



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y RODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ESTOMÁTICA Y CRECIMIENTO DE
TALLOS DE *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis*
e *Hylocereus undatus***

AÍDA JUÁREZ CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

La presente tesis titulada: Caracterización química y estomática y crecimiento de tallos de *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus*, realizada por la alumna: Aída Juárez Cruz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GÉNETICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Manuel Livera Muñoz

ASESOR:



Dr. Eliseo Sosa Montes

ASESOR:



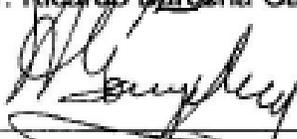
Dra. Ma. Antonieta Goytia Jiménez

ASESOR:



Dr. Ricardo Barceña Gama

ASESOR:



Dr. Víctor A. González Hernández

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril del 2011.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y ESTOMÁTICA Y CRECIMIENTO DE TALLOS DE *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus*

Aída Juárez Cruz, M.C.
Colegio de Postgraduados 2011

Entre las especies con potencial productivo, sobresalen la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus undatus*.) porque tienen uso como cerco vivo, ornamento, medicina y alimento en diferentes regiones de México. Sin embargo, existe poca información sobre el valor nutritivo y características anatómicas de éstos materiales, principalmente del género *Acanthocereus*; por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo generar información que permita sustentar el uso de tallos jóvenes de estas especies como parte de la dieta humana, y también conocer aspectos anatómicos que pueden ser útiles en su manejo agronómico. La investigación se realizó en un huerto ubicado en Tepoztlán, Morelos, México. Los estudios realizados fueron: análisis proximal y mineral de tallos tiernos; y caracterización de los estomas (tipo, densidad estomáticas (DE), densidad de células epidérmicas (DCE), índice estomático (IE), longitud de células oclusivas (LCO). A nivel nutrimental, en 100 g de materia seca los tallos presentaron mayor contenido ($P \leq 0.05$) de proteína cruda (11.08 a 24.49 g) y fibra cruda (7.86 a 14.79 g); y menor contenido de cenizas (10.80 a 14.90 g) y extracto etéreo (0.64 a 1.46 g) comparada con los valores publicados para cladodios jóvenes o nopales de *Opuntia* spp. En cuanto a minerales, presentaron alto ($P \leq 0.05$) contenido de P (0.19 a 0.37 %), K (2.19 a 4.52 %), Mg (0.55 a 0.66 %), Na (0.07 a 0.89 %) y Zn (8.56 a 32.15 mg kg⁻¹), sobresaliendo el género *Acanthocereus* en Ca (1.51 a 2.16 %) y los genotipos de *H. undatus* CP-171 y CP-182 en K (4.82 mg kg⁻¹) y Zn (34.02 mg kg⁻¹), respectivamente. A nivel anatómico, las tres especies presentaron estomas paralelocíticos. *Acanthocereus* presentó mayor DE (45 a 54 estomas mm⁻²), DCE (343 a 465 células mm⁻²) e IE (10.5 a 11.7 %), y menor LCO (40.19 a 43.40 µm), en comparación con *Hylocereus* cuya DE fue de 11 estomas mm⁻², DCE de 129 a 179 células mm⁻², IE de 5.6 a 7.7 % y LCO de 72.99 a 74.15 µm.

PALABRAS CLAVES: Jacube, cruceta, nopal de cruz, pitahaya, análisis proximal, estomas.

CHEMICAL AND STOMATAL CHARACTERIZATION AND GROWTH OF STEMS OF *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* AND *Hylocereus undatus*

Aída Juárez Cruz, M.C.
Colegio de Postgraduados 2011

Concerning the species with productive potential, the cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), the nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) and the pitahaya (*Hylocereus undatus*.) stand out because they are used as live fence, ornament, medicine and food in different regions of Mexico. Nevertheless, little information exists about their nutritious value and anatomical characteristics, mainly for *Acanthocereus*; for this reason the objective of the present investigation was to generate information to support the use of young stems of these species as part of the human diet, and also to know anatomical and physiological traits that can be useful in their agronomic management. The research was carried out in an orchard located in Tepoztlan, state of Morelos, Mexico. The studies were: mineral and proximal analysis of young stems or stems; and characterization of the stomata (type, stomata density (DE), density of epidermal cells (DCE), stomata index (IE), length of guard cells (LCO). At the nutrimental level, in 100 g dry matter the stems presented higher ($P \leq 0.05$) contents of raw protein (11.08 to 24.49 g) and raw fiber (7.86 to 14.79 g); but lower contents ($P \leq 0.05$) of ashes (10.80 to 14.90 g) and ethereal extract (0.64 to 1.46 g), as compared to published values for edible young stems or nopalitas of *Opuntia* spp. As for minerals, the stems presented higher ($P \leq 0.05$) content of P (0.19 to 0.37 %), K (2.19 to 4.52 %), Mg (0.55 to 0.66 %), Na (0.07 to 0.89 %) and Zn (8.56 to 32.15 mg kg⁻¹); *Acanthocereus* stands out for his high ($P \leq 0.05$) Ca content (1.51 to 2.16 %) whereas the genotypes CP-171 and CP-182 of *H. undatus* stood out for his high content of K (4.82 mg kg⁻¹) and Zn (34.02 mg kg⁻¹), respectively. At anatomical level, all members studied possess parallelocytic stomata. *Acanthocereus* presented the highest DE (45 to 54 stomata mm⁻²), DCE (343 to 465 cells mm⁻²) and IE (10.5 to 11.7 %), and low LCO (40.19 to 43.40 µm), as compared with *Hylocereus* whose DE was of 11 stomata mm⁻², DCE from 129 to 179 cells mm⁻², LCO from 5.6 to 7.7 % and TE from 72.99 to 74.15 µm.

KEY WORDS: Jacube, cruceta, nopal de cruz, pitahaya, proximal analysis, stomata.

“La peor derrota de una persona es cuando pierde su entusiasmo”

H. W. Arnold

Dedicatoria

A Dios, por permitirme expresar y deleitar mis sentidos...

A mi esposo, Gabriel García...

A mis padres, Elías Juárez González y Eduvina Cruz Ortiz...

A mis hermanas, Ana Brenda y Eduvina...

Esta tesis la dedico con amor, respeto, orgullo y admiración a mi familia...

Gracias por ser mi fuente de amor, inspiración, fortaleza y por demostrarme que únicamente los que luchan por el éxito merecen el privilegio de obtenerlo.

Con Amor Aída Juárez Cruz.

Dios los Bendiga



Agradecimientos

A mi querido país, en especial al sector rural, ya que a través de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, financió mis estudios de Postgrado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, COMECYT, por apoyarme económicamente para finalizar esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de realizar una maestría.

Al Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Zootecnia al darme nuevamente la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos.

A los profesores: Dr. Manuel Livera Muñoz, Dr. Eliseo Sosa Montes, Dra. María Antonieta Goytia Jiménez, Dr. Víctor A. González Hernández y Dr. Ricardo Bárcena Gama, quienes dirigieron y apoyaron esta investigación, gracias por compartir sus conocimientos.

A los profesores: Dra. María Magdalena Crossby Galván, M.C Jorge V. Carrasco Valdez, M. C. Alfredo Hernández Livera, M.C. Esther Sosa Montes, y a todos aquellos profesores que a lo largo de mi trayectoria por esta casa de estudios confiaron en mí y me brindaron sus consejos.

A Greta, Raúl, Alberto, Anita, Javier, Doña Josefina, Don Tomás, Doña Tomy, Don Erasmo, Doña Rafaela, Doña Laura, Don Emilio, Don Tacho, Don Jorge y a todos aquellos compañeros, laboratoristas, trabajadores de campo y oficina que me brindaron su apoyo y consejos.

A todos aquellos que me brindaron momentos de su tiempo para hacer posible este trabajo.

A Doña Anita y a su familia por brindarme su confianza y un espacio en el que fui muy feliz.

A quienes me demostraron que la amistad si existe.



CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL SUMMARY.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVO GENERAL	3
CAPÍTULO I. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TALLOS TIERNOS DE CRUCETA, NOPAL DE CRUZ (<i>Acanthocereus</i> spp.) Y PITAHAYA (<i>Hylocereus</i> sp.).....	4
1.1. RESUMEN	4
1.2. INTRODUCCIÓN	5
1.3. MATERIALES Y MÉTODOS	7
1.3.1. Sitio de colecta	7
1.3.2. Germoplasma	7
1.3.3.3. Análisis proximal y de minerales	7
1.3.4. Análisis estadístico	8
1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
1.4.1. Análisis proximal.....	9
1.4.2. Composición mineral	10
1.5. CONCLUSIONES	14
1.6. LITERATURA CITADA.....	15
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN ESTOMÁTICA DE <i>Acanthocereus</i> spp. e <i>Hylocereus</i> sp.	17
2.1. RESUMEN	17

2.2. INTRODUCCIÓN	18
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.3.1. Germoplasma.....	19
2.3.2. Caracterización estomática	19
2.3.3. Análisis estadístico.....	20
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
2.4.1. Caracterización estomática	21
2.5. CONCLUSIONES	27
2.6. LITERATURA CITADA.....	28
2.7. DISCUSIÓN GENERAL	30
3.2. CONCLUSIONES GENERALES.....	32
3.3. LITERATURA CITADA GENERAL.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO I. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FILOCLADODIOS TIERNOS DE CRUCETA, NOPAL DE CRUZ (*Acanthocereus* spp.) Y PITAHAYA (*Hylocereus* sp.)

Cuadro 1. Análisis proximal de filocladodios tiernos de <i>Acanthocereus</i> spp. e <i>Hylocereus</i> sp. expresados en base seca (g/100 g MS).....	9
Cuadro 2. Composición mineral de filocladodios tiernos de <i>Acanthocereus</i> spp. e <i>Hylocereus</i> sp. (base seca).....	11
Cuadro 3. Aporte nutrimental (%) a la ingesta diaria recomendada* al consumir 100 g de filocladodios frescos de <i>Acanthocereus</i> sp e <i>Hylocereus</i> spp.	13

CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN ESTOMÁTICA DE *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp.

Cuadro 1. Densidad estomática (estomas·mm ⁻²) en filocladodios maduros en <i>A. tetragonus</i> , <i>A. subinermis</i> y dos genotipos de <i>H. undatus</i>	22
Cuadro 2. Densidad estomática por mm ² (DE), densidad de células epidérmicas (DCE), índice estomático (IE) y longitud de células oclusivas (TE) de filocladodios maduros de <i>A. tetragonus</i> , <i>A. subinermis</i> y dos genotipos de <i>H. undatus</i>	24

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN ESTOMÁTICA DE *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp.

Figura 1. Estomas de Hu= <i>H. undatus</i> CP-171 y At= <i>A. tetragonus</i> , donde: a) estoma, b) ostíolo, c) células oclusivas, d) células subsidiarias y e) células epidérmicas.....	20
Figura 2. Estomas paralelocíticos de At = <i>A. tetragonus</i> , As = <i>A. subinermis</i> , Hu CP-171 = <i>H. undatus</i> CP-171 y Hu CP-182 = <i>H. undatus</i> CP-182 obtenidos en Tepoztlán, Morelos, México. Objetivo 40 X.....	21

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad se requieren nuevos cultivos resistentes a la sequía y con cualidades nutricionales que beneficien al ser humano. Una alternativa son las cactáceas que crecen en regiones subtropicales y tropicales húmedas, como la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), nopal de cruz (*A. subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus undatus*), cuyas plantas y partes que la conforman se destinan a diferentes usos: cerco vivo, ornamental, medicinal y alimenticio.

El nombre del género *Acanthocereus* deriva del griego *akantha* = espinoso. Son plantas terrestres arbustivas, con tallos erectos o decumbentes, ramas multiarticuladas, anguladas. Artículos con tres a cinco costillas, a veces siete; y cuando jóvenes tienen muchas costillas y diferentes armaduras de espinas, en su mayoría setosas cortas y numerosas. Areolas con lana corta, fieltro y espinas (Arreola, 2004; Arias *et al.*, 1997). El género *Hylocereus* incluye plantas perennes cuyos tallos o tallos emiten raíces adventicias como medio de soporte. Los tallos poseen tres aristas o costillas y son suculentos; su coloración va de verde a verde azulado. Las areolas pueden tener una o varias espinas cortas cuando son jóvenes, con pelos setosos. Tienen varios hábitos de crecimiento y pueden ser: trepadoras, rupícolas, hemiepífitas y epífitas (Bravo, 1978; Arias *et al.*, 1997).

Estos géneros se distribuyen en selvas bajas caducifolias hasta selvas altas perennifolias, en ambientes generalmente con escasa precipitación (Bravo, 1978), lo que representa una oportunidad para diversificar y beneficiar la agricultura mexicana. En Veracruz, Oaxaca y la región de la Huasteca, *A. tetragonus* y *A. subinermis* son cultivados en huertos familiares, utilizándolos como cerco vivo y su importancia radica en el uso de los tallos como verdura para la elaboración de numerosos guisos; y aunque *H. undatus* se cultiva ampliamente por la importancia económica de sus frutos exóticos conocidos con el nombre de “pitahayas” o “pitajayas” (Bravo, 1991), también sus tallos se utilizan para consumo humano en algunas comunidades rurales

(Rodríguez *et al.*, 1993; Castillo *et al.*, 1996). Los principales estados productores de pitahayas son Yucatán, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Puebla (Rodríguez, 2000). Los tallos de estas especies no sólo presentan cualidades nutrimentales semejantes a la de los cladodios tiernos de nopal, también son atractivos al comensal pues al cortarlos transversalmente, las secciones se asemejan a triángulos ó estrellas de tres costillas en *Hylocereus*, y de tres a cinco en *Acanthocereus*.

Con esta investigación se dan a conocer aspectos químicos que permitirán apoyar el uso de los tallos de la cruceta, nopal de cruz y pitahaya como verdura; y aspectos anatómicos que son parte de la información necesaria para conocer su manejo agronómico; sobre todo para el género *Acanthocereus* el cual ha sido poco estudiado.

Los resultados de esta investigación se presentan en los siguientes dos capítulos:

- 1) Composición química de tallos tiernos de cruceta, nopal de cruz (*Acanthocereus* spp.) y pitahaya (*Hylocereus* sp.).
- 2) Caracterización estomática de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp.

OBJETIVO GENERAL

Objetivo general

- Estudiar aspectos químicos y anatómicos de tallos de *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus* para contribuir al conocimiento y utilización de estas especies.

Objetivos particulares

- Caracterizar mediante análisis proximal y de minerales tallos tiernos de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* cultivados en campo.
- Caracterizar los estomas de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* cultivados en campo.

CAPÍTULO I. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TALLOS TIERNOS DE CRUCETA, NOPAL DE CRUZ (*Acanthocereus* spp.) Y PITAHAYA (*Hylocereus* sp.)

1.1. RESUMEN

Los tallos tiernos de la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), del nopal de cruz (*A. subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus undatus*) son utilizados en la gastronomía mexicana, pero existe poca información sobre su contenido nutrimental; por ello el objetivo de este trabajo fue conocer la composición química de dichos tallos, mediante un análisis proximal y de minerales. El material vegetal fue colectado de una plantación ubicada en Tepoztlán, estado de Morelos, México. Los resultados obtenidos se expresaron en base seca (g/100 g de materia seca). El análisis proximal mostró que los tallos presentaron mayores ($P \leq 0.05$) contenidos de proteína cruda (11.08 a 24.49 g) y fibra cruda (7.86 a 14.79 g); pero menores ($P \leq 0.05$) en cenizas (10.80 a 14.90 g) y extracto etéreo (0.64 a 1.46 g), en comparación con valores publicados de tallos tiernos de especies comestibles de *Opuntia* spp. En cuanto a minerales, los tallos presentaron alto ($P \leq 0.05$) contenido de P (0.19 a 0.37 %), K (2.19 a 4.52 %), Mg (0.55 a 0.66 %), Na (0.07 a 0.89 %) y Zn (8.56 a 32.15 mg kg⁻¹); *Acanthocereus* sobresalió por su alto ($P \leq 0.05$) contenido de Ca (1.51 a 2.16 %), mientras que los genotipos CP-171 y CP-182 de *H. undatus* sobresalieron por su contenido de K (4.82 mg kg⁻¹) y Zn (34.02 mg kg⁻¹), respectivamente. Con relación a la ingesta diaria recomendada (IDR) por la FAO (2002), *A. tetragonus* y *A. subinermis* destacaron por sus altos contenidos de Ca, P, Mg y Mn. Estos resultados aportan información para sustentar el aprovechamiento en la alimentación humana de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus*.

Palabras claves: *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis*, *Hylocereus undatus*, análisis proximal y de minerales.

1.2. INTRODUCCIÓN

Algunas cactáceas son parte de la dieta humana desde hace 9000 años y una de sus ventajas es su adaptación a regiones de baja precipitación por su tolerancia a la sequía (Nobel, 1998). También han jugado un papel ecológico importante para frenar la degradación de suelos deforestados (FAO, 2006). De los cactus cultivados en regiones áridas y semiáridas, uno de los más estudiados es el nopal (*Opuntia* spp.), con importancia en la alimentación humana y animal por consumirse sus frutos y sus cladodios tiernos conocidos como “nopalitos”. El sabor característico y la versatilidad para prepararlos son algunas de las razones por la que se utilizan en los platillos de la gastronomía mexicana e internacional. En lo que respecta a su contenido nutrimental, el nopal contiene elevadas cantidades de fibra, calcio, magnesio, hierro y sodio (Bravo, 1978; FAO, 2006), compuestos necesarios para la salud humana.

Sin embargo, en la actualidad se requiere de nuevos cultivos resistentes a la sequía y con cualidades nutrimentales que beneficien al ser humano. Una alternativa son la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), nopal de cruz (*A. subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus* sp.), cuyas plantas y partes que la conforman se destinan a diferentes usos: cerco vivo, ornamental, medicinal y alimenticio. La importancia de *A. tetragonus* y *A. subinermis* radica en el uso de los tallos como verdura para la elaboración de numerosos guisos; y aunque la pitahaya destaca por la importancia económica de sus frutos, también sus tallos se utilizan para consumo humano en algunas comunidades rurales. Los tallos de estas no sólo presentan cualidades alimenticias semejantes a la de los cladodios tiernos de nopal, también son atractivos al comensal pues al cortarlos transversalmente, las secciones se asemejan a triángulos ó estrellas de tres costillas en *Hylocereus*, y de tres a cinco en *Acanthocereus*.

Según Córdoba *et al.* (2000) *A. tetragonus* contiene 5.00 g de proteína cruda (PC) y 16.30 g de fibra cruda (FC) por cada 100 g de materia seca (MS); y $4.68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de calcio en base seca. Por su parte, Portillo y Viguera (2002) determinaron que los tallos de *A. occidentalis* contienen 56 g de extracto libre de nitrógeno (ELN) por cada 100 g

de MS. En los de *H. undatus*, Rodríguez (1997) reportó 14.84 g de PC, 21.50 g de FC y 39.94 g de ELN por cada 100 g de materia seca. Para *A. subinermis* no hay información al respecto, por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar químicamente tallos tiernos de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* mediante análisis proximal y de minerales. La información generada servirá para establecer las bases y fomentar el uso alimenticio de los tallos de estas tres especies, los cuales además de utilizarse en la elaboración de diversos guisos, tienen el potencial para ser industrializados.

1.3. MATERIALES Y MÉTODOS

1.3.1. Sitio de colecta

Una plantación experimental ubicada en Tepoztlán, Morelos (18° 55' LN, 99° 07' LO), a una altitud de 1532 m; su clima es cálido Awo(w), Aw1(w) con temperatura media anual entre 22 y 26 °C, con lluvias en verano e invierno seco (García, 1988); suelo franco-arcilloso con un pH de 7.81, materia orgánica de 2.95 % y una fertilidad de 153 ppm de fósforo, 400 ppm de potasio, 8538 ppm de calcio y 1936 ppm de magnesio.

1.3.2. Germoplasma

A nivel de campo, se obtuvieron tallos tiernos de cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) y pitahaya (*Hylocereus undatus*, genotipos CP-171 y CP-182), estos se colectaron en forma continua de otoño de 2009 a verano de 2010, cuando tenían de 15 a 25 cm de longitud y de 20 a 30 días de edad. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno y se trasladaron al laboratorio a temperatura ambiente.

En el laboratorio los tallos se lavaron y secaron con papel absorbente, después se les retiraron las areolas y en algunos casos como en *A. tetragonus* y *A. subinermis* se les retiró parte de la cutícula. Cada material se cortó en fracciones de aproximadamente 1.0 x 1.0 cm, las cuales se secaron en una estufa de aire forzado a 50 °C hasta peso constante, de acuerdo al método establecido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). El material seco se molió en un molino eléctrico con criba de 1 mm. Cada muestra se guardó en recipientes de plástico a temperatura ambiente y en oscuridad hasta obtener más de 50 g, cantidad suficiente para los análisis. Finalmente, se obtuvo una muestra compuesta de cada material.

1.3.3.3. Análisis proximal y de minerales

El análisis proximal de cada muestra consistió en la determinación de humedad, cenizas, materia seca (MS), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), proteína cruda (PC)

y extracto libre de nitrógeno (ELN), de acuerdo con los métodos establecidos por la AOAC (1990).

El análisis de minerales consistió en la determinación de fósforo (P) por colorimetría según el método del molibdato – vanadato; los minerales potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados de composición química se expresaron en base seca (g/100 g MS).

1.3.4. Análisis estadístico

A los datos obtenidos del análisis proximal se les aplicó un análisis de varianza bajo un diseño experimental completamente al azar y prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) con el programa SAS (Statistics Analysis System) versión 9.0. En el análisis proximal los valores son promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar, pero en el análisis de minerales no hubo repeticiones.

1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1. Análisis proximal

Se encontró que en base seca (g/100 g) a excepción de los contenidos de humedad (87.95 - 91.30 g) y EE (0.64-1.46 g); cenizas (10.80 -14.90 g), PC (11.08-24.49 g), FC (7.86-15.80 g) y ELN (46.35-67.72 g) los valores fueron superiores a los reportados por Córdoba *et al.* (2000) para *A. tetragonus* (93.87 g de humedad, 4.19 g de cenizas, 5.00 g de PC, 16.30 g de FC, 5.21 g de EE y 69.30 g de ELN); y que los reportados por Portillo y Viguera (2002) para nopal de cruz o bajinco (*Acanthocereus occidentalis*) con 56 g de ELN.

Cuadro 1. Análisis proximal de tallos tiernos de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp. expresados en base seca (g/100 g).

Nutrimiento	<i>A. tetragonus</i>	<i>A. subinermis</i>	<i>H. undatus</i> CP-171	<i>H. undatus</i> CP-182
Humedad total	87.95 ± 2.55a	89.31 ± 3.37 a	91.30 ± 2.40 a	90.53 ± 2.60 a
Cenizas	12.12 ± 0.09 b	14.90 ± 0.06 a	12.36 ± 0.18 b	10.80 ± 0.09 c
Proteína cruda	24.49 ± 1.80 a	21.77 ± 0.26 a	11.08 ± 0.50 b	12.15 ± 1.12 b
Fibra cruda	15.80 ± 0.14 a	13.38 ± 0.90 b	8.11 ± 0.15 c	7.86 ± 0.95 c
Extracto etéreo	1.23 ± 0.04 ab	0.64 ± 0.06 b	0.94 ± 0.15ab	1.46 ± 0.48 a
ELN	46.35 ± 0.43 b	49.31 ± 0.15 b	67.51 ± 0.68 a	67.72 ± 0.45 a

ELN = Extracto libre de nitrógeno. Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar. Medias con letras distintas en una misma fila, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Estos valores son menores a los reportados por Rodríguez (1997) en *H. undatus* (21.22 g de cenizas, 21.50 g de FC, 2.50 g de EE), con excepción de los contenidos de ELN (39.94 g) y el contenido de PC (14.84 g) en *A. tetragonus* y *A. subinermis*. En cambio

los resultados son similares a los encontrados por Córdoba *et al.*, 2000; Morales *et al.*, 2004; Stintzing y Carle, 2005; Guzmán y Chávez, 2007; Rodríguez- García *et al.*, 2007; Ramírez-Tobías *et al.*, 2007 y Hernández-Urbiola *et al.*, 2010 en cladodios tiernos de nopal (*Opuntia* spp.) utilizados en la alimentación humana y animal (humedad de 88.00 - 95.00 g, cenizas de 17.00 - 19.00 g, PC de 4.00 - 21.00 g, FC de 12.00 - 18.00 g, EE de 1.00 - 4.00 g y ELN de 64.00 - 71.00 g) y a los encontrados por Padrón *et al.* (2008) en tallos maduros de *Epiphyllum phyllanthus* (85.63 g de humedad, 7.23 g de cenizas, 7.86 g de PC, 35.54 g de FC y 2.95 g de EE). Los resultados obtenidos de PC, FC, EE, ELN y cenizas también son similares a los de hortalizas como la lechuga, espinaca, pepino, rábano, brócoli, perejil y pimiento (Morales *et al.*, 2004), especies que requieren más agua que las cactáceas para su producción.

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el contenido de humedad entre las diferentes especies, pero sí para el resto de los componentes. Las especies *A. tetragonus* y *A. subinermis* presentaron mayor ($P \leq 0.05$) contenido de PC y FC; y menor ($P \leq 0.05$) contenido de ELN. *A. tetragonus*, *A. subinermis*, *H. undatus* (CP-171 y CP-182), en comparación con otras especies de la familia Cactaceae, tienen mayor contenido de PC y FC, menor contenido de cenizas y EE. Con respecto a otras hortalizas, los materiales analizados poseen altos contenidos de humedad y FC, y bajos contenidos de EE, ELN y PC (Morales *et al.*, 2004).

Los valores transformados a base húmeda, indican que el consumo de 100 g de material fresco de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) aportan 0.96 g, 1.15 g, 2.95 g y 2.33 g de PC; y 0.90 g, 0.95 g, 3.87 g y 2.91 g de FC, respectivamente.

1.4.2. Composición mineral

El contenido de P, K, Cu y Zn de los tallos estudiados se ubica dentro del nivel promedio reportado por Nobel (1998) para varias cactáceas (1700 mg kg⁻¹, 1.6 %, 7 mg kg⁻¹ y 28 mg kg⁻¹; respectivamente) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición mineral de tallos tiernos de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp. (base seca).

Componente	<i>A. tetragonus</i>	<i>A. subinermis</i>	<i>H. undatus</i> CP-171	<i>H. undatus</i> CP-182
P (%)	0.35	0.40	0.20	0.24
K (%)	2.80	2.42	4.82	2.31
Ca (%)	2.31	1.62	0.43	0.48
Mg (%)	0.65	0.62	0.70	0.58
Na (%)	0.17	0.95	0.10	0.07
Cu (mg kg ⁻¹)	5.86	6.35	8.99	16.00
Fe (mg kg ⁻¹)	28.16	22.80	7.53	28.80
Mn (mg kg ⁻¹)	118.24	50.61	30.48	40.01
Zn (mg kg ⁻¹)	29.18	25.76	9.12	34.02

Estos niveles de P, K, Mg, Na, Mn y Zn son superiores a los reportados por Córdoba *et al.* (2000) para *A. tetragonus* (0.149 %, 1.41 %, 0.425 %, 10.20 %, 107 mg kg⁻¹ y 2.4 mg kg⁻¹, respectivamente). Con respecto al nopal (*Opuntia* sp.), el contenido de P en *A. tetragonus*, *A. subinermis*, *H. undatus* CP-171 y CP-182 es mayor de 0.09 % reportado por Córdoba *et al.* (2000) y al 0.38 % señalado por Rodríguez-García *et al.* (2007). El contenido de K fue superior al 1.38 % publicado por Córdoba *et al.* (2000) y menor al 5.52 % reportado por Rodríguez-García *et al.* (2007). El de Mg fue mayor a 0.09 % (Córdoba *et al.*, 2000) y menor a 0.88 % (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010). El Na fue mayor de 0.03 % (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010) y menor a 0.21 % (Rodríguez-García *et al.*, 2007) y 0.18 % (Córdoba *et al.*, 2000). El Zn fue mayor a 2.2 mg kg⁻¹ (Córdoba *et al.*, 2000) y menor a 60 mg kg⁻¹ (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010). Los valores del Fe fueron menores a 56 mg kg⁻¹ (Córdoba *et al.*, 2000) y 90 mg kg⁻¹ (Hernández-Urbiola *et*

al., 2010). Con excepción de *A. tetragonus*, la cantidad de Mn fue menor a 101 mg kg^{-1} (Córdoba *et al.*, 2000) y 290 mg kg^{-1} (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010). Las especies *A. tetragonus* y *A. subinermis* presentaron mayor contenido de Ca en comparación con 1.35 % (Rodríguez-García *et al.*, 2007) y menor a 5.07 % (Córdoba *et al.*, 2000); además de menor cantidad de Cu comparado con los 8 a 9 mg kg^{-1} mencionadas por Stintzing y Carle (2005). En comparación con los tallos de *E. phyllanthus* cuyo contenido mineral fue de 0.19 % de P, 0.94 % de K, 372 mg kg^{-1} de Fe y 1.13 % de Ca (Padrón *et al.*, 2008), los materiales de *A. tetragonus*, *A. subinermis*, y *H. undatus* (CP-171 y CP-182) presentaron mayor contenido de P y K, menor cantidad de Fe; y sólo *A. tetragonus* y *A. subinermis* tuvieron mayor cantidad de Ca.

En resumen, *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) contienen altos contenidos de P, K, Mg, Na y Cu. Las especies *A. tetragonus* y *A. subinermis* destacan por su elevado contenido en Ca; mientras que los genotipos de *H. undatus* (CP-171 y CP-182) sobresalieron por su contenido de K y Zn, respectivamente. Al respecto se tiene en cuenta que la composición química de los brotes varía en función de las especies y variedades, factores edáficos, ambientales, estación de crecimiento y edad de la planta (Stintzing y Carle, 2005). Si se supone que los materiales aquí estudiados tienen 100 % de biodisponibilidad en estos minerales, y se comparan con las necesidades de ingesta diaria recomendada (IDR) para adultos según FAO (2002) (420 mg de Mg, 2.3 mg de Mn, 500 mg de Ca y 300 mg de P por día); el porcentaje que aporta el consumo de 100 g de material fresco de cada uno de los materiales evaluados fluctúa de 5.8 a 61.9 % de la IDR (Cuadro 3).

Cuadro 3. Aporte nutrimental (%) a la ingesta diaria recomendada* al consumir 100 g de tallos frescos de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp.

Componente	<i>A. tetragonus</i>	<i>A. subinermis</i>	<i>H. undatus</i>	<i>H. undatus</i>
	(%)	(%)	CP-171 (%)	CP-182 (%)
Ca	55.5	34.5	7.5	9.1
P	14.0	14.2	5.8	7.7
Mg	18.7	15.8	14.5	13.2
Mn	61.9	23.5	11.5	16.5

* IDR ponderada para la población en general (FAO, 2002).

Es de destacar que el Mg es un mineral necesario para los huesos y para la mayor parte de los tejidos humanos, y su deficiencia ocasiona irritabilidad neurológica. El Mn también es un constituyente del tejido óseo y además participa como cofactor enzimático del metabolismo de aminoácidos, lípidos y carbohidratos. El Ca y P representan tres cuartos de los minerales del cuerpo y son fundamentales para la formación de los huesos (FAO, 2002). No obstante, falta determinar la biodisponibilidad de estos elementos ya que según McConn y Nakata (2004) el calcio presente en nopalitos (*Opuntia* sp.) no es disponible para la utilización por el cuerpo humano cuando se encuentra en forma de cristales de oxalato de calcio. Por su parte, Rodríguez-García et al. (2007) reportaron que en cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica*) con un peso de 60 a 200 g, el contenido de oxalatos de calcio decrece alrededor de 50 % mientras que la cantidad de Ca biodisponible en estos se incrementa.

1.5. CONCLUSIONES

Los tallos de la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus undatus* CP-171 y CP-182) tienen altos contenidos de humedad, proteína cruda y fibra cruda; pero bajos contenidos de cenizas, extracto etéreo y ELN. En cuanto al aporte mineral los tallos de *A. tetragonus*, *A. subinermis*, e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) son una fuente importante de P, K, Mg, Na y Cu, componentes necesarios para integrar una dieta saludable, de acuerdo a la ingesta diaria recomendada.

Por comparación de la composición química de las tres especies con el contenido nutrimental de los nopales y algunas hortalizas como la lechuga y el pepino, reportados en la literatura, puede considerarse que son útiles en la alimentación humana, aunque se requieren más estudios para evaluar su calidad nutricional según otros factores como los antinutricionales. Otras ventajas de estas especies son que pueden ser producidos en forma rápida, con poca agua y altas temperaturas, condiciones en general desfavorables para la producción de hortalizas.

1.6. LITERATURA CITADA

- AOAC (1990)** Official Methods of Analysis. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., USA. 1298 p.
- Bravo H H (1978)** Las Cactáceas de México. Tomo 1. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743 pp.
- Córdoba L M, M M Hernández-Martínez y E Sánchez-Martínez (2000)** Contribution to the Present Knowledge of *Acanthocereus tetragonus* (Linnaeus) Hummelink from the Sierra Gorda of Querétaro. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 45(2): 34-39.
- García E (1988)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a. ed. Offset Larios. México, 271 pp.
- Guzmán L D, J Chávez (2007)** Estudio Bromatológico del Cladodio del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el Consumo Humano. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 73: 41-45.
- Hernández-Urbiola M I, M Contreras-Padilla, E Pérez-Torrero, G Hernández-Quevedo, J I Rojas-Molina, M E Cortes and M E Rodríguez-García (2010)** Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at Different Maturity Stages. *The Open Nutrition Journal* 4: 11-16.
- FAO (2002)** Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo, por M. C. Latham. Colección FAO: Alimentación y nutrición No.29. Roma. 531 pp.
- FAO (2006)** Utilización Agroindustrial del Nopal, por Carmen Sáenz. Boletín de servicios agrícolas de la FAO: No.162. Roma. 165 pp.
- McConn M, Nakata A (2004)** Oxalate reduces calcium availability in the pads of prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. *J. Agric. Food Chem.* 52, 1371-1374.
- Morales D J, V Babinsky, H Bourges R, M E Camacho P (2004)** Tabla de composición de alimentos mexicanos. INNSZ (Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán). México, D. F. 237 pp.
- Nobel P S (1998)** Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas. México. 211 p.
- Padrón P C A, M J Moreno A y C A Medina M (2008)** Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de tallos de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. var. *hookeri* (Link & Otto) Kimn. (Cactaceae) *Interciencia* 33: 443-448.

- Portillo L y A L Viguera (2002)** Alternativas de transformación de cactáceas y otras plantas suculentas. Revista de vinculación y ciencia. 4(9): 17-22.
- Ramírez-Tobías H M, J A Reyes A, J M Pinos R, J R Aguirre R (2007)** Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. Agrociencia 41: 619-626.
- Rodríguez C A (1997)** Guía técnica para la producción de plantas de pitahaya en viveros. Maxcanú, Yucatán, Secretaría de Desarrollo Social y Universidad Autónoma Chapingo.
- Rodríguez-García M E, C de Lira, E Hernández-Becerra, M A Cornejo-Villegas, A J Palacios-Fonseca, I Rojas-Molina, R Reynoso, L C Quintero, A del Real, T A Zepeda y C Muñoz-Torres (2007)** Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. Plant Foods Hum. Nutr. 62:107–112.
- Stintzing F C and R Carle (2005)** Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Mol. Nutr. Food Res. 49: 175 – 194.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN ESTOMÁTICA DE *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus* sp.

2.1. RESUMEN

Acanthocereus tetragonus, *Acanthocereus subinermis* e *Hylocereus undatus* son cactáceas con importancia alimenticia, de las cuales, con excepción de *H. undatus* existe poca información de aspectos básicos de su anatomía, entre ellos el tipo, distribución y tamaño de los estomas. Por ello, en este trabajo se tuvo como objetivo caracterizar los estomas de estas tres especies con base en tipo de estomas, densidad estomática, densidad de células epidérmicas, índice estomático y longitud de células oclusivas. Los datos se tomaron de impresiones estomáticas obtenidas de la parte apical, media y basal de tallos mayores a seis meses de edad y con más de 30 cm de longitud, procedentes de plantas cultivadas en Tepoztlán, Morelos, México. Los estomas se clasificaron como paralelocíticos. Las células epidérmicas de *H. undatus* CP-171 y CP-182 poseen paredes ligeramente más onduladas que las de *A. tetragonus* y *A. subinermis*. No hubo diferencias entre posición o segmento en la densidad estomática. El género *Acanthocereus* presentó mayor densidad estomática (45 a 54 estomas mm^{-2}), densidad de células epidérmicas (343 a 465 células mm^{-2}) e índice estomático (10.5 a 11.7%), pero menor longitud de células oclusivas (40.19 a 43.40 μm), en comparación con el género *Hylocereus* cuya densidad estomática fue de 11 estomas mm^{-2} , densidad de células oclusivas de 129 a 179 células mm^{-2} , índice estomático de 5.6 a 7.7 % y longitud de células oclusivas de 72.99 a 74.15 μm .

Palabras clave: *Acanthocereus tetragonus*, *Acanthocereus subinermis*, *Hylocereus undatus*, índice estomático, longitud de células oclusivas.

2.2. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de plantas como las cactáceas están influenciados por características morfológicas, anatómicas y fisiológicas propias de cada especie. Un recurso que restringe el crecimiento vegetal es la escasez de agua, que se pierde por transpiración principalmente a través de los estomas (Nobel, 1998). El estudio de los estomas en las cactáceas ha tenido dos enfoques: el funcional, que explica las adaptaciones fisiológicas y ecológicas de estas plantas a diferentes ambientes (Pimienta *et al.*, 1993), y el descriptivo, que aporta información para la clasificación taxonómica de géneros y tribus, a través de diferencias en el tipo, tamaño y posición de los estomas (Loza y Terrazas, 2003; Silva *et al.*, 2001).

En especies de la subfamilia Cactoideae los estomas son de tipo paralelocítico (Loza y Terrazas, 2003; Terrazas y Arias, 2005, Hernández *et al.*, 2007) cuya densidad fluctúa entre 15 a 60 estomas mm^{-2} (Nobel, 1998). En el género *Hylocereus* spp., Tel-Zur *et al.* (2010) encontraron una densidad de 3.3 a 20.3 estomas mm^{-2} y una longitud de 49.7 a 86.6 μm ; y en la especie *Hylocereus undatus* la densidad fluctuó 6 a 11 estomas mm^{-2} con un tamaño de 50.3 a 69.9 μm . En el caso del género *Acanthocereus* spp. sólo se conoce la densidad estomática de *A. tetragonus*, 25 estomas mm^{-2} . Con base a lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar los estomas de *A. tetragonus*, *A. subinermis* con los de *Hylocereus undatus* (CP-171 y CP-182), con base en la densidad estomática, densidad de células epidérmicas, índice estomático y longitud de células oclusivas; y variación entre géneros.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1. Germoplasma

Se tomaron muestras en tallos maduros de plantas de *Acanthocereus tetragonus*, *Acanthocereus subinermis* y de dos genotipos de *Hylocereus undatus* (CP-171 y CP-182) el 24 de septiembre del 2009 en una plantación experimental ubicada en la localidad de Tepoztlán, Morelos.

Para el estudio de los estomas, en cada material se seleccionaron al azar tres tallos maduros, con longitud mayor a 30 cm de longitud y con más de seis meses de edad. En cada tallo se muestreó la parte apical, media y la basal de la cara más ancha y plana. Para obtener las impresiones de los estomas se colocó una gota de pegamento instantáneo sobre un portaobjetos y posteriormente se adhirió al área a muestrear, presionando con los dedos durante 30 segundos.

2.3.2. Caracterización estomática

En la caracterización de estomas, se utilizó un analizador de imágenes Media Cybernetics conectado a un microscopio Olympus BX50, provisto con un objetivo 16 X, para obtener tres imágenes de cada impresión con un área de 0.890 mm². Los caracteres evaluados fueron densidad estomática (número de estomas mm⁻²), densidad de células epidérmicas (número de células mm⁻²) y tamaño del estoma (longitud de las células oclusivas, µm; Figura 1) con ayuda del programa Image tool Ver. 3.0; con esta información se calculó el índice estomático (IE), mediante la fórmula: $IE = [DE/(DE+DCE)] \times 100$, donde DE = densidad estomática y DCE= densidad de células epidérmicas.

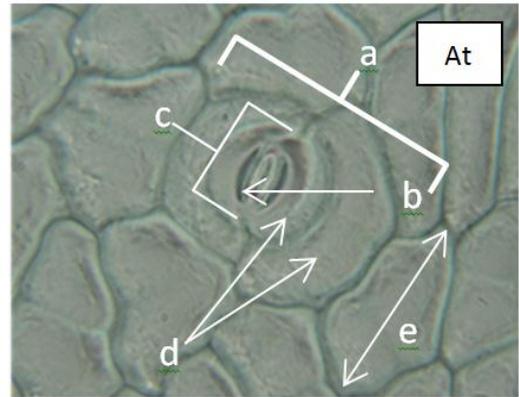
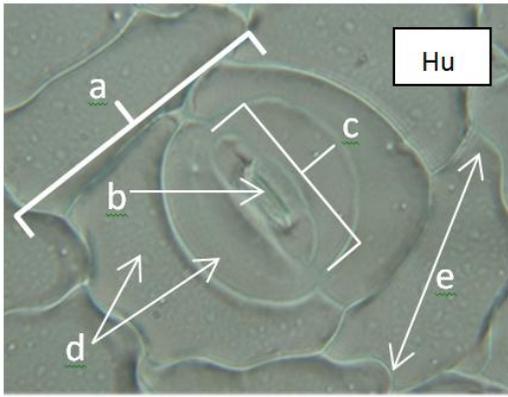


Figura 1. Estomas de Hu = *H. undatus* CP-171 y At = *A. tetragonus*, donde: a) estoma, b) ostíolo, c) células oclusivas, d) células subsidiarias y e) células epidérmicas.

2.3.3. Análisis estadístico

A los datos obtenidos, se les aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) para determinar diferencias entre segmentos y entre los materiales evaluados haciendo uso de SAS (Statistical Analysis System ver. 9.0.)

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1. Caracterización estomática

En los materiales de *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus* (CP-171 y CP-182) se observaron estomas de tipo paralelocítico distribuidos al azar, los cuales presentan tres o más células subsidiarias en forma de “C” adyacentes al eje mayor de las células oclusivas. En la Figura 2 se muestran los estomas y las células subsidiarias. Este tipo de estomas es el reportado en todos los miembros de la subfamilia Cactoideae, y su variación está relacionada con el número de células subsidiarias (Ragonese, 1982; Loza y Terrazas, 2003). Las células epidérmicas en los genotipos CP-171 y CP-182 de *Hylocereus undatus* poseen paredes ligeramente más onduladas que las de *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

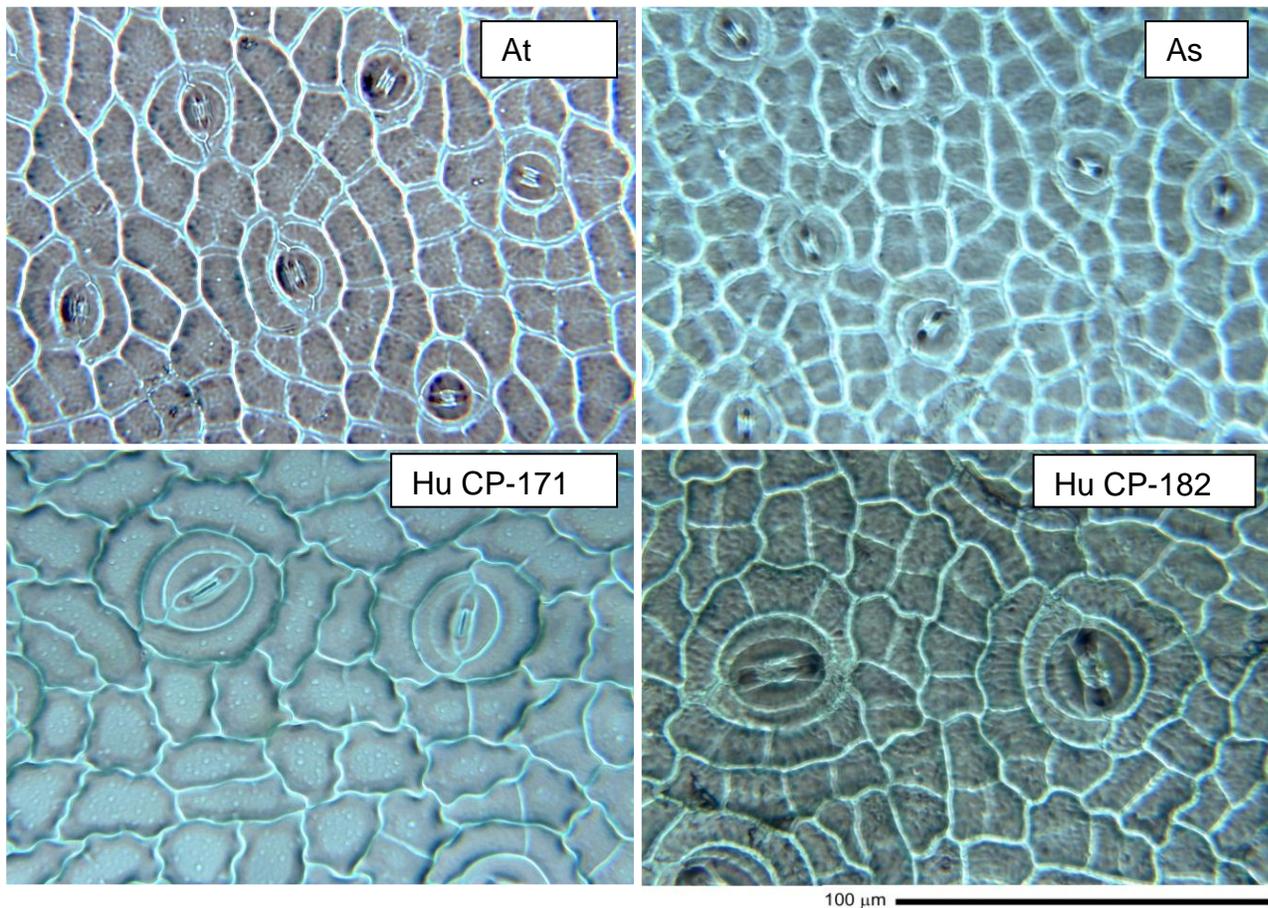


Figura 2. Estomas paralelocíticos de At = *A. tetragonus*, As = *A. subinermis*, Hu CP-171 = *H. undatus* CP-171 y Hu CP-182 = *H. undatus* CP-182 obtenidos en Tepoztlán, Morelos, México. Objetivo 40 X.

La prueba de comparación de medias de cada material evaluado indicó que no existen diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en densidad estomática (DE) entre las partes apical, media y basal de los tallos maduros de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* mayores de seis meses de edad (Cuadro 1). Lo anterior sugiere que a esta edad los tallos han logrado uniformidad en la densidad estomática, tal y como sucede en cultivares adultos de otras especies mesófitas como el aguacatero (Barrientos *et al.*, 2003). En *Myrtillocactus geometrizans* se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre la región media (23 estomas mm^{-2}) y apical (26 estomas mm^{-2}) de la rama (Hernández *et al.*, 2007), pero no se especificó la edad de la rama.

Cuadro 1. Densidad estomática (estomas mm^{-2}) en tallos maduros en *A. tetragonus*, *A. subinermis* y dos genotipos de *H. undatus*.

Región	<i>A. tetragonus</i>	<i>A. subinermis</i>	<i>H. undatus</i>	
			CP-171	CP-182
Apical [†]	48.19 ± 7.05a	54.43 ± 4.77 a	12.23 ± 1.53 a	11.11 ± 1.63 a
Media [†]	45.32 ± 3.77 a	55.56 ± 5.87 a	12.73 ± 1.78 a	11.61 ± 1.12 a
Basal [†]	47.32 ± 3.44 a	55.06 ± 6.48 a	10.99 ± 1.93 a	10.61 ± 2.25 a
Promedio ^{††}	46.94 ± 5.92 B	55.01 ± 4.98 A	11.99 ± 1.84 C	11.11 ± 1.71 C

[†]Los valores son promedio de 27 muestras ± desviación estándar. Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^{††}Promedio por especie; medias con letras mayúsculas distintas en una misma fila, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Entre especies hubo diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) en la densidad estomática. *A. subinermis* presentó el mayor valor con 55.01 estomas mm^{-2} , seguido por *A. tetragonus* con 47 estomas mm^{-2} e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) con 11 estomas mm^{-2} (Cuadro 1). La densidad encontrada en *H. undatus* CP-171 fue menor a

la reportada por Ortiz¹ (1995; datos no publicados) la cual fue de 17 estomas mm⁻² en tallos de 75 días de edad. En *A. tetragonus*, la densidad estomática fue mayor a la reportada por Medina (1987) con 25 estomas mm⁻². El género *Acanthocereus* tuvo mayor densidad estomática que el género *Hylocereus*. De acuerdo con Yáñez-Espinosa *et al.* (2003), las plantas que crecen expuestas a la luz directa del sol usualmente presentan una densidad estomática mayor en las plantas que crecen a la sombra. Se debe considerar que a diferencia de las plantas del género *Acanthocereus*, el género *Hylocereus* se conforma de plantas epífitas que generalmente no crecen expuestas a la luz del sol.

Al no encontrarse diferencias entre la densidad estomática de las zonas muestreadas del tallo, se seleccionaron nueve campos de cada material en los que se determinaron la densidad estomática, índice estomático y longitud de células oclusivas en cada material (Cuadro 2). La mayor densidad estomática se observó con *A. subinermis* con 55 estomas mm⁻², seguido de *A. tetragonus* con 45 estomas mm⁻² e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) con 11 estomas mm⁻². El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre materiales del género *Hylocereus*, pero sí dentro *Acanthocereus*, ya que *A. subinermis* superó a *A. tetragonus*.

¹Profesor – Investigador en fisiología vegetal y cactáceas del CIIDIR Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional.

Cuadro 2. Densidad estomática por mm² (DE), densidad de células epidérmicas (DCE), índice estomático (IE) y longitud de células oclusivas (LCO) de tallos maduros de *A. tetragonus*, *A. subinermis* y dos genotipos de *H. undatus*.

Material	DE (mm ²) [†]	DCE (mm ²) [†]	IE [†] (%)	LCO (μm) ^{††}
<i>A. tetragonus</i>	45.19 ± 4.52 b	342.82 ± 41.13 b	11.70 ± 0.90 a	43.40 ± 4.63 b
<i>A. subinermis</i>	54.58 ± 4.56 a	465.17 ± 20.20 a	10.53 ± 1.50 b	40.19 ± 3.53 b
<i>H. undatus</i> CP-171	10.86 ± 1.38 c	129.21 ± 9.08 d	7.75 ± 0.75 c	74.15 ± 6.03 a
<i>H. undatus</i> CP-182	10.61 ± 1.50 c	179.15 ± 14.26 c	5.62 ± 0.91d	72.99 ± 7.90 a

[†]Valores promedio de 9 muestras ± desviación estándar; ^{††}Valores promedio de 30 repeticiones ± desviación estándar. Medias con letras distintas en una misma columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El intervalo típico de la densidad estomática de los agaves y cactus es de 15 a 60 estomas mm⁻² (Nobel, 1998) variación atribuida a la adaptación a ambientes áridos (Pimienta y Nobel; 1998). La densidad estomática de *H. undatus* CP-171 y CP-182 se ubica en el rango reportado por Tel-Zur *et al.* (2010) de 3.3 a 20.3 estomas mm⁻²; específicamente en *H. undatus* la densidad osciló de 5.7 a 11.5 estomas mm⁻²; dicha fluctuación que se atribuye a la influencia de factores genéticos, hormonales y condiciones ambientales del sitio donde se colectaron los materiales aquí evaluados. En lo referente al género *Acanthocereus*, concretamente en *A. tetragonus*, la densidad estomática fue mayor a la de 25 estomas mm⁻² reportada por Medina (1987). Adicionalmente, el amplio rango en densidad estomática encontrado en los materiales evaluados se encuentra dentro de los niveles encontrados en cactáceas, como en el género *Rhipsalis* cuyo valor fluctúa de 13 a 30 estomas mm⁻² (Calvente *et al.*, 2008), y

en *Opuntia* spp. y *Stenocereus queretaroensis* varía de 10 a 40 estomas mm^{-2} (Pimienta *et al.*, 1993).

En la densidad de células epidérmicas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre especies ya que *A. subinermis* tuvo la mayor densidad con 465 células mm^{-2} ; mientras que *H. undatus* CP-171 presentó la menor densidad con 129 células mm^{-2} (Cuadro 2). Una tendencia similar se detectó en el índice estomático (IE), pues *A. tetragonus* tuvo el mayor índice (11.70 %) e *H. undatus* CP-182 el menor (5.62 %). La importancia de usar el índice estomático radica en que es un buen indicador para diferenciar materiales genéticos porque compensa los cambios en la densidad estomática con los cambios en la densidad de células epidérmicas y el área foliar (Barrientos *et al.*, 2003).

La longitud de las células oclusivas varió entre los materiales estudiados, cuyos valores en orden creciente fue: 40.19 μm en *A. subinermis*, 43.40 μm en *A. tetragonus*, 72.99 μm en *H. undatus* CP-182 y 74.15 μm en *H. undatus* CP-171; sin diferencias significativas entre *A. tetragonus* y *A. subinermis*. La longitud de las células oclusivas en *H. undatus* CP-171 y CP-182 se ubica en el rango reportado por Tel – Zur *et al.* (2010) para *Hylocereus* sp., que va de 65.3 a 70.4 μm , y específicamente para *H. undatus* de 50.3 a 69.9 μm . Por su parte, Silva *et al.* (2001) reportaron en *Opuntia* sp. un tamaño de 59.0 a 95.6 μm . Las células de *A. tetragonus* y *A. subinermis*, son más pequeñas que las del género *Hylocereus*, y mayores a las reportadas por Hernández *et al.* (2007) en *M. geometrizzans* (38 a 37.85 μm). Lo anterior concuerda con lo encontrado en otras especies en donde una alta densidad estomática se presenta en plantas con células oclusivas pequeñas y viceversa (Parés *et al.*, 2004).

La densidad estomática, longitud de los estomas y el índice estomático están fuertemente influenciadas por la especie (Tel-Zur *et al.*, 2010), y factores ambientales como sequía y altas concentraciones salinas (Páres *et al.*, 2004). En cactus como *M. geometrizzans* el tamaño y densidad estomática fueron afectados por factores como la

latitud, contenido de materia orgánica y textura del suelo; aunque no por altitud, temperatura y precipitación promedio anual (Hernández *et al.*, 2007).

Si bien con esta caracterización aporta información descriptiva de los estomas, importante para mejorar el conocimiento de las especies estudiadas es necesario incrementar el número de tallos a muestrear, así como medir otras características anatómicas como grosor de cutícula (Lüttge, 2008; Loza y Terrazas, 2003) y tamaño de células epidérmicas, principalmente en el género *Acanthocereus*.

2.5. CONCLUSIONES

Los tallos de *Acanthocereus tetragonus*, *Acanthocereus subinermis*, *Hylocereus undatus* CP- 171 y CP-182 poseen estomas de tipo paralelocíticos. Las células epidérmicas de *H. undatus* CP-171 y CP-182 poseen paredes ligeramente más onduladas que las de *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

Entre las partes apical, media y basal de tallos maduros de *A. tetragonus*, *A. subinermis*, *H. undatus* CP- 171 y CP-182 con más de 6 meses de edad, no se encontraron diferencias en densidad estomática.

El género *Acanthocereus* presentó mayor densidad estomática, densidad de células epidérmicas e índice estomático, pero menor longitud de células oclusivas, que el género *Hylocereus*.

2.6. LITERATURA CITADA

- Barrientos P, A F , M W Borys, C Trejo, L López L (2003)** Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Rev. Fitotec. Mex. Vol 24 (4): 291 a 299.
- Calvente M A, R H P Andreato, R C Vieira (2008)** Stem anatomy of *Rhipsalis* (Cactaceae) and its relevance for taxonomy. *Plant Syst Evol* 276:1–7.
- Hernández M, T Terrazas, A Delgado A, M Luna C (2007)** Los estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (MART. EX. PFEIF.) CONSOLE (CACTACEAE): variación en su área de distribución. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 235-240.
- Loza C S, T Terrazas (2003)** Epidermal and hipodermal characteristics in North American Cactoideae (Cactaceae). *J. Plant Res.* 116: 27-35.
- Lüttge U (2008)** Stem CAM in arborescent succulents. *Trees* 22:139–148.
- Medina E (1987)** Aspectos ecofisiológicos de plantas CAM en los trópicos. *Rev. Biol. Trop.* 35 (supl. 1): 55-70
- Nobel P S (1998)** Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas. México. 211 p.
- Parés M J, M Arizaleta, M E Sanabria y L Brito (2004)** Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función a la injertación en *Annona muricata* L. y *A. montana* Madfac. *Bioagro* 16(3):213-218.
- Pimienta B E, M Loera, L López Amezcua (1993)** Estudio comparativo en colectas del género *Opuntia*. *Agrociencia* 4: 7-19.
- Pimienta B E, P S Nobel (1998)** Vegetative, reproductive, and physiological adaptations to aridity of pitayo (*Stenocereus queretaroensis*, cactaceae) *Economic Botany* 52 (4): 401-411.
- Ragonese A M (1982)** Presencia de estomas paralelocíticos en el género *Mora* (Leguminosae-Cesalpinioideae) *Darwiniana*. Vol 24. No 1 – 4: 69-74.
- Silva H, E Acevedo, P Silva (2001)** Anatomía del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 341-351.

- Tel-Zur N, Y Mizrahi, A Cisneros, J Mouyal, B Schneider, J J Doyle (2010)**
Phenotypic and genomic characterization of vine cactus collection (Cactaceae)
Genet Resour Crop Evol DOI 10.1007/s10722-010-9643-8.
- Terrazas T, S Arias (2005)** Comparative Stem Anatomy in the Subfamily Cactoideae.
The Botanical Review 68(4):444-473.
- Yáñez-Espinosa L, T Terrazas, L López-Mata, J I Valdez-Hernández (2003)** Leaf
traits variation in three species through canopy strata in a semi-evergreen
Neotropical forest. Can. J. Bot. 81:398-404.

DISCUSIÓN GENERAL

Los materiales *Acanthocereus tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus* (CP-171 y CP-182), en comparación con otras especies de la familia Cactaceae, tienen mayor contenido de PC y FC, menor contenido de cenizas y EE. Con respecto a otras hortalizas, los materiales analizados poseen altos contenidos de humedad y FC, y bajos contenidos de EE, ELN y PC (Morales *et al.*, 2004).

En cuanto a contenido de minerales *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) presentan altos contenidos de P, K, Mg, Na y Cu. Las especies *A. tetragonus* y *A. subinermis* destacan por su elevado contenido en Ca; mientras que los genotipos de *H. undatus* (CP-171 y CP-182) sobresalieron por su contenido de K y Zn, respectivamente. Al respecto se tiene en cuenta que la composición química de los brotes varía en función de las especies y variedades, factores edáficos, ambientales, estación de crecimiento y edad de la planta (Stintzing y Carle, 2005). Si se supone que los materiales aquí estudiados tienen 100 % de biodisponibilidad en estos minerales, y se comparan con las necesidades de ingesta diaria recomendada (IDR) para adultos según FAO (2002) (420 mg de Mg, 2.3 mg de Mn, 500 mg de Ca y 300 mg de P por día); el porcentaje que aporta el consumo de 100 g de material fresco de cada uno de los materiales evaluados fluctúa de 5.8 a 61.9 %.

En las tres especies estudiadas se observaron estomas de tipo paralelocítico distribuidos al azar, los cuales presentan tres o más células subsidiarias en forma de "C" adyacentes al eje mayor de las células oclusivas. Las células epidérmicas en los genotipos CP-171 y CP-182 de *H. undatus* poseen paredes ligeramente más onduladas que las de *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

La prueba de comparación de medias de cada material evaluado indicó que no existen diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en densidad estomática (DE) entre las partes apical, media y basal de tallos maduros de *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *H. undatus* mayores de seis meses de edad. La mayor densidad estomática se observó con *A. subinermis*

con 55 estomas mm^{-2} , seguido de *A. tetragonus* con 45 estomas mm^{-2} e *H. undatus* (CP-171 y CP-182) con 11 estomas mm^{-2} . El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre materiales del género *Hylocereus*, pero sí dentro *Acanthocereus*, ya que *A. subinermis* superó a *A. tetragonus*.

En la densidad de células epidérmicas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre especies ya que *A. subinermis* tuvo la mayor densidad con 465 células mm^{-2} ; mientras que *H. undatus* CP-171 presentó la menor densidad con 129 células mm^{-2} . Una tendencia similar se detectó en el índice estomático (IE), pues *A. tetragonus* tuvo el mayor índice (11.70 %) e *H. undatus* CP-182 el menor (5.62 %). La longitud de las células oclusivas varió entre los materiales estudiados, cuyos valores en orden creciente fue: 40.19 μm en *A. subinermis*, 43.40 μm en *A. tetragonus*, 72.99 μm en *H. undatus* CP-182 y 74.15 μm en *H. undatus* CP-171; sin diferencias significativas entre *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

CONCLUSIONES GENERALES

Los tallos de la cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*), el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) y la pitahaya (*Hylocereus undatus* CP-171 y CP-182) tienen altos contenidos de humedad, proteína cruda y fibra cruda; pero bajos contenidos de cenizas, extracto etéreo y ELN. En cuanto al aporte mineral los tallos son una fuente importante de P, K, Mg, Na y Cu, componentes necesarios para integrar una dieta saludable, de acuerdo a la ingesta diaria recomendada.

Por comparación de la composición química de las tres especies con el contenido nutrimental de los nopalitas y algunas hortalizas como la lechuga y el pepino, reportados en la literatura, puede considerarse que son útiles en la alimentación humana, aunque se requieren más estudios para evaluar su calidad nutricional según otros factores como los antinutricionales. Otras ventajas de estas especies son que pueden ser producidos en forma rápida, con poca agua y altas temperaturas, condiciones en general desfavorables para la producción de hortalizas.

Los tallos de las especies estudiadas poseen estomas de tipo paralelocíticos. Las células epidérmicas de *H. undatus* CP-171 y CP-182 poseen paredes ligeramente más onduladas que las de *A. tetragonus* y *A. subinermis*. Entre las partes apical, media y basal de tallos maduros de estos materiales con más de 6 meses de edad, no se encontraron diferencias en densidad estomática. El género *Acanthocereus* presentó mayor densidad estomática, densidad de células epidérmicas e índice estomático, pero menor longitud de células oclusivas, que el género *Hylocereus*. Si bien con esta caracterización aporta información descriptiva de los estomas, importante para mejorar el conocimiento de las especies estudiadas es necesario incrementar el número de tallos a muestrear, así como medir otras características anatómicas como grosor de cutícula (Lüttge, 2008; Loza y Terrazas, 2003) y tamaño de células epidérmicas, principalmente en el género *Acanthocereus*.

LITERATURA CITADA GENERAL

- Arias M S, S Gama L y L U Guzmán C (1997)** Flora del Valle Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A. L. Juss. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 146 pp.
- Arreola N H J (2004)** Generalidades de la familia cactaceae. Taller de taxonomía sobre cactáceas. Primera parte. Ed. Colegio de Posgraduados. México. pp 21.
- Bravo H H (1978)** Las Cactáceas de México. UNAM, México, D. F. 743 pp.
- Bravo H H (1991)** Las cactáceas de México. UNAM. México, D. F. Vol. III, 643 pp.
- Castillo M R H Cálix De D y A Rodríguez C (1996)** Guía técnica para el cultivo de pitahaya. Chetumal, Quintana Roo, CONACYT, Universidad de Quintana Roo, INIFAP y Universidad Autónoma Chapingo. 158 pp.
- Rodríguez C A (1993)** **El cultivo de pitahaya en Yucatán** Maxcanú, Yucatán, Universidad Autónoma Chapingo y gobierno del estado de Yucatán.
- Rodríguez C A (2000)** Pitahayas. Estado mundial de su cultivo y comercialización. Maxcanú, Yucatán, Fundación Yucatán Produce AC y Universidad Autónoma Chapingo.