):283-288.
- Aranda-Osorio, Gilberto; Flores-Valdez, Claudio A.; Cruz-Miranda, F. Macário. 2008. Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 10:49-55.
- Aranda-Osorio, Gilberto y Flores-Valdez, Claudio Armando. 2011. Calidad de la carne de animales suplementados con nopal. En IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional sobre "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial N° 5:135-142.
- Arias, Salvador y Sánchez-Martínez. 2010. Una especie nueva de *Strombocactus* (Cactaceae) del río Moctezuma, Querétaro, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:619-624.
- Arias, Salvador and Terrazas, Teresa. 2008. *xPachebergia* (Cactaceae), a nothogenus from western Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79:23-28.
- Ariffin, Abdul Azis; Bakar, Jamilah; Tan, Chin Ping; Rahman, Russly Abdul; Karim, Roselina and Loi, Chia Chun. 2009. Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. *Food Chemistry*. 114(2):561-564.
- Awang; Yahya; Abdul-Ghani, Muhd Azlan; Sijam, Kamaruzaman and Mohamad, Rosli B. 2011. Effect of calcium chloride on anthracnose disease and postharvest quality of red-flesh dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *African Journal of Microbiology Research*. 5(29):5250-5259.
- Ayala-Cordero, Gabriela; Terrazas, Teresa; López-Mata, Laura y Trejo, Carlos. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación

- en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*. 29(12):692-697.
- Barbera, Giuseppe; Inglese, Paolo and Pimienta Barrios, Eulogio. 1995. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. *FAO Plant Production and Protection Paper*. N° 132. 216 p.
- Bauer, Danielle e Waechter, Jorge Luiz. 2006. Sinopse taxonômica de Cactaceae epifíticas no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 20(1):225-239.
- Ben Salem, Hichem and Nefzaoui, Ali. 2010. Cactus holds promises as a tool to improve the productivity & sustainability of livestockbased production systems under the climate change context. In *Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal*. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Berger, H.; Sáenz, C.; Galletti, L. and Escalona, V.H. 2005. Minimal processing: an alternative for cactus pear. *Cactusnet Newsletter*. Issue 9:19-21.
- Camacho-C., O.; Peña-Valdivia, C.B. y Sánchez-Urdaneta, A.B. 2007. Efecto del potencial hídrico del suelo en el crecimiento y contenido de polisacáridos estructurales de nopalito (*Opuntia* spp.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 24(Supl. 1):254-259.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. In *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. *FAO Plant Production and Protection Paper*. 132:120-141.
- Chessa, Innocenza. 2010. Cactus pear genetic resources conservation, evaluation and uses. (pp. 43-58). In Nefzaoui, A. Inglese, P. and Belay, T. (Eds.). *Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa*. *Proceedings of International Workshop, Mekelle (Ethiopia), 19-21 October, 2009*. *Cactusnet Newsletter*. Issue 12.
- Chessa, Innocenza and Nieddu, Giovanni. 1997. Descriptors for cactus pear (*Opuntia* spp.). *Cactusnet News Letter*. Special issue: May, 1997.
- Chessa, Innocenza; Satta, Daniela y Nieddu, Giovanni. 2006. Evaluación de los recursos genéticos de la *Opuntia* spp. para la selección de variedades. En *Aprovechamiento integral de la tuna*. (pp. 12-20). Santiago del Estero, Argentina: Editorial El Liberal.
- Choo, Wee Sim and Yong, Wee Khing. 2011. Antioxidant properties of two species of *Hylocereus* fruits. *Advances in Applied Science Research*. 2(3):418-425.
- Centurión-Yah, Alma R.; Solís-Pereira, Sara; Saucedo-Veloz, Crescenciano; Báez-Sañudo, Reginaldo y Sauri-Duch, Enrique. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(1):1-5.
- Coria-Cayupán, Y.S.; Ochoa, María J. and Nazareno, Mónica A. 2011. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. *Food Chemistry*. 126(2):514-519.
- Corrales-García, Joel. 2011. Perspectivas agroindustriales de la postcosecha de nopalito y tuna. En *IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional sobre "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey"*. 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial N° 5:1-22.
- Corrales-García, Joel; Peña-Valdivia, Cecilia B.; Razo-Martínez; Yolanda and Sánchez-Hernández, Margarita. 2004. Acidity changes and pH-buffering capacity of

- nopalitos (*Opuntia* spp.). *Postharvest Biology and Technology*. 32(2):169-174.
- Costa, Roberto Germano; Filho, Edvaldo Mesquita Beltrão; do Egypto Queiroga, Rita de Cássia Ramos; Madruga, Marta Suely; de Medeiros, Ariosvaldo Nunes and de Oliveira; Celso José Bruno. 2010. Chemical composition of milk from goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in substitution to corn meal. *Small Ruminant Research*. 94(1-3):214-217.
- Cota-Sánchez, J. Hugo and Bomfim-Patricio, Márcia C. 2010. Seed morphology, polyploidy and the evolutionary history of the epiphytic cactus *Rhipsalis baccifera* (Cactaceae). *Polibotánica*. 29:107-129.
- de Carvalho, V.M.; Mangolin, C.A.; Machado, M.F.P.S. 2008. Seed germination of the *Cereus peruvianus* Mill. (Cactaceae) somaclones follows a relatively simple protocol. *Seed Science and Technology*. 36(3):595-600.
- de Wit, Maryna; Nel, Philip; Osthoff, Gernot and Labuschagne, Maryke T. 2010a. The effect of variety and location on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. *Plant Foods for Human Nutrition*. 65(2):136-145.
- de Wit, Maryna; Shongwe, N.; Nel, P.; Osthoff, G. and Labuschagne, M. 2010b. The influence of cultivar, location and season on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. In *Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal*. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Del Nobile, M.A.; Conte, A.; Scrocco, C. and Brescia, I. 2009. New strategies for minimally processed cactus pear packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 10(3):356-362.
- Díaz-B., Jorge Ulises. 2005. Biología y manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla (*Hylocereus* spp. y *Selenicereus* spp.). La Calera (Universidad Nacional Agraria, Nicaragua). 5(6):44-49.
- Dimitris, Lydakis; Pompodakis, N.; Markellou, E. and Lionakis S.M. 2005. Storage response of cactus pear fruit following hot water brushing. *Postharvest Biology and Technology*. 38(2):145-151.
- dos Santos, Mércia Virgínia F.; Gomes de M. e Silva, Nalígia; Dubeux Jr., José Carlos B.; da Cunha, Márcio Vieira; dos Santos, Djalma C.; Lira, Mário de A.; de Mello, Alexandre C.L. and Pinto, Maria do Socorro de Caldas. 2010. Morphological development of cactus pear forage (*Opuntia ficus-indica* Mill.) as affected by plant population and organic fertilization. In *Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal*. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Dubeux Jr., José Carlos B.; Gomes de M. e Silva, Nalígia; dos Santos, Mércia Virgínia F.; da Cunha, Márcio Vieira; dos Santos, Djalma C.; Lira, Mário de A.; de Mello, Alexandre C.L. and Pinto, Maria do Socorro de Caldas. 2010. Organic fertilization and plant population affects shoot and root biomass of cactus pear forage (*Opuntia ficus-indica* Mill.). In *Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal*. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Duru, Berat and Turker, Nuzhet. 2005. Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. *Journal of the*

- Professional Association for Cactus Development. 7:22-33.
- Esquivel, Patricia. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2):215-219.
- Felker, P.; Stintzing, F.C.; Müssig, E.; Leitenberger, M.; Carle, R.; Vogt, T. and Bunch, R. 2008. Colour inheritance in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits. *Annals of Applied Biology*. 152(3):307-318.
- Felker, Peter; Bunch, Ronald y Guevara, Juan Carlos. 2011. Comparación de los sistemas de producción de frutos y forraje de *Opuntia* para un impacto macroeconómico en regiones áridas. En IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional sobre "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial N° 5:59-64.
- Felker, Peter; Bunch, Ronald A. y Guevara, Juan Carlos. 2010. Nuevos híbridos de *Opuntia lindheimerii* x *O. ficus indica* forrajeros sin espinas resistentes al frío. En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial N° 5:48-56.
- Felker, Peter; Soulier, Carlos; Leguizamón, Graciela and Ochoa, Judith. 2002. A comparison of the fruit parameters of 12 *Opuntia* clones grown in Argentina and the United States. *Journal of Arid Environments*. 52(3):361-370.
- Flores, Joel y Jurado, Enrique. 2009. Efecto de la densidad de las semillas en la germinación de *Isolatocereus dumortieri* y *Myrtillocactus geometrizans*, cactáceas columnares endémicas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80:141-144.
- Flores-Ortiz, Miguel A. y Reveles-Hernández, Manuel. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial N° 5:198-210.
- Follet, Peter A. 2009. Generic radiation quarantine treatments: the next steps. *Journal of Economic Entomology*. 102(4):1399-1406.
- Franco-Salazar, Víctor A. y Véliz, José A. 2007. Respuestas de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) al NaCl. *Interciencia*. 32(2):125-130.
- Fuentes, J.M.; Jiménez, C.L.; Suárez, G.L.; Torres, H.M.; Murillo, S.M.E.; López, G.J.J. and Ortez, R.B. 2006. *In situ* digestibility of four cactus pear (*Opuntia* spp.) species. *Acta Horticulturae*. 728:275-278.
- Gallegos-Vázquez, C.; Scheinvar, L.; Mondragón-Jacobo, C. and Núñez-Colin, C.A. 2010. Morphological variability of xoconostles or acidic cactus pears (*Opuntia* spp.) from North Central Mexico. In Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Gallegos-Vázquez, C.; Valdez-Cepeda, R.D.; Barrón-Macías, M.; Barrientos-Priego, A.F.; Andrés-Agustín, J. y Nieto-Ángel, R. 2006. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del Banco de Germoplasma del CRUCEN-UACH. *Revista Chapingo*. Serie Horticultura. 12(1):41-49.
- Gallegos-Vásquez, Clemente; Barrientos-Priego, Alejandro F.; Reyes-Aguero, Juan

- A.; Núñez-Colín, Carlos A. and Mondragón-Jacobo, Candelario. 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13:10-22.
- García, María Cristina y Robayo, Pilar. 2008. Evaluación del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinicereus megalanthus* Shuman). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 9(1):30-39.
- García de Almeida, Odair José; de Souza, Luiz Antonio e Moscheta, Ismar Sebastião. 2009. Morfo-anatomía da plântula de indivíduos somaclones de *Cereus hildmannianus* Schumann (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 6(3):29-35.
- García de Almeida, Odair José; Sartori-Paoli, Adelita Aparecida and de Souza, Luiz Antonio. 2010. Flower morpho-anatomy in *Epiphyllum phyllanthus* (Cactaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:65-80.
- Gebresamuel, Naod and Gebre-Mariam, Tsige. 2012. Comparative physico-chemical characterization of the mucilages of two cactus pears (*Opuntia* spp.) obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 3(1):79-86.
- González-Torres, Luis Roberto; Palmarola, Alejandro and Barrios, Duniel. 2011. The programme for the conservation of Cuban cacti: achievements and challenges. *Cactus World*. 29(1):39-43.
- Griffith, M. Patrick and Porter, J. Mark. 2009. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). *International Journal of Plant Sciences*. 170(1):107-116.
- Guevara, J.C.; Suassuna, P. and Felker, P. 2009. *Opuntia* forage production systems: status and prospects for rangeland application. *Rangeland Ecology & Management*. 62(5):428-434.
- Guevara, Juan C.; Felker, Peter; Balzarini, Mónica G.; Páez, Sebastián A.; Estevez, Oscar R.; Paez, Marta N. and Antúnez, Juan C. 2011. Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 x *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13:48-62.
- Guillot-Ortiz, Daniel y Van Der Meer, Piet. 2006. Algunos taxones nuevos del género *Opuntia* Mill. en la comunidad valenciana. *Flora Montiberica*. 32:39-50.
- Gurvich, Diego E. 2010. Registro de herbivoría de guanaco, *Lama guanicoe*, sobre *Tephrocactus alexanderi* (Cactaceae, Opuntioideae) en el Parque Provincial Ischigualasto (Prov. San Juan, Argentina). *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 7(3):7-9.
- Guzmán-Maldonado, Salvador H.; Morales-Montelongo, Ana L.; Mondragón-Jacobo, Candelario; Herrera-Hernández, Guadalupe; Guevara-Lara, Fidel and Reynoso-Camacho, Rosalia. 2010. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *Journal of Food Science*. 75(6):C485-C492.
- Habibi, Youssef; Heux, Laurent; Mahrouz, Mostafa and Vignon, Michel R. 2008. Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*. 72(1):102-112.
- Harivaindaran, K.V.; Rebecca, O.P.S. and Chandran, S. 2008. Study of optimal temperature, pH and stability of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for use as potential natural colorant. Pakistan

- Journal of Biological Sciences. 11(18):2259-2263.
- Harrak, Hasnaâ and Jaouan, Fatiha. 2010. Technological, organoleptic and nutritional qualities of cladodes powder of cactus. (*Opuntia ficus indica*). In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Hernández, Evangelina; Ramírez, María Eugenia; Corzo, Luis Jorge. 2010. Efecto del estado de madurez sobre la composición química del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) var. Milpa Alta. En Extensos del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica-VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica-VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. 24-26 Marzo. Acapulco, Guerrero, México. http://biomedbiotec.homelinux.org/congreso2010/Extensos/Alimentos/ALI271MER_20091217.pdf
- Hernández, Marianel; Terrazas, Teresa; Delgado-Alvarado, Adriana y Luna-Cavazos, Mario. 2007. Los estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console (Cactaceae): variación en su área de distribución. Revista Fitotecnia Mexicana. 30(3):235-240.
- Hernández-Urbiola, Margarita I.; Pérez-Torrero, Esther and Rodríguez-García, Mario E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. International Journal of Environmental Research and Public Health. 8(5):1287-1295.
- Hoa, T.T.; Clark, C.J.; Waddell, B.C. and Woolf, A.B. 2006. Postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfesting hot air treatments. Postharvest Biology and Technology. 41(1):62-69.
- Inglese, Paolo. 2010. Cactus pear, *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) for fruit production: an overview. (pp. 82-92). In Nefzaoui, A. Inglese, P. and Belay, T. (Eds.). Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa. Proceedings of International Workshop, Mekelle (Ethiopia), 19-21 October, 2009. Cactusnet Newsletter. Issue 12.
- Jamaludin, Nur Adilla; Ding, Phebe and Hamid, Azizah Abdul. 2011. Physico-chemical and structural changes of red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) during fruit development. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91(2):278-285.
- Jamilah, B.; Shu, C.E.; Kharidah, M.; Dzulki-fly, M.A. and Noranizan, A. 2011. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. International Food Research Journal. 18:279-286.
- Jiménez-Aguilar, Angélica y Flores, Joel. 2010. Effect of light on seed germination of succulent species from the southern Chihuahuan Desert: comparing germinability and relative light germination. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 12:12-19.
- Jiménez-Sierra, Cecilia Leonor. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. Revista Digital Universitaria. 12(1):Artículo 04.
- Karababa, Erşan; Coşkuner, Yalçın and Aksay, Salih. 2004. Some physical fruit properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) that grow wild in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6:1-8.
- Leão de Mello, Alexandre Carneiro; Paixão, Stênio Lopes; Lira, Mário de Andrade; da

- Cunha, Márcio Vieira; dos Santos, Djalma Cordeiro; Dubeux Júnior, José Carlos Batista and dos Santos, Mércia Virgínia Ferreira. 2010. Genetic divergence and evaluation of forage cactus clones in the semi-arid of Pernambuco, Brasil. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Lim, T.K. 2012. Edible medicinal and non-medicinal plants. Volume 1. Fruits. (pp. 640-655). Dordrecht, Netherlands: Springer Science + Business Media B. V.
- Lim, Hong Kwong; Tan, Chin Ping; Karim, Roselina; Ariffin, Abdul Azis and Bakar, Jamilah. 2010. Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*, Food Chemistry. 119(4):1326-1331.
- Loaiza-S., Christian R. 2010. Consideraciones taxonómicas sobre dos cactáceas nativas de la región sur de Ecuador. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 7(3):12-14.
- Loaiza-S., Christian R.; Aguirre, Zhofre H. y Jadán, Oswaldo. 2009. Estado del conocimiento de la familia Cactaceae en el Ecuador. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 6(3):11-22.
- Lum, M.S. and Norazira, M.A. 2011. Effects of hot water, submergence time and storage duration on quality of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Journal of Agricultural Science. 3(1):146-152.
- MacQuate, Grant T. 2010. Tephritid fruit fly populations in a dragon fruit orchard in Hawaii: border plant use and infestation. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society. 42:41-48.
- Majure, Lucas C.; Judd, Walter S.; Soltis, Pamela S. and Soltis, Douglas E. 2012. Cytogeography of the *Humifusa* clade of *Opuntia* s.s. Mill. 1754 (Cactaceae, Opuntioideae, Opuntieae): correlations with pleistocene refugia and morphological traits in a polyploid complex. Comparative Cytogenetics. 6(1):53-77.
- Masyahit, Masanto; Sijam, Kamaruzaman; Awang, Yahya and Mohd-Satar, Mohd Ghazali. 2009a. The first report of the occurrence of anthracnose disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. on dragon fruit (*Hylocereus* spp.) in Peninsular Malaysia. American Journal of Applied Sciences. 6(5):902-912.
- Masyahit, Masanto; Sijam, Kamaruzaman; Awang, Yahya and Mohd-Satar, Mohd Ghazali, 2009b. First report on bacterial soft rot disease on dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) caused by *Enterobacter cloacae* in Peninsular Malaysia. International Journal of Agriculture & Biology. 11(6):659-666.
- Masyr, Alison and Peachey, Rita. 2011. Traditional datu cactus (*Ritterocereus griseus*) fences reduce run-off rates and transport of sediment and nutrients on hillsides in Bonaire, Dutch Caribbean. The Journal of Young Investigators. 21(4):61-70.
- Méndez, Eduardo. 2010. Germinación de *Echinopsis leucantha* (Cactaceae). Efectos de la temperatura y luz. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 7(3):21-24.
- Méndez, Eduardo. 2011. Efecto de la temperatura y la luz sobre la germinación de semillas de *Trichocereus candicans* y *Trichocereus strigosus*. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 8(2):16-19.
- Mihalte, Lucica; Sestras, Radu E.; Feszt, Gyotgy and Sestras, Adriana, F. 2010.

- Variability of seed traits in interspecific and intergeneric combinations between different genotypes of Cactaceae. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(3):246-252.
- Mondragón-J., Candelario and Chessa, Innocenza. 2010. A global perspective on genetic resource of cactus pear; an asset for the future sustainability of semiarid lands. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Mondragón-Jacobo, Candelario. 2010. "Juanita", "Virreyna" and "Tricolor" new cactus pear cultivars for the semiarid highlands of Central Mexico. In Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Mondragón-Jacobo, Candelario; Pérez-González, Salvador; Arias, Enrique; Reynolds, Stephen G. y Sánchez, Manuel D. 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. N° 169.
- Montalvo, Grecia; Quiala, Elisa; Mederos, Reinaldo; Matos, Jesús; de Feria, Manuel; Chávez, Maité; Placencia, Orestes y León, Miladys. 2004. Propagación *in vitro* de *Pilosocereus* sp. *Biotecnología Vegetal*. 4(1):43-48.
- Montalvo-Fernández, Grecia; Ortiz-García, Matilde; Quiala-Mendoza, Elisa; Keb-Llanes, Miguel; Rojas, Luis Emilio; Bautista-Alor, Martín; Alonso-Esquivel, Maruchi; Quiroz-Moreno, Ariana; Rohde, Wolfgang y Sánchez-Teyer, Lorenzo Felipe. 2010. Primer reporte del empleo de marcadores ISTR en Cactaceae (*Pilosocereus* sp.). *Revista Colombiana de Biotecnología*. XII(2):223-229.
- Muñoz-Uria, Alejandro; Palomino-Hasbach, Guadalupe; Terrazas, Teresa; García-Velázquez, Armando y Pimienta-Barrios, Eulogio. 2008. Variación anatómica y morfológica en especies y entre poblaciones de *Opuntia* en la porción sur del Desierto Chihuahuense. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 83:1-11.
- Muruaga, Nora Beatriz. 2010. Rebutias endémicas de la Argentina. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. 7(3):15-20.
- Nassar, Jafet M. y Emaldi, Unai. 2008. Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Botánica Venezuelica*. 31(2):495-528.
- Navarro-Cruz, Grecia; López, Martín y Náder-G., Blanca L. 2009. Cultivo *in vitro* de dos especies de cactáceas: *Aztekium ritterii* (Boed.) y *Coryphantha borwigii* (Purpus). En trabajos libres del XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y VII Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras. 21-26 Junio. Acapulco, Guerrero, México. http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_II/CII-27.pdf
- Nazareno, M.A.; Coria-Cayupán, Y.; Targa, G. and Ochoa, M.J. 2009. Bioactive substance content and antioxidant activity changes during refrigerated storage of yellow without spines cactus pears. *Acta Horticulturae*. 811:131-136.
- Nazareno, Mónica Azucena y Padrón-Pereira, Carlos Alberto. 2011. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2(1):202-238.

- Nefzaoui, Ali. 2010. Use of cactus as feed: review of the international experience. (pp. 93-100). In Nefzaoui, A. Inglese, P. and Belay, T. (Eds.). Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa. Proceedings of International Workshop, Mekelle (Ethiopia), 19-21 October, 2009. Cactusnet Newsletter. Issue 12.
- Nerd, A.; Karadi, A. and Mizrahi, Y. 1991. Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). Plant and Soil. 137(2):201-207.
- Niño, Jaime; Correa, Yaned Milena; Cardona, Germán David and Mosquera, Oscar Marino. 2011. Antioxidant and antitopoisomerase activities in plant extracts of some Colombian flora from La Marcada Natural Regional Park. Revista de Biología Tropical. 59(3):1089-1097.
- Nurliyana, R.; Syed-Zahir, I.; Mustapha-Suleiman, K., Aisyah, M.R. and Kamarul-Rahim, K. 2010. Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: a comparative study. International Food Research Journal. 17(2):367-375.
- Nurmahani, M.M.; Osman, A., Abdul-Hamid, A.; Mohamad-Ghazali, F. and Pak-Dek, M.S. 2012. Antibacterial property of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* peel extracts. International Food Research Journal. 19(1):77-84.
- Nyffeler, Reto. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence from trnK/matK and trnL-trnF sequences. American Journal of Botany 89(2):312-326.
- Ochoa, M.J.; Corvalán, D.B. y Nazareno, M.A. 2010. Cactáceas de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero. 128 p. ISBN: 978-987-1676-02-6.
- Ochoa, M.J.; Leguizamón, G. and Ortín, S.P. 2009. Quality parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. from two Argentinean provinces. Acta Horticulturae. 811:97-100.
- Ochoa, María Judith. 2003. Cactus pear (*Opuntia* spp.) varieties main characteristics at Republica Argentina. Cactusnet Newsletter. Issue 8.
- Ojeda-Zacarías, M.C.; Vázquez-Alvarado, R.E. y Rodríguez-Fuentes, H. 2010. Establecimiento *in vitro* de nopal (*Opuntia ficus indica*). En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. Revista Salud Pública y Nutrición, Edición especial N° 5:176-181.
- Ortega-Baes, P.; Galíndez, G.; Sühring, S.; Rojas-Aréchiga, M.; Daws, M.I. and Pritchard, H.W. 2011. Seed germination of *Echinopsis schickendantzii* (Cactaceae): the effects of constant and alternating temperatures. Seed Science and Technology. 39(1):219-224.
- Osorio-Córdoba, J; Pelayo-Zaldívar, C.; Verde-Calvo, J.R.; Ponce-Valadez, M.; Díaz de León-Sánchez, F.; Bosquez-Molina, E. y Rodríguez-Huezo, Ma. E. 2011. Conservación de nopal verdura 'Milpa Alta' (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmósfera modificada. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 10(1):93-104.
- Osuna-Enciso, Tomás; Ibarra-Zazueta, Ma. Emilia; Muy-Rangel, Ma. Dolores; Valdez-Torres, J. Benigno; Villarreal-Romero, Manuel y Hernández-Verdugo, Sergio. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Revista Fitotecnia Mexicana. 34(1):63-72.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto; Moreno-Álvarez, Mario José y Medina-Martínez, Carlos Alberto. 2008. Composición química, análisis estructural y factores

- antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. var. *hookeri* (Link & Otto) Kimn. (CACTACEAE). *Interciencia*. 33(6):443-448.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto; Moreno-Álvarez, Mario José; Montes-Hernández, Adriana Isabel y Oropeza-González, Rafael Antonio. 2009. Obtention of enzymatically hydrolyzed flour from epiphytes cactus phyllocladia (*Epiphyllum hookeri* (Link and Otto) Kimn.). *African Journal of Food Science*. 3(9):262-269.
- Palmateer, Aaron J. and Ploetz, Randy C. 2006. Anthracnose of pitahaya: a new disease on a new crop in south florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 119:50-51.
- Pinos-Rodríguez, J.M.; Velázquez, J.C.; González, S.S.; Aguirre, J.R.; García, J.C.; Álvarez, G. and Jasso, Y. 2010. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. *South African Journal of Animal Science*. 40(3):245-250.
- Pohlan, H.A.J.; Gamboa-Moya, W.G.; Salazar-Centeno, D.J.; Marroquín-Agreda, F.; Janssens, M.J.J.; Leyva-Galán, Á.; Guzmán, E.; Toledo-Toledo, E. *et al.* 2007. Fruticultura orgánica en el trópico: situación y ejemplos de Mesoamérica. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 108(2):123-148.
- Potgieter J.P. and Mashope B.K. 2009. Cactus pear (*Opuntia* spp.) germplasm conservation in South Africa. *Acta Horticulturae*. 811:47-54.
- Quiala, Elisa; Matos, Jesús; Montalvo, Grecia; de Feria, Manuel; Chávez, Maité; Capote, Alina; Pérez, Naivy; Barbón, Raúl and Kowalski, Britta. 2009. *In vitro* propagation of *Pilosocereus robinii* (Lemaire) Byles *et* Rowley, endemic and endangered cactus. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 11:18-25.
- Ramírez-Delgadillo, J.J.; Rodríguez-Leyva, E.; Livera-Muñoz, M.; Pedroza-Sandoval, A.; Bautista-Martínez, N. and Nava-Díaz, C. 2011. First report of *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) on three species of *Hylocereus* (Cactaceae) in Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana*. (nueva serie). 27(3):863-866.
- Ramírez-Tobías, Hugo Magdaleno; Aguirre-Rivera, Juan Rogelio; Pinos-Rodríguez, Juan Manuel and Reyes-Agüero, Juan Antonio. 2010. Nopalito and forage productivity of *Opuntia* spp. and *Nopalea* sp. (Cactaceae) growing under greenhouse hydroponics system. *International Journal of Food, Agriculture & Environment*. 8(3-4):660-665.
- Rebecca, O.P.S.; Boyce, A.N and Chandran, S. 2010. Pigment identification and antioxidant properties of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *African Journal of Biotechnology*. 9(10):1450-1454.
- Revelés-Hernández, Manuel; Flores-Ortiz, Miguel Ángel; Blanco-Macías, Fidel y Valdez-Cepeda, Ricardo David. El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial N° 5:130-144.
- Reyes-Agüero, J. Antonio; Aguirre-Rivera, J. Rogelio y Hernández, Héctor M. 2005a. Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*. 39(4):395-408.
- Reyes-Agüero, Juan Antonio; Aguirre-Rivera, Juan Rogelio y Flores-Flores, José Luis. 2005b. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su

- domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia*. 30(8):476-484.
- Ribeiro, Erika Maria de Oliveira; da Silva, Nicácio Henrique; de Lima-Filho; José Luiz; de Brito, Júlio Zoe and da Silva, Maria da Paz Carvalho. 2010. Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brazil)*. 30(4): 933-939.
- Rodríguez-Félix, A.; Fortiz-Hernández, J. y Robles-Burgueño. M.R. 2010. Efecto del estado de desarrollo y época de cosecha en el contenido de flavonoides de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.). En Memorias del VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. 17-19 Marzo. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Rodríguez-Félix, Armida; Villegas-Ochoa, Mónica A. y Fortiz-Hernández, Judith. 2007. Efecto de cubiertas comestibles en la calidad de nopal verdura (*Opuntia* sp.) durante el almacenamiento refrigerado. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 9:22-42.
- Rodríguez-Rodríguez, Diana Alexandra; Patiño-Gutiérrez, María del Pilar; Miranda-Lasprilla, Diego; Fischer, Gerhard y Galvis-Vanega, Jesús Antonio. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 58(2):2837-2857.
- Romo-Campos, Lourdes; Flores-Flores, José L.; Flores, Joel and Álvarez-Fuentes, Gregorio. 2010. Seed germination of *Opuntia* species from an aridity gradient in Central Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 12:181-198.
- Rondón-R., José Armando. 1998. Cactáceas epífitas y trepadoras de la reserva forestal de Caparo, Estado Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 42(2):119-129.
- Rubalcava-Ruiz, D.; Rojas-Bravo, D. y Valencia-Botín, A.J. 2010. Propagación *in vitro* de *Coryphantha retusa* (Britton & Rose) un cactus endémico y amenazado. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12:139-143.
- Ruiz, Adriana; Santos, Mery y Cavelier, Jaime. 2000. Estudio fenológico de cactáceas en el Enclave Seco de la Tatacoa, Colombia. *Biotrópica*. 32(3):397-407.
- Sáenz, Carmen; Berger, Horst; Corrales-García, Joel; Galletti, Ljubica; García de Cortázar, Víctor; Higuera, Inocencio; Mondragón, Candelario; Rodríguez-Félix, Armida; Sepúlveda, Elena y Varnero, María Teresa. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. N° 162.
- Salazar-Sosa, Enrique; Trejo-Escareño, Héctor Idilio; González-Villa, Diana Cristina; Fortis-Hernández, Manuel; Orona-Castillo, Ignacio y Vázquez-Vázquez, Cirilo. 2011. Producción orgánica de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) variedad lisa forrajera. En IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional sobre "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial N° 5:95-109.
- Sánchez-Soto, Bardo; Reyes-Olivas, Álvaro; García-Moya, Edmundo y Terrazas, Teresa. 2010. Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia*. 35(4):299-305.
- Santini, Bianca. 2011. La serotinia en cactáceas: retención y retraso en la dispersión de sus semillas. *Boletín de la*

- Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. 8(1):7-8.
- Santos-Díaz, María S.; Velásquez- García, Yesenia y González-Chávez, Marcos M. 2005. Producción de pigmentos por callos de *Mammillaria candida* Scheidweiler (Cactaceae). *Agrociencia*. 39(6):619-626.
- Secorun, Alan C. and de Souza, Luiz Antonio. 2011. Morphology and anatomy of *Rhipsalis cereuscula*, *Rhipsalis floccosa* subsp. *hohe-nauensis* and *Lepismium cruciforme* (Cactaceae) seedlings. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(1):131-143.
- Silva, Herman; Acevedo, Edmundo y Silva, Paola. 2001. Anatomía del tejido fotosintético de diez *taxa* de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 74(2):341-351.
- Strasburguer, E.; Noll, F.; Schenck, H. y Schimper, A.F.W. 1994. Tratado de botánica. (8va. ed.). Barcelona, España: Ediciones Omega, S. A. 1068 p.
- Takahashi, L.M.; Rosa, D.D.; Basseto, M.A.; de Souza, H.G.; and Furtado, E.L. 2008. First report of *Colletotrichum gloeosporioides* on *Hylocereus megalanthus* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes*. 3(1):96-97.
- Tegegne, F. 2002. Fodder potencial of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Horticulturae*. 581:343-346.
- Tel-Zur, Noemi. 2010. Pitahayas: introduction, agrotechniques and breeding. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Terán, Yanina; D'Aubeterre, Ramón y P. de Camacaro, María. 2008. Caracterización física y química del fruto de Cardón de Dato de los Municipios Torres y Jiménez, Estado Lara, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 58(1):17-20.
- Torres-Boeger, Maria Regina; Soffiatti, Patrícia; Gomes-Souto, Marco Antônio; Budchen, Márcia; Bagatini, Katiane Paula and Dal Forno, Manuela. 2010. Functional morphology of two *Lepismium* species (Rhipsalideae, Cactaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81(2):393-400.
- Torres-Sales, Aldo. 2010. Sistemas de producción de nopal forrajero en Brasil. En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial N° 5:57-69.
- Turkon, Paula. 2004. Food and status in the prehispanic Malpaso Valley, Zacatecas, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology*. 23(2):225-251.
- UPOV. 2006. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Chumbero, nopal tunero, tuna y xoconostles. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. TG/217/2. Ginebra, Suiza.
- Vázquez-Alvarado, R.E.; Salazar-Sosa, E.; García-Hernández, J.L. y Olivares-Sáenz, E.; Vázquez-Vázquez, C.; López-Martínez, J.D. y Orona-Castillo, I. 2009. Producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en hidroponía empleando agua con alto contenido de sales. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 11:13-17.
- Vázquez-Alvarado, Rigoberto E.; Blanco-Macías, Fidel; Ojeda-Zacarías, Ma. del Carmen; Martínez-López, José Romualdo; Valdez-Cepeda, Ricardo David; Santos-Haliscak, Argelio y Háuad-Marroquín, Leticia A. 2011. Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. En IX Simposium-Taller

- Nacional y II Internacional sobre "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial N° 5:185-203.
- Vázquez-Alvarado, Rigoberto E.; Valdez-Cepeda, Ricardo David; Blanco-Macías, Fidel; Ojeda-Zacarías, María del Carmen y Martínez-López, José Romualdo. 2010. Producción hidropónica de nopal verdura. En VIII Simposium-Taller Nacional y 1er. Internacional de "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 13-14 Noviembre, 2009. Escobedo, Nuevo León, México. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial N° 5:15-36.
- Villalobos, Soraya; Vargas, Orlando y Melo, Sandra. 2007. Uso, manejo y conservación de "yosú", *Stenocereus griseus* (Cactaceae), en la alta Guajira colombiana. Acta Biológica Colombiana. 12(1):99-112.
- Wall, Marisa M. and Khan, Shakil A. 2008. Postharvest quality of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.) after X-ray irradiation quarantine treatment. HortScience. 43(7):2115-2119.
- Wybraniec, Sławomir and Nowak-Wydra, Barbara. 2007. Mammillarinin: a new malonylated betacyanin from fruits of *Mammillaria*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55(20):8138-8143.
- Zainoldin, K.H., Baba, A.S. 2012. The effect of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* on physicochemical, proteolysis, and antioxidant activity in yogurt. International Journal of Biological and Life Sciences. 8(2):93-98.
- Zampini, Iris C.; Ordóñez, Roxana; Giannini, Norberto P.; Blendinger, Pedro G. and Isla, María Inés. 2011. Nutraceutical properties and toxicity studies of fruits from four Cactaceae species grown in Argentine Northwestern. Food Research International. 44(7):2345-2351.
- Zañudo-Hernández, Julia; González del Castillo Aranda, Eugenia; Ramírez-Hernández, Blanca C.; Pimienta-Barrios, Enrique; Castillo-Cruz, Isaac y Pimienta-Barrios, Eulogio. 2010. Ecophysiological responses of *Opuntia* to water stress under various semi-arid environments. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 12:20-36.
- Zegbe, Jorge A. and Mena-Covarrubias, Jaime. 2010. Postharvest changes in weight loss and quality of cactus pear fruit undergoing reproductive bud thinning. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 12:1-11.
- Zúñiga-Tarango, Rafael; Orona-Castillo, Ignacio; Vázquez-Vázquez, Cirilo; Murillo-Amador, Bernardo; Salazar-Sosa, Enrique; López-Martínez, José Dimas; García-Hernández, José Luis y Rueda-Puente, Edgar. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en diferentes tratamientos de fertilización. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 11:53-68.