



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO ANATOMICO DEL TALLO EN  
*Aporocactus flagelliformis* (LINNE) LEMAIRE  
(CACTACEAE-HYLOCEREEAE).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

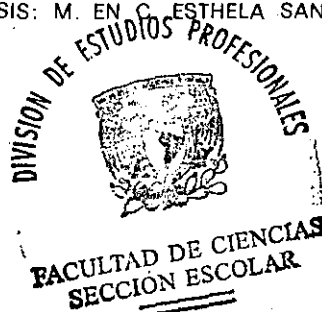
P R E S E N T A :

GABRIEL OLALDE PARRA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ESTHELA SANDOVAL ZAPOTITLA

MEXICO, D.F.

2000





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO**  
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

Estudio anatómico del tallo en Aporocactus flagelliformis (Linné)  
Lemaire (Cactaceae-Hylocereae).

realizado por Gabriel Olalde Parra

con número de cuenta 7843976-6, pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis M. en C. Esthela Sandoval Zapotitla  
Propietario

Propietario M. en C. Angel Salvador Arias Montes

Propietario Dra. Teresa Terrazas Salgado

Suplente M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar

Suplente M. en C. Guillermina Murgia Sánchez

FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

*Edna María Suárez Díaz*  
Dra. Edna María Suárez Díaz



DEPARTAMENTO  
DE BIOLÓGIA



*Aporocactus flagelliformis* (Linné) Lemaire

## *Dedicatoria*

*Esta tesis la dedico a Bárbara, mi esposa y compañera de toda la vida, por ser amorosa, comprensible y tolerante, cualidades fundamentales para mantener nuestra relación. Le doy gracias a la vida por haberte encontrado y tenerte junto a mí.*

*A Yadira, Isai y Paris, mis amados hijos, que con su cercanía, sus sonrisas espontáneas y alegres iluminan mi existencia. Sus manifestaciones de amor que me estimulan para seguir adelante en la lucha por la vida. Les manifiesto que ustedes son el tesoro más hermoso que su mami pudo haberme dado. A ustedes les dedico esta tesis y mi vida entera.*

*Una dedicatoria muy especial a mis padres, de quienes siempre he recibido amor y apoyo incondicional en todos los aspectos. Esta tesis es el fruto de mucho tiempo y dedicación al trabajo, así como de la ayuda que ustedes me han proporcionado. Esta tesis también es fruto de ustedes. "Los Amo".*

*También dedico esta tesis con mucho cariño a mis hermanos Víctor, Gabriela, Ana, Rita, Alma, muy especialmente a Aldán y también a Juanito que vive en mi corazón.*

*Además, este trabajo lo dedico a mi tío Beto que a lo largo de mi vida me ha apoyado en muchos sentidos de manera incondicional por lo que siempre lo he querido como a un padre.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y muy especialmente a la Facultad de Ciencias por todo lo que recibí de manera incondicional para mi formación académica y humana, así como por aquellos momentos inolvidables que viví y disfruté con mis maestros y compañeros tanto en sus instalaciones como fuera de ellas.

Al Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en el Laboratorio de Apoyo a la Investigación.

Al Colegio de Posgraduados por las facilidades prestadas para el uso de equipo e instalaciones en la realización de algunas actividades del presente estudio.

A la M. en C. Esthela Sandoval Zapotitla por la dirección de esta tesis, así como por su apoyo incondicional, sus enseñanzas, su paciencia y su ayuda inagotable en todos y cada uno de los pasos seguidos.

Al M. en C. Salvador Arias Montes por su apoyo incondicional, identificación de la especie, por su asesoría, sugerencias y comentarios tan acertados para la elaboración del presente trabajo.

A la Dra. Teresa Terrazas por la asesoría y sugerencias tan acertadas, que siempre me brindó con la mejor de las disposiciones y de manera incondicional en los momentos que necesité de ellas, contribuyendo con esto a mi formación académica.

A la Biól. Elena Bárbara Estrada Galván por su apoyo y asesoría en las técnicas histológicas, así como en otras actividades técnicas y académicas desarrolladas para este trabajo.

A mis sinodales, las M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar y Guillermina Murgía Sánchez por su paciencia para la revisión de esta tesis, así como por sus sugerencias y comentarios que fueron de incalculable valor para las correcciones de la misma.

Muy especialmente a la Dra. Helia Bravo-Hollis por sus consejos y enseñanzas que me ha brindado durante muchos años.

A la Dra. Léia Scheinvar por su apoyo incondicional durante estos últimos 20 años para mi formación académica y por su alta calidad humana, demostrada en todo momento.

Al Lic. Rene García Ocegüera quien influyó de manera determinante en mi vida con sus consejos.

A la Biól. Alicia Rojas por su ayuda para la toma de algunas de las fotografías presentadas en este trabajo.

A la Biól. Iliana Ramírez Krauss por sus consejos y ayuda para la interpretación de los análisis estadísticos.

Al Biól. Alejandro Vallejo Zamora por su apoyo y asesoría para la edición de esta tesis, así como por la digitalización y toma de fotografías.

A las Biól. Concepción Guzmán Ramos y Lourdes Carmona Jiménez por su asesoría en el desarrollo de técnicas histológicas.

Al Biól. Leonardo Ulises Guzmán Cruz por su ayuda en el trabajo de campo.

A todos mis demás amigos y compañeros de laboratorio que de una u otra forma me han apoyado Víctor Chávez, Claudia, Don-Ito, Ernestina y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera me apoyaron.

# ÍNDICE GENERAL

|      |  |    |
|------|--|----|
| I    | Resumen  | 1  |
| II   | Introducción   | 2  |
| III  | Antecedentes   | 5  |
|      | A) Anatomía Vegetal  | 5  |
|      | B) Anatomía vegetal en cactáceas   | 7  |
|      | C) Descripción genérica y específica   | 11 |
| IV   | Objetivos  | 14 |
| V    | Material y metodología   | 15 |
|      | A) Trabajo de gabinete   | 15 |
|      | B) Trabajo de campo  | 15 |
|      | C) Trabajo de laboratorio  | 16 |
|      | D) Metodología descriptiva   | 21 |
|      | 1) Caracteres cualitativos   | 22 |
|      | 2) Caracteres cuantitativos  | 23 |
|      | E) Análisis de los caracteres cuantitativos  | 24 |
| VI   | Resultados   | 27 |
|      | A) Descripción anatómica del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> y estadística básica descriptiva | 27 |
|      | B) Estadística inferencial   | 35 |
|      | C) Comparación entre individuos de <i>Aporocactus flagelliformis</i>                                     | 36 |
| VII  | Discusión  | 42 |
|      | A) Caracteres cualitativos   | 44 |
|      | B) Caracteres cuantitativos  | 46 |
| VIII | Conclusiones   | 59 |
| IX   | Bibliografía   | 60 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1.  | Planta de <i>Aporocactus flagelliformis</i> de hábito epilítico en su hábitat natural   | 39 |
| Figura 2.  | Sección transversal de la región media del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: cutícula lisa, células epidérmicas cuadradas y en forma de domo algunas rectangulares, cámara subestomática conspicua, hipodermis colenquimatosa de tipo laminar con células de forma rectangular. | 38 |
| Figura 3.  | Sección superficial de la epidermis en la región media del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: células epidérmicas de forma irregular con paredes anticlinales lineales a curvadas, estoma con tres células adyacentes y células oclusivas con su pared ventral engrosada.        | 38 |
| Figura 4.  | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: peridermis con bandas alternantes de células tangencialmente colapsadas con paredes suberizadas y esclereidas con paredes externas y radiales lignificadas.  | 39 |
| Figura 5.  | Sección transversal de la región media del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: región externa de córtex constituido por clorénquima, la interna por parénquima de reserva, abundantes células mucilaginosas.  | 39 |
| Figura 6.  | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: córtex con abundantes células con mucílago cristalizado.   | 39 |
| Figura 7.  | Sección longitudinal de la región apical del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: cristales esferoidales en córtex y médula.   | 39 |
| Figura 8.  | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: haz vascular cortical con elementos traqueales dispuestos en hileras.  | 40 |
| Figura 9.  | Sección transversal de la región media del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: cilindro vascular con nueve haces vasculares colaterales constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema y xilema.  | 40 |
| Figura 10. | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: cilindro vascular con nueve haces vasculares colaterales constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema y xilema.  | 40 |
| Figura 11. | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: haces vasculares con fibras extrafloemáticas de forma angular y poligonal, floema, xilema con fibras y radios en la región interfascicular.  | 40 |
| Figura 12. | Sección longitudinal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: paquete de fibras extrafloemáticas con fibras septadas.   | 41 |
| Figura 13. | Sección transversal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> : mostrando: haz vascular, porosidad de tipo semianular, xilema con vasos, fibras y parénquima axial.   | 41 |
| Figura 14. | Disociados de la región basal del xilema del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: elementos de vaso con punteaduras de tipo pseudoescalariforme y placa de perforación simple con un ángulo de inclinación de 45°, fibras de tipo libriforme y septadas                            | 41 |
| Figura 15. | Sección longitudinal de la región basal del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> mostrando: células de parénquima axial, elementos de vaso y fibras con arreglo estratificado.  | 41 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1. | Material vegetativo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> , colectado en el estado de Hidalgo.   | 15 |
| Cuadro 2. | Mezclas graduales para la deshidratación de las muestras de los tallos de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .   | 18 |
| Cuadro 3. | Caracteres anatómicos cuantitativos para los cuales se hicieron 25 mediciones o conteos por muestra.  | 25 |
| Cuadro 4. | Valores de media, $\pm$ una desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo) y porcentaje de la desviación estándar respecto a la media (%), de los caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .                     | 27 |
| Cuadro 5. | Valores de media, $\pm$ una desviación estándar e intervalo, del segundo grupo de caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .  | 31 |
| Cuadro 6. | Valores del intervalo (valores mínimo y máximo) del tercer grupo de caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .  | 32 |
| Cuadro 7. | Análisis de Varianza (nivel de confianza 95% y $\alpha$ de 0.05) y prueba de rango múltiple para 16 caracteres cuantitativos de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .   | 35 |
| Cuadro 8. | Análisis de correlación (coeficiente de asociación mínimo de 0.40) entre 16 caracteres cuantitativos de <i>Aporocactus flagelliformis</i> .   | 36 |
| Cuadro 9. | Valores de la media, $\pm$ una desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo) de 16 caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de los individuos de <i>Aporocactus flagelliformis</i> . Letras similares indican grupos homogéneos ( $\alpha < 0.05$ ). | 37 |

## I. RESUMEN

En el presente estudio se realizó la descripción anatómica del tallo de *Aporocactus flagelliformis* (Linné) Lemaire. Se recolectaron cuatro individuos en dos localidades diferentes del estado de Hidalgo: en una localidad tres individuos de hábito epilítico y en la otra uno de hábito epífito; se comparó la variabilidad anatómica del tallo entre las plantas de hábito epilítico y las de hábito epífito. Con este trabajo se contribuye al conocimiento de la anatomía de las cactáceas mexicanas. Se realizaron preparaciones histológicas permanentes y semipermanentes de las regiones apical, media y basal. Se analizaron caracteres cualitativos y cuantitativos de los cuatro individuos recolectados. Los resultados incluyen la descripción anatómica del tallo, estadística básica descriptiva, un análisis de varianza de 16 caracteres cuantitativos, así como una prueba de rango múltiple y un análisis de correlación con el propósito de comparar la variabilidad anatómica entre los cuatro individuos. Los caracteres índice estomático y número de células adyacentes pueden ser diagnósticos para la especie. Al comparar entre plantas de hábito epilítico y epífito, la variación se presentó en los caracteres grosor de cutícula, ancho de células epidérmicas, grosor de hipodermis, densidad de vasos y diámetro de médula basal, por lo que estos caracteres pueden estar correlacionados al tipo de hábito. Asimismo, los caracteres longitud de elementos de vaso, longitud de fibras xilemáticas y ancho de estomas también pueden tener una cierta correlación con el tipo de hábito. Por otro lado, los caracteres longitud de células epidérmicas, longitud de estomas, diámetro tangencial de vasos, diámetro tangencial de fibras y diámetro de médula media fueron muy variables, mientras que el diámetro de médula apical fue el carácter más variable, por lo tanto estos caracteres no tienen importancia taxonómica para la especie. Por último, para el resto de los caracteres sería necesario realizar estudios con mayor número de plantas.

## II. INTRODUCCIÓN

La anatomía vegetal desde sus inicios en 1671, con los estudios de Nehemiah Grew y Marcello Malpighi (Morton, 1981) ha demostrado su valor científico, para conocer la estructura y organización de los tejidos, posteriormente para entender la función de las estructuras internas apoyándose en la interpretación de enfoques fisiológicos, ecológicos y otros aspectos de la biología de las plantas (Mauseth, 1988), es una disciplina auxiliar de estudios taxonómicos y sistemáticos de suma importancia. De ahí, la relevancia de la aplicación de estudios anatómicos en la familia de las cactáceas.

Aunque México es el centro más importante de distribución de cactáceas, hasta la fecha los estudios anatómicos realizados en géneros endémicos de la familia Cactaceae son escasos (Loza-Cornejo y Terrazas, 1996).

La familia de las cactáceas es endémica del Continente Americano, comprende aproximadamente de 100 a 110 géneros y más de 1500 especies. En México, esta familia se encuentra ampliamente representada, hay cerca de 51 géneros y aproximadamente 850 especies; de estas, cerca del 80 % son endémicas del territorio nacional (Bravo, 1978; Arias *et al.*, 1997), constituyendo una de las familias botánicas más importantes de nuestro país.

Las cactáceas crecen principalmente en zonas áridas y semiáridas, aunque también se les encuentra en zonas subtropicales y subtropicales húmedas, así como en bosques mesófilos de montaña. México es un importante centro de diversificación debido a que en su territorio se encuentra el mayor número de géneros y especies, de los cuales la mayoría son endémicos (Bravo y Scheinvar, 1995).

De acuerdo a Barthlott y Hunt (1993) la familia se clasifica en tres subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae; esta última, incluye cactáceas con hábito terrestre, trepador y epífita, se divide en varias tribus, entre las cuales, la tribu Hylocereeae comprende géneros que presentan estos tres tipos de hábito. Bravo (1978) considera que el

grupo de cactáceas con hábito epífita contiene a los géneros más recientes. El género *Aporocactus* está clasificado en esta tribu y sus especies epífitas y epilíticas son endémicas de México (Arias *et al.*, 1997).

La taxonomía de la familia es muy compleja; por ejemplo, la subtribu Nyctocereinae (Bravo, 1978) incluye géneros muy diversos y pobremente definidos, varios de ellos han sido fusionados o incorporados a otras subtribus de Hylocereeae o incluso a tribus diferentes. Por tanto resulta interesante hacer un análisis del mayor número posible de caracteres por medio de diversas técnicas que, de manera interdisciplinaria, apoyen a la sistemática de este grupo de plantas.

A lo largo de la historia taxonómica de las principales familias vegetales, los estudios anatómicos han contribuido de forma básica en su taxonomía debido a que aportan caracteres diagnóstico que pueden apoyar la delimitación de los diferentes grupos a distintos niveles jerárquicos (Dickison, 1975). En el caso particular de las especies de Hylocereeae, en las cuales no se han realizado estudios anatómicos detallados a la fecha, se espera que éstos proporcionen información precisa y detallada sobre la constitución y organización de sus tejidos, que contribuyan como caracteres taxonómicos.

Para interpretar los caracteres anatómicos de las cactáceas, es indispensable tomar en cuenta algunas consideraciones. Las cactáceas presentan hábitos y estructuras anatómicas de adaptación, altamente especializados, que les imparten una fisonomía particular. De estas estructuras especializadas se considera responsable el medio árido en que la mayoría crece y la adaptación posterior de otras a la vida epífita o trepadora en las selvas tropicales húmedas (Bravo, 1978).

Entre las adaptaciones más notables que el tallo adquiere en relación con la aridez, están: el desarrollo del parénquima, la adquisición de formas globosas, la reducción del limbo de las hojas, el engrosamiento de la cutícula, las excrecencias cerosas de las células epidérmicas, la disminución y disposición hundida de los estomas, etc. A dichas adaptaciones hay que agregar las que facilitan la absorción rápida del agua como la gran longitud que adquieren

algunas raíces, y la conservación de dicho líquido, a veces en las enormes raíces tuberosas de ciertas especies. Por la singular capacidad que el tallo tiene de distenderse al acumular agua en los parénquimas, las cactáceas forman parte del grupo de plantas llamadas xerófitas suculentas (Bravo, 1978).

En la familia Cactaceae, las epífitas (por ejemplo, algunas especies de la tribu Hylocereeae) son el grupo de plantas más evolucionado, presentan tallos péndulos en forma de cladodios o cilíndricos, con raíces aéreas, hojas reducidas a escamas pequeñas, aréolas con numerosas espinas en géneros primitivos, con fieltro y algunas espinas reducidas en los recientes, así como tejido cortical con abundantes células mucilaginosas (Bravo, 1978).

*Aporocactus flagelliformis* es una especie que no está bien delimitada desde el punto de vista taxonómico e incluye individuos de hábito epilítico y epífito. A la fecha no existe una descripción anatómica del tallo de esta especie; por lo tanto, el presente estudio tiene el propósito de presentar la descripción anatómica del tallo de esta especie y analizar estadísticamente la variación de los caracteres cuantitativos para determinar que caracteres pueden tener valor diagnóstico, de tal manera que se contribuya al conocimiento de esta especie.

### III. ANTECEDENTES

#### A) Anatomía Vegetal

En 1665 inicia el estudio de la estructura celular (Mauseth, 1983b), sin embargo el desarrollo de la anatomía vegetal fue hasta mediados del siglo XIX con la obra de Hugo Von Mohol's "Gründzuge der Anatomie und Physiologie der Vegetabilischen zelle (1851)" (Stuessy, 1990). A través del tiempo, con el avance de la tecnología y el mejoramiento de las técnicas histológicas han aumentado los conocimientos en esta área de la ciencia. En la botánica se ha incrementado el interés por los estudios realizados en el campo de la anatomía vegetal, ya que han permitido entender procesos fisiológicos, y relaciones filogenéticas entre los distintos grupos de plantas, entender la adaptación a funciones especiales, así como a diferentes condiciones ambientales (Mauseth, 1983b).

Metcalf (1968) menciona que la anatomía de los órganos vegetativos de las angiospermas es útil en los siguientes casos: la identificación de material fragmentado y la identificación preliminar del material de herbario.

También Metcalfe y Chalk (1988) mencionan que la anatomía es de valor restringido para la distinción de especies o grupos de niveles taxonómicos por debajo del específico debido a que las diferencias entre ellos son más cuantitativas que cualitativas y casi siempre demandan un tratamiento estadístico basado en una gran cantidad de material.

Fahn (1974) señala que la anatomía vegetal es una herramienta importante para apoyar los estudios taxonómicos.

De acuerdo a Dickison (1975), la anatomía vegetal es fundamentalmente descriptiva, se basa en el estudio de datos obtenidos de material que ha sido fijado, seccionado, teñido y montado en preparaciones permanentes y/o semipermanentes para su examinación microscópica. Las preparaciones realizadas deben conservarse en una colección científica

de consulta. También menciona que la selección del material para estudio es crítico; por ejemplo, el xilema secundario cercano a la médula puede diferir histológicamente del xilema secundario cercano al cámbium vascular que se forma posteriormente, por lo tanto es preferible la estandarización de muestras y selección uniforme de ejemplares maduros para propósitos comparativos. Este autor señala que la anatomía vegetal cobra importancia en casos en donde hay la ausencia de un registro fósil completo; por lo tanto, establece que es necesario recurrir a la aplicación de métodos filogenéticos de asociación y correlación, ilustrado con datos anatómicos. Además, menciona que las estructuras vegetativas contienen una gran cantidad de información potencialmente significativa para la sistemática de los grupos vegetales. Sin embargo, aclara que sólo las tendencias evolutivas en el xilema secundario y las conclusiones filogenéticas que han resultado del conocimiento de esas tendencias, proveen bases firmes para la filogenia de las angiospermas. Dickison (1975) señala que desde hace unos 100 años, los caracteres anatómicos han sido empleados con un enfoque sistemático.

Mauseth (1982) señala que la diversidad vegetal es el resultado de la combinación variada de un pequeño número de tipos de células y tejidos; y del arreglo de estas células en diferentes patrones, por lo anterior es indiscutible la importancia de los estudios anatómicos para apoyar a la taxonomía.

Stuessy (1990) menciona que la historia de la aplicación de datos anatómicos en la taxonomía es larga y paralela al uso de datos morfológicos, señala que la anatomía vegetal es útil para la clasificación de las plantas en diferentes niveles taxonómicos, y además que la anatomía es una fuente clásica de datos aplicados en taxonomía vegetal, útiles para la solución de problemas de relación filogenética entre grupos, señala que estos datos pueden sugerir la homología de caracteres morfológicos y ayudar en la interpretación de direcciones evolutivas. Por lo tanto, al aumentar la realización de estudios anatómicos se puede contribuir significativamente a la clasificación de las plantas y a la reconstrucción de la filogenia. Por otro lado, refiere que las contribuciones de la anatomía tienden a ser menos útiles a nivel de especie que a nivel de género.

En términos generales, los caracteres anatómicos vegetativos han sido usados con mayor



regularidad que los caracteres anatómicos reproductivos. Entre los reportes de caracteres con significancia taxonómica se encuentran los siguientes:

Stuessy (1990) menciona los siguientes: para la hoja, características epidérmicas como la variación de las células y presencia de cristales; en el mesófilo considera la presencia de cristales; en los haces vasculares la estructura, patrones de venación y presencia de esclereidas; en el tallo la presencia de gránulos de almidón, laticíferos, química del látex, células con gránulos de proteína y elementos del tubo criboso con plastidios; para la raíz considera la cofia.

## **B) Anatomía Vegetal en cactáceas**

En 1845 Mathias Schleiden escribió un trabajo sobre la anatomía de las cactáceas, desde entonces las cactáceas tuvieron un rol primordial en la dilucidación de las ideas actuales sobre la anatomía vegetal (Mauseth, 1983b).

Mauseth (1983c, 1984b), establece que la organización del cuerpo de las plantas con flores es muy uniforme y con poca variación y las cactáceas no son la excepción. La capa más externa es la epidermis y debajo de ésta, muchas plantas tienen una capa llamada hipodermis. Le sigue una capa que a menudo constituye el grueso de la planta, el córtex, está compuesto por dos regiones: la región externa que es verde debido a la presencia de cloroplastos bien desarrollados y la región interna, que está constituida por células que almacenan almidón y agua. Después está el anillo de haces vasculares que constituyen los tejidos de conducción donde hay dos tipos de tejido vascular: en la parte externa del haz vascular se localiza el floema, tejido que conduce azúcares y moléculas orgánicas, en la parte interna de los haces vasculares se localiza el xilema, tejido que conduce básicamente agua y sales. Finalmente, el tejido más interno del tallo es la médula. De acuerdo al criterio de Mauseth (1983c), todos estos tejidos están formados por tres tipos celulares: parénquima, colénquima y esclerénquima. Algunos tipos de parénquima que se encuentran en las cactáceas, son el clorénquima, aerénquima y parénquima de reserva, la principal

característica de estos tejidos es la presencia de células grandes vivas con pared primaria delgada. Un ejemplo de colénquima es la hipodermis cuyas células son grandes, vivas, pero con pared primaria engrosada. Las fibras y esclereidas forman el esclerénquima, sus características son el desarrollo de una pared secundaria y en la madurez, su destino es la muerte. En las cactáceas son frecuentes diversos tipos de células secretoras como las células de mucílago, células que contienen cristales y laticíferos. Como en otras plantas, en las cactáceas, el crecimiento está compuesto por dos procesos: la organización y la expansión. La organización es de vital importancia y queda establecida cuando se forman los tejidos, esto ocurre en el meristemo apical constituido por un grupo de células en constante división celular, las células se organizan de tal manera que forman hojas, nudos, entrenudos, brotes axilares, etc. Cuando las células se han organizado apropiadamente, se expanden hacia su forma madura (Mauseth, 1983a). En el tallo de las cactáceas se presentan las siguientes zonas meristemáticas: 1) meristemo apical y 2) meristemo axilar (originan crecimiento primario), 3) cámbium vascular y 4) felógeno (originan crecimiento secundario)

Existen estudios anatómicos en los cuales se mencionan caracteres que pueden apoyar la taxonomía de las cactáceas, por ejemplo:

Moran (1977), menciona que la epidermis de *Aporocactus* está fina y densamente punteada, cada hoyuelo claramente con su estoma en el fondo, mientras que en *Cereus pensilis* la epidermis es lisa. Puesto que la epidermis punteada es un carácter muy distintivo de *Aporocactus*, la ausencia de puntuaciones en *C. pensilis* parece importante,

En 1978 Gibson y Horak realizaron un estudio anatómico en la tribu Pachycereeae y encontraron que la presencia o ausencia de cuerpos de sílice en la epidermis del tallo es un carácter que se presenta en las especies del género *Stenocereus* que ellos estudiaron.

Mauseth (1980) realizó un estudio anatómico en *Nopalea auberi* y *N. karwinskiana*, encontrando la presencia de una red de canales anastomosados ubicados en la región externa a los haces vasculares del tallo, dichos canales están compuestos por un epitelio

parenquimático con un espesor de cuatro a siete capas celulares que rodean un lumen ocupado por células mucilaginosas similares a las células mucilaginosas que se encuentran como ideoblastos en el córtex y radios medulares del tallo. Cuando el tallo se corta, se liberan en masa células mucilaginosas enteras de los canales mencionados, este fenómeno solo se ha observado en estas especies. Las células mucilaginosas ideoblásticas son comunes en cactáceas, pero su presencia en canales es inusual, este fenómeno justifica la realización de una investigación detallada.

Según Mauseth (1984a), los estudios de Boke demostraron que los caracteres de la epidermis de los cactus son de utilidad taxonómica y pueden ser una fuente valiosa de información cuando se quiere determinar si dos especies están relacionadas entre sí, para esto es importante considerar el tamaño y forma de las células, la naturaleza de la pared celular y la apariencia de los cristales. Estos caracteres han sido utilizados en estudios para *Peleciphora*, *Encephalocarpus* y otros géneros. La epidermis es una de las partes más críticas, importantes y activas de la planta.

Sajeva y Mauseth (1991), mediante un estudio anatómico establecen la relación existente entre las especies del género *Pereskia* que presentan hojas amplias y delgadas y las cactáceas de la subfamilia Cactoideae con hojas reducidas y en el tallo un amplio córtex con tejido fotosintético. En su trabajo reportan que *Pereskia* tiene una alta densidad de estomas en las hojas y en el tallo la densidad de estomas es baja, mientras que el córtex de su tallo no presenta haces corticales. El tallo de Cactoideae tiene una alta densidad de estomas y las células de la región externa del córtex del tallo se presentan en columnas formando un córtex en empalizada similar al parénquima en empalizada de las hojas. El córtex del tallo de Cactoideae presenta una extensa red de haces vasculares colaterales que recuerdan las venas de las hojas. Finalmente mencionan la importancia de cómo han evolucionado estos caracteres anatómicos para su adaptación a condiciones xéricas.

En 1996, Loza-Cornejo y Terrazas realizaron un estudio anatómico del tallo y de la raíz de *Wilcoxia poselgeri* y *W. tamaulipensis* del noreste de México. Para el tallo reportan los siguientes datos sobresalientes: hipodermis uniestratificada, peridermis unidireccional,

clorénquima en empalizada, ausencia de fibras sobre el floema y de radios en el xilema secundario. Para la raíz: tejido vascular escaso y restringido a hileras radiales, tejido de almacenamiento en corteza primaria y parénquima asociado al xilema secundario. Las diferencias que encontraron en las dos especies estudiadas son las siguientes: el grosor de la cutícula (para *W. poselgeri* es de 1  $\mu\text{m}$  y para *W. tamaulipensis* de 4  $\mu\text{m}$ ) y de la hipodermis (para *W. poselgeri* es de 20  $\mu\text{m}$  y para *W. tamaulipensis* de 30  $\mu\text{m}$ ), el tipo de porosidad en el xilema secundario es difusa, sin marcas de crecimiento distinguibles, la longitud de los elementos de vaso, para *Wilcoxia poselgeri* 155  $\mu\text{m}$  y *W. tamaulipensis* 181  $\mu\text{m}$  y el diámetro tangencial de las fibras, en *Wilcoxia poselgeri* 22.2  $\mu\text{m}$  y *W. tamaulipensis* 21  $\mu\text{m}$ , en ambas especies de *Wilcoxia* hay cristales esferoidales con estructuras concéntricas estriadas radialmente, en *W. poselgeri* son de 62 $\mu$  y en *W. tamaulipensis* de 149  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, los resultados de este trabajo son utilizados por las autoras para comparar con los resultados de estudios realizados en otros miembros de la familia Cactaceae. En dicha comparación encontraron algunas similitudes y diferencias en caracteres que pueden tener valor evolutivo y/o taxonómico.

Nyffeler y Egli (1997) realizaron un estudio comparativo de 19 caracteres anatómicos y morfológicos del tallo de 27 taxa de *Erioseye* y seis géneros externos (*Austrocactus*, *Copiapoa*, *Corryocactus*, *Eulychnia* y *Neowerdermannia*) todas de la tribu Notocactaeae. Compararon material colectado en el campo y cultivado en invernadero. Además, analizaron muestras de diferentes regiones del tallo. De los caracteres anatómicos analizados, concluyen que algunos taxa de *Erioseye* pueden ser colocados en su propia subsección, basada en la combinación de caracteres del sistema dermal y del córtex, tales como estructuras de relieve epidermal, número de capas celulares en la hipodermis, presencia de células mucilaginosas o tamaño de células parenquimáticas del córtex. Por último, mencionan que caracteres anatómicos contribuyen a la delimitación de taxa infragenéricos en *Erioseye*. Además, estos estudios pueden ser utilizados como una base para estudios comparativos y sistemáticos de cactáceas.

Arias (1998) realizó una revisión bibliográfica sobre el desarrollo y las principales líneas de trabajo sobre el conocimiento de la sistemática de la familia Cactaceae en México. En su

trabajo expresa que los estudios anatómicos son importantes para la sistemática de las cactáceas. Además, dice que existen estudios anatómicos comparativos que permiten conocer sus diferencias y posibles implicaciones filogenéticas.

Para el caso particular del género *Aporocactus* (“cactus cola de rata”), Cházaro y Hernández (1996) reportan que la información sobre la presencia en estado silvestre de dichas especies es muy escasa y que la delimitación entre ellas (particularmente *A. flagelliformis* y *A. flagriformis*) no es muy clara debido a que, para la descripción de estas especies, a la fecha solo se han utilizado caracteres morfológicos. Por lo anterior, la descripción anatómica del tallo contribuirá al conocimiento de esta especie.

### C) Descripción genérica y específica:

*Aporocactus* Lemaire, *Illustr. Hort.* 7 Misc. 67. 1860.

*Cereus* Miller Subgénero *Aporocactus* Berger, *Kakteen* 109. 1929.

*Aporoceresus* Fric y Kruzinger, *nom. nud.* 1934.

n. v. “junco”, “floricuerno” o “cola de rata”.

El término *Aporocactus* deriva del griego y significa “cactus impenetrable” por la abundante cantidad de espinas que cubren por completo el tallo. Sus tallos son de forma cilindroide, largos, algo ramificados con raíces aéreas; costillas 8 a 12 provistas de pequeños tubérculos; aréolas próximas entre sí; espinas cortas y numerosas que a veces cubren el tallo; flores una en cada aréola, diurnas, de color rosa purpúreo o rojizo claro, provistas de espinas; fruto globoso pequeño, rojizo, setoso; semillas obovoides de color café.

Las especies crecen como epífitas o epilíticas en altitudes cercanas o superiores a los 2000 m.s.n.m., en bosques tropicales subperennifolios, tropicales caducifolios y de *Quercus*,

*Aporocactus flagelliformis* (Linné) Lemaire, *Illustr. Hort.* 7: Misc., 68. 1869.

*Cactus flagelliformis* Linné, *Sp. Pl.* 467.1753.

*Cereus flagelliformis* Miller, *Gard. Dict.* ed. 8 No. 12, 1768.

*Cereus flagelliformis minor* Salm-Dyck in Pfeiffer, *Enum. Cact.* 111.1837.

n. v. "junco", "junquillo", "floricuerno" y "flor de látigo".

Tallos al principio ascendentes o erectos, más tarde péndulos, a menudo postrados o rastreros, ramificados, de uno a dos cm de diámetro, hasta dos m de largo, cuando jóvenes de color verde claro, después grisáceo. Costillas 10 a 12 bajas, algo tuberculadas. Aréolas distantes entre sí seis a ocho mm, pequeñas al principio con tricomas blancos, después grisáceo. Espinas radiales ocho a 12, aciculares color café rojizo. Espinas centrales tres o cuatro, morenas con la punta amarilla. Flores numerosas a lo largo de los tallos, algo zigomorfas, de siete a ocho cm de largo, de color carmesí; segmentos exteriores del perianto angostos, más o menos reflexos; segmentos interiores del perianto purpúreos, más anchos y ligeramente extendidos. Fruto globoso, pequeño, de 10 a 12 mm de diámetro, rojo, con cerdas; pulpa amarillenta, (Bravo, 1978).

Bravo (1978) reporta que *A. flagelliformis* ha sido cultivada en México desde la época precolombina y solo se le conoce en cultivo; aún cuando existen reportes de haberse encontrado silvestre. Según Bravo (1978), Mac Dougall encontró en Puerto Salado, Oax. a 2000 m de altitud plantas que pudieran identificarse con esta especie. Bravo (1978) menciona que Moran la colectó en las cercanías de El Salto, 2.5 km al N de una ranchería llamada Durango, Municipio de Zimapán, Hgo. en el km 244 de la carretera México-Jacala. En la actualidad, se cultiva intensamente en todos los países tropicales de América, especialmente en México. Florece con profusión de abril a mayo, se cultiva de manera que los tallos crezcan colgando. Existen algunos híbridos interespecíficos o logrados por

cruzamiento con otros géneros. Esta planta se emplea en medicina popular, las flores en infusión se usan para afecciones cardíacas y el jugo de los tallos se administra como vermífugo, aunque parece que es muy irritante (Bravo, 1978).

## IV. OBJETIVOS

- Describir la anatomía del tallo de *Aporocactus flagelliformis* (Linné) Lemaire.
- Comparar la variabilidad anatómica entre plantas de *A. flagelliformis* de hábitos epilítico y epífita.
- Contribuir al conocimiento de la anatomía de las cactáceas mexicanas.



## V. MATERIAL Y METODOLOGÍA

El presente estudio requirió de trabajo de gabinete, campo y laboratorio.

### A) TRABAJO DE GABINETE.

Se realizaron dos revisiones, una bibliográfica y otra en el Herbario Nacional de México (MEXU), con el objetivo de recopilar información sobre su distribución geográfica en México y conocer físicamente las características morfológicas de la especie. Con los datos de las localidades reportadas se elaboró un mapa de distribución geográfica a partir del cual se seleccionaron las localidades de colecta en el estado de Hidalgo.

### B) TRABAJO DE CAMPO.

Se colectó material vegetativo en dos localidades del estado de Hidalgo, en ambas el tipo de vegetación es bosque a una altitud de 2 200 msnm; cabe mencionar que se realizó una intensa búsqueda y sólo se encontraron tres plantas en una localidad de hábito epilítico y una en la otra de hábito epífita, por lo que se colectaron únicamente cuatro tallos de cada individuo (Cuadro 1). Es importante señalar que dichas localidades se encuentran ampliamente perturbadas por la expansión de asentamientos humanos, actividades agrícolas y ganaderas. Las poblaciones de *A. flagelliformis* han desaparecido de algunas localidades y han disminuido de manera alarmante en otras.

**Cuadro 1. - Material vegetativo de *Aporocactus flagelliformis*, colectado en el estado de Hidalgo.**

| No. DE COLECTA                         | LONGITUD DEL TALLO (cm) | LOCALIDAD                     | TIPO DE VEGETACIÓN  | ALTITUD (msnm) | HÁBITO    |
|--|-------------------------|-------------------------------|---|----------------|-----------|
| S. A. 1216<br>S. A. 1217<br>S. A. 1220 | 37<br>53<br>72          | EL SALTO,<br>CERCA DE DURANGO | BOSQUE DE<br><i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>                | 2 200          | EPILÍTICO |
| S. A. 1221                             | 84                      | CERCA DE<br>ZOQUIZOQUIAPAN    | BOSQUE DE <i>Pinus</i> ,<br><i>Quercus</i> y <i>Alnus</i> | 2 200          | EPÍFITO   |

### **C) TRABAJO DE LABORATORIO.**

El material vegetativo se lavó al chorro de agua y se destinó de la siguiente manera:

- Para el estudio anatómico se escogió un tallo maduro, siguiendo las recomendaciones de Dickison (1975). Los tallos maduros permiten la comparación de caracteres anatómicos.
- Dos tallos para su cultivo en un invernadero del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la U.N.A.M.
- Un tallo para la elaboración de ejemplares de herbario, los cuales se depositaron en el Herbario Nacional de México (MEXU).

El material vegetativo seleccionado para el estudio anatómico se procesó para obtener preparaciones permanentes y semipermanentes de la siguiente manera:

- Para la obtención de secciones transversales y longitudinales se tomaron muestras del tallo de las regiones apical, media y basal (preparaciones permanentes) (Fig. 1).
- Para la obtención de epidermis, se tomaron muestras de cutícula de la región media del tallo (preparaciones semipermanentes).
- Para la obtención de disociados, se tomaron muestras de tejido vascular de la región basal del tallo (preparaciones semipermanentes).

El material obtenido se procesó como se indica a continuación:

➤ Para la obtención de preparaciones permanentes de muestras en secciones transversal y longitudinal de las regiones apical, media y basal del tallo de *A. flagelliformis*, los pasos fueron los siguientes:

- **Obtención de muestras.**- Con pinzas de disección se retiraron las espinas del tallo y se tomaron dos muestras de cada una de las regiones apical, media y basal, de uno a dos cm de longitud cada una, tanto para la obtención de secciones transversales como para la obtención de secciones longitudinales.
- **Fijación.**- Todas las muestras se colocaron en frascos etiquetados con su número de colecta correspondiente y se fijaron con solución Navashin durante 24 h (Johansen, 1940).

#### **Solución de Navashin:**

##### **Solución A**

Trióxido de cromo ..... 1 g  
Ácido acético glacial .... 7 ml  
Agua destilada ..... 92 ml

##### **Solución B**

Formol comercial ... 30 ml  
Agua destilada ..... 70 ml

Las soluciones "A" y "B" deben mezclarse por partes iguales, justo en el momento de colocar las muestras.

- **Lavado.**- Se efectuaron tres lavados con alcohol etílico al 70 % durante 15 min cada uno (Curtis, 1986).
- **Ablandamiento.**- Las muestras de las regiones basales se colocaron en una solución de glicerina-alcohol-agua 1:1:1 (GAA) durante tres meses para ablandar y suavizar

el tejido vascular (T. Terrazas, inf. pers.).

- **Deshidratación.**- De acuerdo con Johansen (1940) las muestras se deshidrataron colocándolas durante 24 h de manera sucesiva en mezclas graduales de agua destilada-alcohol etílico (ETOH)-alcohol ter-butílico (TBA) (Cuadro 2).

**Cuadro 2. - Mezclas graduales para la deshidratación de las muestras de los tallos de *Aporocactus flagelliformis* (Johansen, 1940).**

| TBA 100 %<br>(ml) | ETOH 100 %<br>(ml) | ETOH 95 %<br>(ml) | H <sub>2</sub> O<br>(ml) | [OH]<br>(%) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|-------------|
| 5                 | 0                  | 30                | 65                       | 35          |
| 10                | 0                  | 40                | 50                       | 50          |
| 20                | 0                  | 50                | 30                       | 70          |
| 35                | 0                  | 50                | 15                       | 85          |
| 55                | 0                  | 45                | 0                        | 100         |
| 75                | 25                 | 0                 | 0                        | 100         |
| 100               | 0                  | 0                 | 0                        | 100         |
| 100               | 0                  | 0                 | 0                        | 100         |
| 100               | 0                  | 0                 | 0                        | 100         |

- **Inclusión en parafina.**- En el último cambio de TBA puro, se fueron agregando escamas de parafina refinada para histología punto de fusión 58 °C – 60 °C, (Curtis, 1986), poco a poco para que la inclusión con parafina fuera gradual; cuando se consideró que el volumen de parafina era mayor que el de TBA, se destapó el frasco en períodos cortos de tiempo para evaporar el TBA, al mismo tiempo se siguió agregando parafina, cuando se evaporó por completo el TBA, el frasco se dejó destapado. En otro frasco se colocó parafina pura a fundir y con ésta se realizó un cambio de parafina pura.
- **Bloques de parafina.**- Para hacer los bloques, se construyeron pequeñas cajas de papel y se etiquetaron, en cada caja se colocó una muestra cuidando su posición y dirección para facilitar el trabajo en el momento de hacer los cortes, se llenó con parafina previamente fundida y se dejaron enfriar.
- **Cortes.**- Los bloques de parafina se colocaron en un micrótopo de rotación 820

American Optical y se realizaron cortes transversales y longitudinales del tallo, de 15 a 20  $\mu\text{m}$  de grosor para las secciones de la región apical, de 20 a 23  $\mu\text{m}$  de grosor para las secciones de la región media y de 25 a 33  $\mu\text{m}$  de grosor para las secciones de la región basal (Sass, 1958). En un cristalizador se adaptó un baño de flotación con agua y grenetina espolvoreada, esto se colocó en una parrilla de calentamiento Sybron Thermolyne modelo HP-A1915B a 60 °C, cuando la grenetina se fundió se colocaron los listones de parafina con los cortes y de ahí se tomaron con portaobjetos. Estas muestras se dejaron secar durante 24 h para que los cortes se adhirieran a los portaobjetos. Por otro lado, cabe mencionar que para las secciones transversales de la región basal del tallo también se realizaron cortes a mano, debido a que con el micrótopo de rotación se destruía de manera constante la zona del floema; esto, posiblemente debido al paso de la cuchilla por un tejido blando (floema) ubicado entre dos tejidos duros (paquete de fibras extrafloemáticas y xilema).

- **Desparafinación y rehidratación.**- Las preparaciones se colocaron en una canastilla y se inició la desparafinación (Johansen, 1940) de la siguiente manera: La canastilla se sumergió en una caja Coplin con xilol puro durante 40 min, después se pasó a una mezcla de xilol-ETOH 1:1 por 40 min. Para continuar con el proceso de rehidratación, las preparaciones se pasaron por alcoholes graduales (ETOH absoluto, 95, 70, 50 y 30 %) durante diez min en cada uno.
- **Tinción.**- De acuerdo a Sass (1958), se tiñó con la técnica dicrómica safranina-verde rápido. Una vez rehidratadas las muestras se mantuvieron en safranina durante 24 h, se sacaron, se enjuagaron y se dejaron secar durante 24 h, con este último paso y después de varios ensayos, se comprobó que la tinción es más fija en los tejidos y se obtiene una tonalidad con mayor contraste; enseguida, las muestras se deshidrataron pasándolas por alcoholes graduales (50, 70, 95 % y ETOH absoluto.) dos min en cada uno; con un gotero se agregó verde rápido dejándolo cinco min. Se aplicaron tres lavados con ETOH absoluto, cada uno de dos a tres min (Sass, 1958). Las muestras se aclararon colocando unas gotas de aceite de clavo sobre ellas

durante ocho min (Johansen, 1940). Se lavó tres veces con xilol, de dos a tres min cada lavado (Sass, 1958).

- **Montaje.-** Las preparaciones se montaron con resina sintética (Sass, 1958) y se secaron en una estufa a 60 °C (E. Sandoval, inf. pers.); las preparaciones hechas con secciones cortadas en el micrótopo, durante tres o cuatro semanas y las realizadas con secciones cortadas a mano, durante cinco a siete semanas.
- Para la obtención de preparaciones semipermanentes de epidermis se llevó a cabo el siguiente procedimiento:
- **Obtención de muestras.-** Se tomaron muestras de la región media del tallo de un cm, se practicó un corte longitudinal y se retiró lo más que se pudo de tejido interno con navaja de un solo filo. Las muestras con la epidermis se colocaron en un frasco con KOH al 10 % durante 24 h. Después de este tiempo, se limpió la cutícula con ayuda de una espátula, se raspó y se eliminó el mesófilo de la cutícula y enseguida se colocaron en cloro comercial al 10 % durante 24 h; después, bajo un microscopio estereoscópico Stereo Star Zoom Reichert se repitió el raspado con espátula y un pincel, eliminando los restos epidérmicos y del mesófilo de la cutícula.
  - **Montaje.-** Las muestras de cutícula se montaron con gelatina glicerinada. Cabe mencionar que algunas muestras de epidermis se tiñeron con safranina, pero después de deshidratarlas, presentaron problemas para poder montarlas ya que se enrollaban y endurecían, haciéndose muy quebradizas. Debido a esto, se decidió por la opción de no teñir y montar las preparaciones con gelatina glicerinada de manera semipermanente.
- Para la obtención de preparaciones semipermanentes de muestras de tejido vascular disociado de la región basal del tallo de *A. flagelliformis*, se realizó lo siguiente:

- **Obtención de muestras.**- Se tomaron muestras de la región basal del tallo de 1 cm de longitud, se separó todo el tejido con ayuda de una navaja dejando solamente el tejido vascular; bajo el microscopio estereoscópico, con pinzas y agujas de disección se separó el floema del xilema.
- **Disociación del Tejido.**- Se colocaron fragmentos de xilema sobre portaobjetos, a cada uno se le agregaron unas gotas de solución Jeffrey (Johansen, 1940) durante 30 min, posterior a esto, se aplicaron cinco enjuagues con agua destilada; con agujas de disección se disoció el tejido.
- **Montaje.**- Se agregaron unas gotas de gelatina glicerizada y con una aguja de disección se mezcló el tejido disociado y se colocó el cubreobjetos.

Con ayuda de una navaja, pincel, gasas y alcohol (95 %) se limpiaron todas las preparaciones permanentes y semipermanentes. Por último, se etiquetaron.

Todas las preparaciones obtenidas fueron depositadas en el Laboratorio de Apoyo a la Investigación del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### **D) METODOLOGÍA DESCRIPTIVA.**

Para la descripción anatómica del tallo de *Aporocactus flagelliformis* se analizaron los tejidos dérmico, fundamental y vascular de las regiones apical, media y basal; dicha descripción se presenta de cutícula a médula. El análisis de los caracteres cualitativos y cuantitativos se realizó de acuerdo a los siguientes criterios: la epidermis según Willmer (1983) y el xilema secundario, de acuerdo a IAWA (1989). Los caracteres cualitativos y cuantitativos considerados fueron los siguientes:

1. **Caracteres cualitativos:** La observación de estos caracteres se realizó en un fotomicroscopio ZEISS previamente calibrado.

- **Cutícula.-** Presencia y textura.
- **Epidermis.-** Grosor de pared, forma de las células y contenidos celulares, presencia de relieve, posición del eje longitudinal.
- **Complejo estomático.-** Se menciona la composición del complejo estomático, forma de las células que lo conforman, y distribución de estomas, contenidos celulares, nivel respecto a las demás células epidérmicas y ubicación de las cámaras estomáticas.
- **Peridermis.-** Localización del desarrollo de este tejido, tipos celulares que la conforman, forma de los diferentes tipos celulares, tipo de pared.
- **Hipodermis.-** Forma de las células, tipo de pared, contenidos celulares y tipo de tejido que conforma a la hipodermis.
- **Córtex.-** Se describieron las zonas de los valles y las crestas de las costillas del tallo, tipo de tejido que lo conforma, forma de células, contenidos celulares, tipo de pared, forma y tipo de cristales presentes.
- **Haces vasculares corticales.-** Tipo de haz vascular, tejidos que los constituyen, ubicación y arreglo. Floema.- Elementos floemáticos que constituyen al floema y la organización de éstos, la forma de las células. Xilema.- Tipo y organización de elementos xilemáticos, forma de las células, tipo de engrosamiento de la pared secundaria y tipo e inclinación de la placa de perforación de los elementos de vaso.



- **Cilindro vascular.-** Tipo de haces vasculares que conforman al cilindro vascular; tejidos presentes, así como los elementos celulares que los conforman, su forma; presencia de contenido celular; tipos de engrosamientos que presentan los elementos de vaso, tipo de placa de perforación y su inclinación; tipo y arreglo de las fibras, y tipo de porosidad. Presencia, ubicación y tipo de radios.
- **Médula.-** Tipo de células que la conforman, su forma y presencia de contenidos celulares.

2. **Caracteres cuantitativos.** Las mediciones de los caracteres cuantitativos fueron tomados con un ocular micrométrico insertado en el fotomicroscopio ZEISS, previamente calibrado. A partir de la observación de las preparaciones realizadas, se consideraron los siguientes caracteres:

- **Cutícula.-** Grosor.
- **Epidermis.-** En corte transversal, el número de estratos celulares; la longitud y el ancho de las células. En preparaciones semipermanentes de epidermis, el grosor de las paredes anticlinales.
- **Complejo estomático.-** Número de células oclusivas y adyacentes a las oclusivas; longitud y ancho de los estomas; índice estomático, se empleó el de Salisbury (1928, citado por Willmer, 1983), menciona que el índice estomático relaciona la cantidad de estomas por unidad de área con el número de células epidérmicas por unidad de área.

$$I.e. = \frac{\text{Número de estomas}}{\text{No. De estomas} + \text{No. De células epidérmicas}} \times 100$$

- **Peridermis.**- En el felema, el número de capas y el número de estratos que las conforman.
- **Hipodermis.**- Grosor y número de estratos.
- **Córtex.**- Espesor en las zonas de los valles y las crestas; diámetro de los cristales.
- **Haces vasculares corticales.**- Número de vasos; la longitud de los elementos de vaso, su diámetro tangencial y el grosor de sus paredes.
- **Cilindro vascular.**- Para el crecimiento primario número de haces vasculares; número de vasos en cada haz vascular en las regiones apical y media, para el crecimiento secundario, en la región basal se calculó la densidad de vasos por  $\text{mm}^2$ , el diámetro tangencial y la longitud tanto para los elementos de vaso como para las fibras del xilema.
- **Médula.**- Diámetro.

## **E) ANÁLISIS DE LOS CARACTERES CUANTITATIVOS.**

De acuerdo al número de mediciones que fue posible recabar, los caracteres cuantitativos se organizaron en cuatro grupos y cada uno de ellos se procesaron de la siguiente manera:

1. **Primer grupo de caracteres anatómicos cuantitativos para los cuales fue posible tomar 25 mediciones o conteos en cada uno de los ejemplares.** Para 16 caracteres anatómicos fue posible hacer 25 mediciones o conteos por muestra (Cuadro 3), para cada uno de ellos se obtuvieron algunos parámetros de estadística básica descriptiva y estadística inferencial; para la primera se calculó la media,

desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo), también se calculó el porcentaje de la desviación estándar respecto a la media de cada uno de estos caracteres (Cuadro 4); para la segunda se hizo un análisis de varianza estableciendo un nivel de confianza del 95 % y un  $\alpha$  de 0.05, la prueba aplicada fue de la mínima diferencia significativa (LSD); se aplicó una prueba de rango múltiple para conocer si existían grupos homogéneos y cuales son los números de colecta significativamente diferentes para cada uno de los 16 caracteres cuantitativos (Cuadro 7). Se realizó un análisis de correlación para conocer si hay asociación entre las variables estudiadas. Independientemente del sentido de la correlación, se reportan los caracteres que presentaron un valor de coeficiente de asociación mayor a 0.40; se ordenaron de mayor a menor tomando en cuenta el número de asociaciones y el valor del coeficiente de correlación que presenta cada carácter, se mencionan los caracteres con los que se encuentra asociado cada carácter, por último se indica el valor del coeficiente de correlación para cada asociación (Cuadro 8). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa Statgraphics, versión 0.5.

**Cuadro 3. Caracteres anatómicos cuantitativos para los cuales se hicieron 25 mediciones o conteos por muestra.**

| No. | CARÁCTER                                     | No. | CARÁCTER   |
|-----|--|-----|--|
| 1   | GROSOR DE LA CUTÍCULA ( $\mu\text{m}$ )      | 9   | DENSIDAD DE VASOS ( $\text{mm}^2$ )              |
| 2   | LONG. DE CÉLS. EPIDÉRMICAS ( $\mu\text{m}$ ) | 10  | LONG. DE ELEMENTOS DE VASO ( $\mu\text{m}$ )     |
| 3   | ANCHO DE CÉLS. EPIDÉRMICAS ( $\mu\text{m}$ ) | 11  | DIÁMETRO TANGENCIAL DE VASOS ( $\mu\text{m}$ )   |
| 4   | LONGITUD DE ESTOMAS ( $\mu\text{m}$ )        | 12  | LONG. DE FIBRAS XILEMÁTICAS ( $\mu\text{m}$ )    |
| 5   | ANCHO DE ESTOMAS ( $\mu\text{m}$ )           | 13  | DIÁM. TANG. FIBRAS XILEMÁTICAS ( $\mu\text{m}$ ) |
| 6   | NO. CÉLS. ADYACENTES A LAS OCLUSIVAS         | 14  | DIÁMETRO DE MÉDULA APICAL ( $\mu\text{m}$ )      |
| 7   | ÍNDICE ESTOMÁTICO                            | 15  | DIÁMETRO DE MÉDULA MEDIA ( $\mu\text{m}$ )       |
| 8   | GROSOR DE LA HIPODERMIS ( $\mu\text{m}$ )    | 16  | DIÁMETRO DE MÉDULA BASAL ( $\mu\text{m}$ )       |

**2. Segundo grupo de caracteres anatómicos cuantitativos para los cuales se tomaron 8 o más mediciones o conteos.** Para el segundo grupo de caracteres anatómicos cuantitativos se obtuvo estadística básica descriptiva por individuos que comprendió media  $\pm$  una desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo) (Cuadro 5). Los caracteres ubicados en este grupo son:

- 1) Espesor del córtex ( $\mu\text{m}$ ), en las zonas cresta y valle de cada una de las tres regiones del tallo (apical, media y basal) estudiadas.
- 2) Número de haces vasculares del cilindro vascular en las regiones apical, media y basal del tallo.
- 3) Número de vasos por haz vascular del cilindro vascular en las regiones apical y media del tallo.

**3. Tercer grupo de caracteres anatómicos cuantitativos para los cuales se tomaron de 5 a 7 mediciones o conteos.** Para el tercer grupo de caracteres anatómicos cuantitativos sólo se reporta el intervalo (Cuadro 6). A continuación se enlistan dichos caracteres:

- 1) Número de elementos xilemáticos en los haces vasculares corticales, para las regiones apical, media y basal del tallo.
- 2) Diámetro tangencial de traqueidas ( $\mu\text{m}$ ) en los haces vasculares corticales, para las regiones apical media y basal del tallo.
- 3) Longitud de elementos traqueales ( $\mu\text{m}$ ) en los haces vasculares corticales de las regiones apical, media y basal del tallo.

## VI. RESULTADOS

### A) DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DEL TALLO DE *Aporocactus flagelliformis* Y ESTADÍSTICA BÁSICA DESCRIPTIVA.

La descripción anatómica se presenta de cutícula a médula, incluye la caracterización de los tejidos dérmico, fundamental y vascular del tallo. Para dicha descripción se consideraron caracteres cualitativos y cuantitativos. Los valores obtenidos a partir de la estadística básica descriptiva de los caracteres cuantitativos para los que se tomaron 25 mediciones se presentan en el cuadro 4. En el cuadro 5 los valores de los caracteres cuantitativos, para los cuales se tomaron más de ocho mediciones; y en el cuadro 6 los valores de los caracteres cuantitativos para los cuales se tomaron siete o menos mediciones. Para los caracteres que se tomaron menos de seis mediciones se reporta únicamente su media en la descripción.

**Cuadro 4.- Valores de media,  $\pm$  una desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo) y porcentaje de la desviación estándar respecto a la media (%), de los caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de *Aporocactus flagelliformis*.**

| CARÁCTER   | VALORES                        | (%) |
|--|--------------------------------|-----|
| GROSOR DE CUTÍCULA ( $\mu\text{m}$ )                     | 5 $\pm$ 1.5 (2.5 - 7.5)        | 30  |
| LONGITUD DE CÉLULAS EPIDÉRMICAS ( $\mu\text{m}$ )        | 67 $\pm$ 10 (47.5 - 92.5)      | 16  |
| ANCHO DE CÉLULAS EPIDÉRMICAS ( $\mu\text{m}$ )           | 22 $\pm$ 4 (15 - 35)           | 19  |
| LONGITUD DE ESTOMAS ( $\mu\text{m}$ )                    | 47 $\pm$ 6 (30 - 65)           | 12  |
| ANCHO DE ESTOMAS ( $\mu\text{m}$ )                       | 37 $\pm$ 8 (17.5 - 55)         | 21  |
| NÚMERO DE CÉLULAS ADYACENTES                             | 2 $\pm$ 0.4 (2-3)              | 20  |
| ÍNDICE ESTOMÁTICO  | 3 $\pm$ 1 (1.2 - 4.8)          | 27  |
| GROSOR DE HIPODERMIS ( $\mu\text{m}$ )                   | 60 $\pm$ 12 (35 - 90)          | 19  |
| DENSIDAD DE VASOS (/mm <sup>2</sup> )                    | 575 $\pm$ 336 (181.8 - 1571.4) | 59  |
| LONGITUD DE ELEMENTOS DE VASO ( $\mu\text{m}$ )          | 199 $\pm$ 30.8 (140 - 285)     | 16  |
| DIÁMETRO TANGENCIAL DE VASOS ( $\mu\text{m}$ )           | 22 $\pm$ 3.5 (15 - 32.5)       | 16  |
| LONGITUD DE FIBRAS XILEMÁTICAS ( $\mu\text{m}$ )         | 334 $\pm$ 72.6 (190 - 510)     | 22  |
| DIÁM. TANGENCIAL DE FIBRAS XILEMÁTICAS ( $\mu\text{m}$ ) | 15 $\pm$ 2 (10 - 25)           | 15  |
| DIÁMETRO DE MÉDULA APICAL ( $\mu\text{m}$ )              | 595 $\pm$ 88 (480 - 800)       | 15  |
| DIÁMETRO DE MÉDULA MEDIA ( $\mu\text{m}$ )               | 675 $\pm$ 58.9 (500 - 830)     | 9   |
| DIÁMETRO DE MÉDULA BASAL ( $\mu\text{m}$ )               | 692 $\pm$ 135.9 (330 - 850)    | 20  |

**Cutícula.-** La cutícula es lisa, su depositación inicia en la protodermis, a nivel apical y se continúa hasta las regiones verdes cercanas a la base del tallo. En la región media del tallo la cutícula tiene un grosor de  $5 \pm 1.5 \mu\text{m}$  (Fig. 2) (Cuadro 4).

**Epidermis.-** La epidermis está presente en todas las regiones verdes del tallo; es monoestratificada; las células son de forma cuadrada a rectangular con los bordes curvos tanto en vista longitudinal como en vista transversal, las paredes son delgadas. En la región del ápice, por debajo del meristemo apical, las células epidérmicas se encuentran en etapa de diferenciación. En la región media, en vista superficial, las células epidérmicas son de forma irregular, de paredes anticlinales lineales a curvadas, delgadas con un grosor de tres a cuatro  $\mu\text{m}$  (Fig. 3). En vista transversal se observa relieve casi imperceptible, excepto en el individuo SA1221 en donde es muy evidente; las células epidérmicas tienen forma rectangular con bordes algo curvos, su eje longitudinal está en posición tangencial, de  $67 \pm 11 \mu\text{m}$  de longitud y  $22 \pm 4 \mu\text{m}$  de ancho. En los valles del individuo SA1221 la mayoría son cuadradas y en forma de domo, algunas son rectangulares (Fig. 2) (Cuadro 4).

**Complejo estomático.-** En la región media del tallo, el complejo estomático, en vista superficial se compone por dos células oclusivas de forma arriñonada y de dos a tres  $\pm 0.4$  células adyacentes de morfología diferente a las restantes células epidérmicas y en contacto directo a las oclusivas (Cuadro 4). Los estomas se encuentran distribuidos de manera aleatoria, son de  $47 \pm 6 \mu\text{m}$  de longitud y  $37 \pm 8 \mu\text{m}$  de ancho (Cuadro 4). El índice estomático es de  $3 \pm 1$  (Cuadro 4). Cada célula oclusiva presenta organelos celulares evidentes, su pared ventral es engrosada y delimita al poro estomático. Cabe señalar que independientemente de que estén o no en contacto con las células oclusivas, en todos los individuos se observan de dos a cinco células de morfología diferente a las restantes células epidérmicas (Fig. 3). En vista transversal, la mayoría de las células oclusivas están al mismo nivel que las células epidérmicas adyacentes; en algunos estomas de los cuatro individuos, las células oclusivas se observan un poco emergentes, los estomas presentan un reborde cuticular externo. Las células oclusivas con paredes dorsal y tangencial externa engrosadas. Las cámaras subestomáticas son conspicuas, ocupan hasta el segundo o tercer estrato del córtex (Fig. 2). En la región basal del tallo, la peridermis reemplaza a la

epidermis.

**Peridermis.**- La peridermis se desarrolla principalmente en la región basal. El felema presenta de dos a cuatro capas con dos tipos celulares, cada banda está compuesta por cuatro o cinco estratos de células tangencialmente colapsadas, con paredes suberizadas y un estrato de esclereidas de forma cuadrada a rectangular, las paredes externas y radiales son gruesas y lignificadas, dichas células tienen forma de "U" invertida. El felógeno y la felodermis no se observaron (Fig. 4).

**Hipodermis.**- En la región media, la hipodermis tiene un grosor de  $60 \pm 12 \mu\text{m}$  (Cuadro 4) y se compone de dos estratos celulares, ocasionalmente uno o tres, interrumpidos por las cámaras subestomáticas. Las células hipodérmicas tienen forma rectangular (en el individuo 1221, algunas células son más alargadas), de paredes primarias engrosadas formando una banda periférica colenquimatosa de tipo laminar (Fig. 2).

**Córtex.**- En la región apical, en vista transversal, en la zona de los valles de las costillas, el córtex tiene un espesor de  $1951 \pm 425 \mu\text{m}$ , en la zona de las crestas, el espesor es de  $2233 \pm 461 \mu\text{m}$  (Cuadro 5). En vista longitudinal, a nivel de la región meristemática, el córtex está constituido por un tejido fundamental compacto no diferenciado, todas las células son isodiamétricas, sin embargo, por debajo de esta región, donde ya se encuentran elementos vasculares en proceso de diferenciación se observan dos tipos de células en el córtex, las periféricas (clorénquima) y las centrales (tejido de reserva); las células periféricas son rectangulares y con bordes curvos, perpendiculares al eje longitudinal del tallo, las centrales son isodiamétricas. En todo el córtex se observan cloroplastos, más abundantes y conspicuos en las regiones periféricas a nivel de las crestas; se encuentran abundantes células mucilaginosas de tamaño variable y en general el mucilago no está cristalizado.

En el nivel medio del tallo, en vista transversal, en la zona del valle de las costillas, el córtex tiene un espesor de  $2764 \pm 448 \mu\text{m}$ ; en la zona de la cresta tiene  $3346 \pm 559 \mu\text{m}$  de espesor (Cuadro 5). A este nivel, el córtex se mantiene como un tejido fundamental

compacto, heterogéneo, constituido por dos regiones diferenciadas entre sí, el límite entre la región periférica y la región central del córtex es gradual, la forma de las células es similar para ambas regiones, el primer tercio externo constituido por clorénquima y los dos tercios internos por parénquima de reserva. El clorénquima está compuesto por células parenquimáticas de paredes delgadas, de forma rectangular con los bordes curvos y orientación radial, algunas células contienen pequeños pero abundantes cloroplastos, en su mayoría ubicados en la periferia de cada célula. Parénquima de reserva con células de forma isodiamétrica de paredes delgadas, la mayoría son turgentes y de contornos lineales, algunas ligeramente colapsadas y de contornos sinuosos, se observa abundante mucílago depositado en células individuales, en pocas células el mucílago está cristalizado (Fig. 5), Algunas células cercanas al cilindro vascular contienen gránulos de almidón

En la región basal del tallo, en la zona de los valles de las costillas, el córtex tiene un espesor de  $2453 \pm 808 \mu\text{m}$ ; en la zona de las crestas, el espesor es de  $2888 \pm 827 \mu\text{m}$  (Cuadro 5). A este nivel, las células del córtex están totalmente diferenciadas, algunas células de la periferia conservan su forma rectangular con un arreglo radial, la mayoría son de forma isodiamétrica. A este nivel, en el parénquima de reserva se observaron abundantes gránulos de almidón y abundantes células con mucílago cristalizado (Fig. 6).

En el córtex de todo el tallo se presentan cristales de oxalato de calcio, generalmente de dos formas, unos de forma esferoidal con estructuras concéntricas radialmente estriadas, con un diámetro de 18 a 50  $\mu\text{m}$  y otros en forma de drusas lobuladas de 17 a 50  $\mu\text{m}$  de diámetro; de manera esporádica se presentan drusas de forma típica de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  de diámetro, (Fig. 7).

**Haces vasculares corticales.**- Los haces vasculares corticales son de tipo colateral. En la región apical, en vista transversal son individuales o pueden formar grupos de tres a cinco haces. El floema está constituido por elementos cribosos, células acompañantes angulares y células parenquimáticas mayores al resto de los elementos floemáticos. El xilema tiene de dos a 31 elementos traqueales, su diámetro tangencial varía de 8 a 15  $\mu\text{m}$  (Cuadro 6) y el grosor de la pared es de 2.5  $\mu\text{m}$ ; los elementos traqueales en los haces vasculares corticales



más grandes se encuentran organizados en hileras radiales. En vista longitudinal radial, los elementos traqueales fluctúan de 55 a 90  $\mu\text{m}$  de longitud (Cuadro 6); los elementos traqueales tienen engrosamientos de la pared secundaria helicoidales, los elementos traqueales cercanos a las aréolas son más cortos y más anchos que los descritos anteriormente, sus paredes terminales son ahusadas y se traslapan con los elementos contiguos.

En la región media, en vista transversal los haces vasculares corticales presentan floema con los mismos elementos. El xilema tiene de cuatro a 34 elementos traqueales, su diámetro tangencial es de 10 a 20  $\mu\text{m}$ , la pared celular tiene 2.5  $\mu\text{m}$  de grosor. En vista longitudinal, los elementos traqueales miden de 83 a 125  $\mu\text{m}$  de longitud (Cuadro 6).

En la región basal, los haces vasculares corticales ocasionalmente se presentan en grupos de hasta tres haces; tanto en vista transversal como en vista longitudinal mantienen el arreglo, constitución y la organización observada en las regiones apical y media. En el floema, los primeros elementos formados se observan colapsados debido a la acumulación sucesiva de elementos floemáticos, originados a partir del crecimiento secundario. Los elementos traqueales llegan a presentarse en hileras hasta de cinco células. El número de elementos traqueales varía de tres a 43; los elementos traqueales son de ocho a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro, con un grosor de la pared de hasta tres  $\mu\text{m}$ ; la longitud de los elementos traqueales varía de 85 a 123  $\mu\text{m}$  (Fig. 8) (Cuadro 6).

**Cuadro 5.- Valores de media,  $\pm$  una desviación estándar e intervalo, del segundo grupo de caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de *Aporocactus flagelliformis*.**

| CARÁCTER                      |                          | REGIÓN DEL TALLO           |                            |                            |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                               |                          | APICAL                     | MEDIA                      | BASAL                      |
| ESPESOR DEL CÓRTEX            | VALLE ( $\mu\text{m}$ )  | 1951 $\pm$ 425 (1269-2641) | 2764 $\pm$ 448 (2000-3731) | 2453 $\pm$ 808 (1423-3923) |
|                               | CRESTA ( $\mu\text{m}$ ) | 2233 $\pm$ 461 (1462-3269) | 3346 $\pm$ 559 (2615-4269) | 2888 $\pm$ 827 (1692-4346) |
| NO. DE HACES VASCULARES       |                          | 15 $\pm$ 2 (13-19)         | 10 $\pm$ 1 (9-13)          | 9 $\pm$ 0.4 (9-10)         |
| NO. DE VASOS POR HAZ VASCULAR |                          | 5 $\pm$ 2 (2-12)           | 22 $\pm$ 10 (9-46)         | -----                      |

**Cuadro 6.- Valores del intervalo (valores mínimo y máximo) del tercer grupo de caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de *Aporocactus flagelliformis*.**

| CARÁCTER                          |                                      | REGIÓN DEL TALLO |        |        |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------|--------|
|                                   |                                      | APICAL           | MEDIA  | BASAL  |
| HACES<br>VASCULARES<br>CORTICALES | NO. DE ELEMENTOS TRAQUEALES          | 2-31             | 4-34   | 3-43   |
|                                   | DIÁM. TANG. DE ELEM. TRAQUEALES (µm) | 8-15             | 10-20  | 8-15   |
|                                   | LONG. DE ELEMENTOS TRAQUEALES (µm)   | 55-90            | 83-125 | 85-123 |

**Cilindro vascular.-** El cilindro vascular con crecimiento primario está formado por haces vasculares de tipo colateral.

En la región apical, el cilindro vascular está compuesto por  $15 \pm 2$  haces vasculares. Cuadro 5); el tejido vascular presente es primario. Dichos haces están constituidos por floema y xilema. El floema se compone por elementos de tubo criboso, células acompañantes y parénquima. En vista transversal, los elementos de tubo criboso son de forma angular y poligonal. Las células acompañantes son de forma triangular. Las células de parénquima tienen forma irregular. En vista longitudinal, los elementos de tubo criboso son de forma rectangular alargada, la placa cribosa no se observó, dichos elementos contienen un denso contenido celular; las células acompañantes se observan largas y muy delgadas; las células del parénquima son de forma rectangular, similares en longitud a los elementos de tubo criboso, pero más anchas. El xilema está constituido por vasos y parénquima, en vista transversal, cada haz vascular tiene  $5 \pm 2$  vasos (Cuadro 5), las células parenquimáticas son de forma irregular. En vista longitudinal los elementos de vaso tienen pared secundaria con engrosamiento helicoidal, la placa de perforación es simple y su orientación tiene un ángulo de inclinación de  $45^\circ$ , las células del parénquima son alargadas, de forma rectangular.

En la región media, el cilindro vascular tiene  $10 \pm 1$  haces vasculares (Cuadro 5), en esta región ya se observa desarrollo de crecimiento secundario; los haces están constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema, xilema y cámbium vascular (Fig. 9). En vista transversal, el paquete de fibras extrafloemáticas está constituido por fibras de forma poligonal angular y paredes engrosadas; en vista longitudinal la mayoría de las fibras son de tipo libriforme, algunas son septadas y multinucleadas (los núcleos son de forma ahusada). En esta región, la pared de los septos es delgada; el arreglo de las fibras es

ligeramente estratificado; cabe mencionar que el paquete de fibras extrafloemáticas no se observó en la región media del tallo de los individuos SA 1216 y SA 1217. Entre el paquete de fibras extrafloemáticas y el floema, se observan algunos elementos floemáticos colapsados debido a las presiones originadas a partir del crecimiento secundario, el cual ya ha iniciado. El floema está constituido por elementos de tubo criboso, células acompañantes y parénquima; en vista transversal, los elementos de tubo criboso presentan una forma angular y poligonal, las células acompañantes son pequeñas y de forma triangular, las células del parénquima tienen pared delgada, son más grandes que los elementos de tubo criboso, su forma es irregular y con los bordes curvos; en vista longitudinal, los elementos de tubo criboso son de forma rectangular alargada, la placa cribosa es inconspicua, con una orientación transversal; las células acompañantes son alargadas y muy delgadas. Las células del parénquima son de tamaño similar a los elementos de tubo criboso pero más anchas y con los bordes curvos. El xilema está constituido por vasos, fibras y parénquima, en vista transversal se presentan  $22 \pm 10$  vasos por cada haz vascular (Cuadro 5), las fibras tienen paredes engrosadas, su forma es angular, las células del parénquima son de forma irregular. En vista longitudinal, los elementos de vaso tienen paredes engrosadas con punteaduras del tipo pseudoescalariforme, la placa de perforación es simple y presenta una inclinación de  $45^\circ$ ; las fibras son de tipo libriforme, septadas y multinucleadas, los núcleos son de forma ahusada; las células del parénquima son de paredes delgadas.

La región basal presenta  $9 \pm 0.44$  haces vasculares (Cuadro 5), el desarrollo del crecimiento secundario se ha incrementado de manera notable; sin embargo, se encuentran presentes elementos primarios. Los haces vasculares están constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema, xilema y cámbium vascular (Fig. 10). El paquete de fibras extrafloemáticas se ha incrementado en cuanto al número de elementos, en vista transversal, las fibras son de forma angular y poligonal (Fig. 11). En vista longitudinal el arreglo de las fibras es ligeramente estratificado; algunas de las fibras son septadas (Fig. 12). En esta región, la pared de los septos está engrosada. En vista transversal, entre el paquete de fibras extrafloemáticas y el floema, se encuentra una zona con elementos floemáticos colapsados, debido a las presiones ejercidas por el crecimiento secundario; sin embargo, entre el floema colapsado se encuentran células parenquimáticas que se

conservan en buen estado. El floema está conformado por elementos de tubo criboso, células acompañantes y parénquima. En vista transversal, los elementos de tubo criboso son angulosos y poligonales; las células acompañantes son pequeñas y de forma triangular; el parénquima está constituido por células de pared delgada, más grandes que los elementos de tubo criboso, de forma irregular y con los bordes curvos. En vista longitudinal, los elementos de tubo criboso son de forma rectangular alargada, la placa cribosa tiene una orientación transversal; las células acompañantes son alargadas y delgadas; las células del parénquima son de tamaño similar a los elementos de tubo criboso pero más anchas y con los bordes curvos. El xilema está constituido por vasos, fibras xilemáticas y parénquima. En vista transversal, la porosidad es de tipo semianular; la estacionalidad está bien marcada, en la madera temprana predominan vasos y parénquima axial, mientras que en la madera tardía predominan las fibras, la densidad de vasos es de  $575 \pm 336$  vasos/mm<sup>2</sup> (Cuadro 4), el diámetro tangencial de los vasos es de  $22 \pm 3.5$   $\mu$ m (Cuadro 4); las fibras son de forma poligonal y su diámetro tangencial es de  $15 \pm 2.2$ ; el parénquima está constituido por células de forma irregular, con paredes delgadas, son de mayor tamaño que el resto de los elementos xilemáticos (Fig. 13). En vista longitudinal, los elementos de vaso tienen una longitud de  $199 \pm 30.8$   $\mu$ m (Cuadro 4), las punteaduras intervasculares son del tipo pseudoescalariforme, las placas de perforación son simples y tienen un ángulo de inclinación de 45° (Fig. 14); las fibras son de tipo libriforme, septadas, nucleadas, con punteaduras simples, su arreglo es ligeramente estratificado, su longitud es de  $334 \pm 72.6$   $\mu$ m (Fig. 15) (Cuadro 4), las células del parénquima son de forma rectangular, alargadas y contienen granos de almidón.

**Radios.**- En la región fascicular no hay radios, mientras que en la región interfascicular sí se observaron, son heterogéneos, multiseriados (Fig. 11).

**Médula.**- En la región apical, el diámetro de la médula es de  $595 \pm 88$   $\mu$ m (Cuadro 4) y está constituida por células de parénquima de forma isodiamétrica de paredes delgadas y células mucilaginosas también isodiamétricas, mayores que el resto de las células parenquimáticas.

En la región media el diámetro de la médula es de  $675 \pm 58.9$   $\mu$ m (Cuadro 4), el tejido es

similar al de la región apical, pero se observan algunas células mucilaginosas con su contenido cristalizado.

En la región basal, el diámetro de la médula es de  $692 \pm 135.9 \mu\text{m}$  (Cuadro 4), en la mayoría de las células mucilaginosas, el contenido está cristalizado.

En la médula de todo el tallo se presentan cuerpos cristalinos idénticos a los observados en el córtex (Fig. 7).

## B) ESTADÍSTICA INFERENCIAL.

En el cuadro 7 se registraron los valores obtenidos del análisis de varianza y la prueba de rango múltiple; mientras que los resultados del análisis de correlación se encuentran en el cuadro 8.

**Cuadro 7.- Análisis de Varianza (nivel de confianza 95 % y  $\alpha$  de 0.05) y prueba de rango múltiple para 16 caracteres cuantitativos de *Aporocactus flagelliformis*.**

| CARÁCTER                                | NIVEL DE SIGNIFICANCIA | GRUPOS HOMOGÉNEOS |
|---|------------------------|-------------------|
| DIÁMETRO DE MÉDULA APICAL               | 0.0001                 | 4                 |
| GROSOR DE CUTÍCULA                      | 0.0001                 | 3                 |
| ANCHO DE CÉLULAS EPIDÉRMICAS            | 0.0001                 | 3                 |
| LONGITUD DE ESTOMAS                     | 0.0001                 | 3                 |
| GROSOR DE HIPODERMIS                    | 0.0001                 | 3                 |
| DENSIDAD DE VASOS                       | 0.0001                 | 3                 |
| DIÁMETRO DE MÉDULA BASAL                | 0.0001                 | 3                 |
| LONGITUD DE CÉLULAS EPIDÉRMICAS         | 0.0080                 | 2                 |
| ANCHO DE ESTOMAS                        | 0.0090                 | 2                 |
| LONGITUD DE ELEMENTOS DE VASO           | 0.0001                 | 2                 |
| DIÁMETRO TANGENCIAL DE VASOS            | 0.0300                 | 2                 |
| LONGITUD DE FIBRAS XILEMÁTICAS          | 0.0001                 | 2                 |
| DIÁMETRO TANG. DE FIBRAS XILEMÁTICAS    | 0.0003                 | 2                 |
| DIÁMETRO DE MÉDULA MEDIA                | 0.0003                 | 2                 |
| ÍNDICE ESTOMÁTICO                       | 0.0520                 | 1                 |
| NO. DE CÉLS. ADYACENTES A LAS OCLUSIVAS | 0.4900                 | 1                 |

**Cuadro 8.- Análisis de correlación (coeficiente de asociación mínimo de 0.40) entre 16 caracteres cuantitativos de *Aporocactus flagelliformis*.**

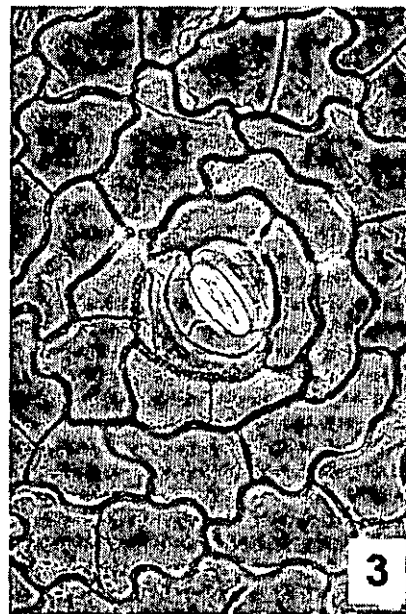
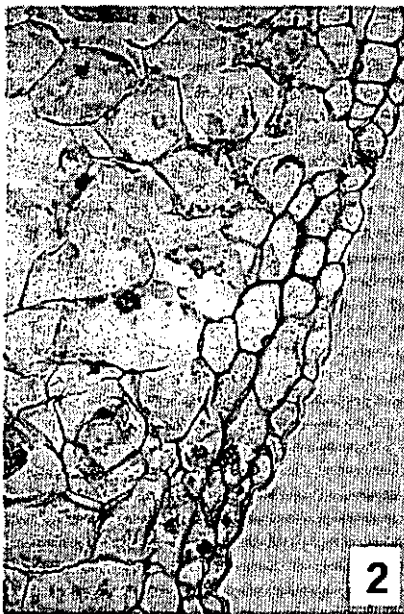
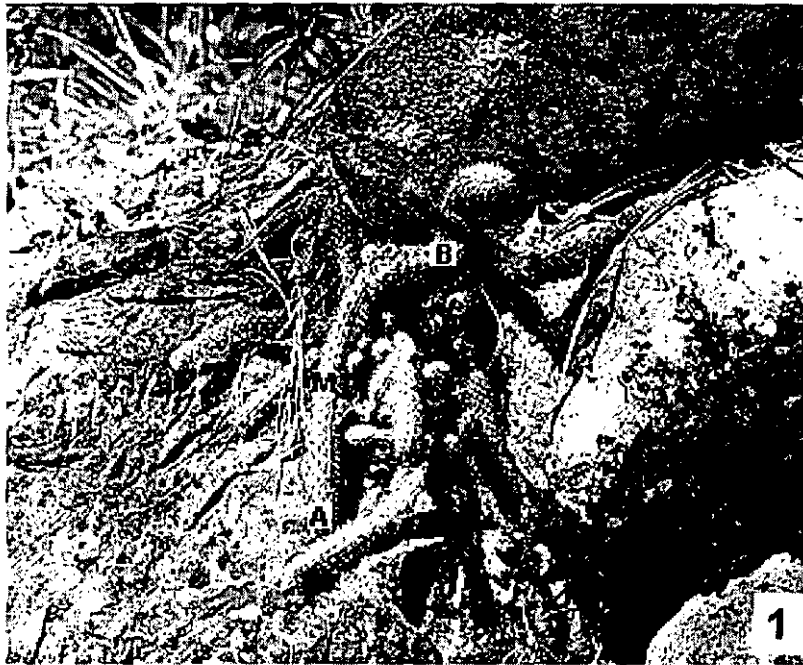
| CARÁCTER                     | NÚMERO DE CORRELACIONES | CARACTERES CORRELACIONADOS | COEFICIENTE DE CORRELACIÓN |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| GROSOR DE CUTÍCULA           | 3                       | DENSIDAD DE VASOS          | -0.6167                    |
|                              |                         | ANCHO CÉL. EPIDÉRMICAS     | -0.5372                    |
|                              |                         | GROSOR DE HIPODERMIS.      | -0.5082                    |
| ANCHO DE CÉLULAS EPIDÉRMICAS | 4                       | GROSOR DE HIPODERMIS       | 0.5344                     |
|                              |                         | DENSIDAD DE VASOS          | 0.5146                     |
|                              |                         | DIÁMETRO MÉDULA BASAL      | 0.4160                     |
| GROSOR DE HIPODERMIS         | 4                       | DENSIDAD DE VASOS.         | 0.5879                     |
|                              |                         | DIÁMETRO MÉDULA BASAL      | 0.4673                     |
| LONGITUD DE ESTOMAS          | 2                       | DIÁMETRO MÉDULA BASAL      | 0.5125                     |
|                              |                         | DIÁMETRO MÉDULA APICAL     | -0.4713                    |
| LONGITUD ELEMENTO DE VASO    | 2                       | DIÁMETRO MÉDULA BASAL      | -0.4507                    |
|                              |                         | DIÁMETRO MÉDULA APICAL     | 0.4498                     |
| DIÁMETRO MÉDULA APICAL       | 3                       | DIÁMETRO MÉDULA BASAL      | -0.8750                    |
| DENSIDAD DE VASOS            | 4                       | LONG. FIBRAS XILEMÁTICAS   | 0.4175                     |
| ANCHO DE ESTOMAS             | 1                       | LARGO DE ESTOMAS           | 0.4154                     |
| LONGITUD FIBRAS XILEMÁTICAS  | 1                       |                            |                            |
| DIÁMETRO MÉDULA BASAL        | 5                       |                            |                            |

**C) COMPARACIÓN ENTRE INDIVIDUOS DE *Aporocactus flagelliformis*.**

En el cuadro 9 se presentan los resultados del análisis de comparación de medias realizado entre los individuos de *Aporocactus flagelliformis*.

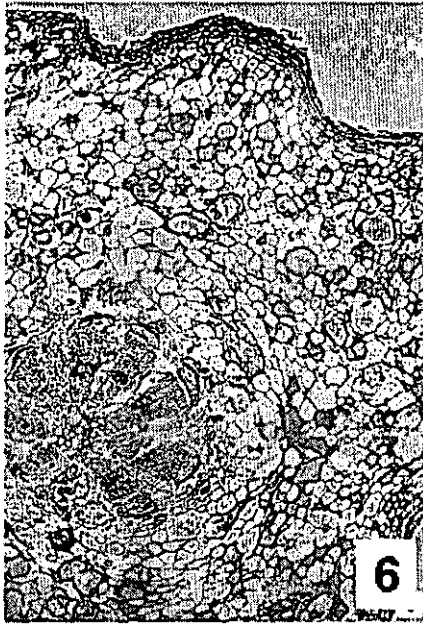
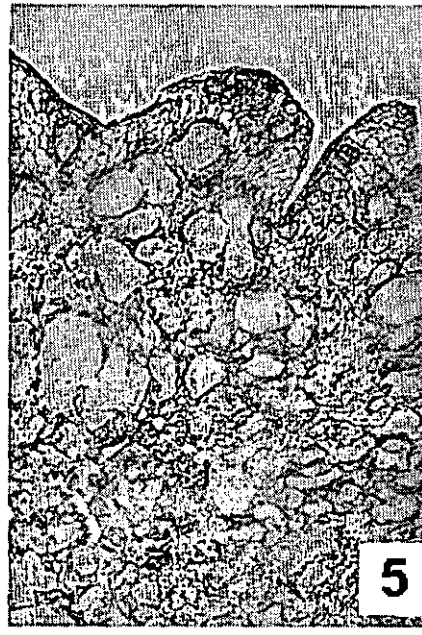
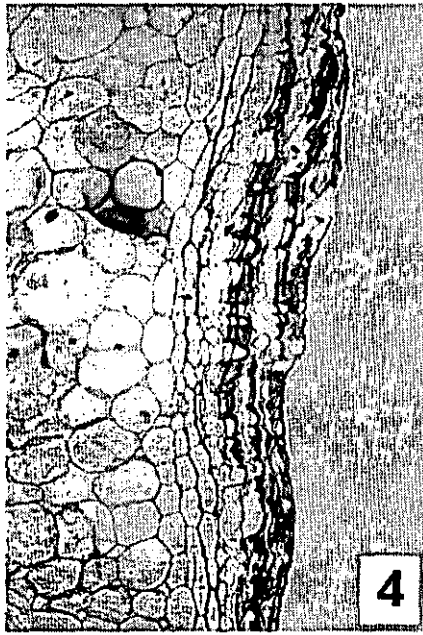
**Cuadro 9.- Valores de la media,  $\pm$  una desviación estándar e intervalo (mínimo y máximo) de 16 caracteres anatómicos cuantitativos del tallo de los individuos de *Aporocactus flagelliformis*. Letras similares indican grupos homogéneos ( $\alpha < 0.05$ ).**

| CARÁCTER                | NÚMEROS DE COLECTA                          |  |  |  |
|-------------------------|---|--|--|--|
|                         | SA 1216                                     | SA 1217                                      | SA 1220                                    | SA 1221  |
| LONG. TALLO             | 37 (cm)                                     | 53 (cm)                                      | 72 (cm)                                    | 84 (cm)  |
| GROSOR DE CUTÍCULA      | 6.1 $\pm$ 0.9 <sup>c</sup> (5 - 7.5)        | 5.6 $\pm$ 1 <sup>b</sup> (4 - 7.5)           | 5.4 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup> (4 - 7.5)       | 3.1 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup> (2.5 - 5)           |
| LONG. CÉLS. EPIDÉRMICAS | 65 $\pm$ 9.7 <sup>a</sup> (50 - 82.5)       | 67 $\pm$ 9.1 <sup>a</sup> (52.5 - 87.5)      | 73 $\pm$ 9.1 <sup>b</sup> (62.5 - 92.5)    | 64 $\pm$ 11.9 <sup>a</sup> (47.5 - 87.5)       |
| ANCHO CÉLS. EPIDÉRMICAS | 19 $\pm$ 3.2 <sup>a</sup> (15 - 25)         | 19 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup> (15 - 25)          | 22 $\pm$ 3 <sup>b</sup> (17.5 - 27.5)      | 26 $\pm$ 3.2 <sup>c</sup> (20 - 35)            |
| LONG. DE ESTOMAS        | 47.2 $\pm$ 5.9 <sup>b</sup> (37.5 - 65)     | 42.3 $\pm$ 5.8 <sup>a</sup> (30 - 52.5)      | 50.1 $\pm$ 3 <sup>c</sup> (42.5 - 52.5)    | 49.7 $\pm$ 4.2 <sup>c</sup> (37.5 - 55)        |
| ANCHO DE ESTOMAS        | 34 $\pm$ 8.6 <sup>a</sup> (20 - 50)         | 35 $\pm$ 6.1 <sup>a</sup> (17.5 - 45)        | 38 $\pm$ 6 <sup>a</sup> (22.5 - 47.5)      | 41 $\pm$ 8.7 <sup>b</sup> (20 - 55)            |
| NÚM. CÉL. ADYACENTES    | 2.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup> (2-3)            | 2.16 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup> (2.3)           | 2.12 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup> (2-3)         | 2.24 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup> (2-3)             |
| INDICE ESTOMÁTICO       | 3 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup> (1.3 - 4.8)        | 2 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup> (1.3 - 3.5)         | 2 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup> (1.4 - 3.3)       | 3 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup> (1.2 - 4.6)           |
| GROSOR DE HIPODERMIS    | 57 $\pm$ 7.9 <sup>b</sup> (42.5 - 75)       | 52 $\pm$ 9 <sup>a</sup> (35 - 67.5)          | 56 $\pm$ 6.3 <sup>b</sup> (45 - 67.5)      | 74 $\pm$ 8.9 <sup>c</sup> (57.5 - 90)          |
| DENSIDAD DE VASOS       | 332 $\pm$ 76.6 <sup>a</sup> (181.8 - 545.2) | 555 $\pm$ 228.8 <sup>b</sup> (254.4 - 908.7) | 361 $\pm$ 111 <sup>a</sup> (218.1 - 617.9) | 1051 $\pm$ 221.6 <sup>c</sup> (678.6 - 1571.4) |
| LONG. ELEM. DE VASO     | 212 $\pm$ 34.6 <sup>a</sup> (130 - 285)     | 231 $\pm$ 33 <sup>b</sup> (165 - 285)        | 217 $\pm$ 29.7 <sup>a</sup> (160 - 295)    | 232 $\pm$ 36.6 <sup>b</sup> (175 - 320)        |
| DIÁM. TANG. DE VASOS    | 21 $\pm$ 2.8 <sup>a</sup> (17.5 - 27.5)     | 24 $\pm$ 4.3 <sup>b</sup> (17.5 - 32.5)      | 21 $\pm$ 2.9 <sup>a</sup> (15 - 25)        | 23 $\pm$ 3.4 <sup>b</sup> (17.5 - 32.5)        |
| LONG. DE FIBRAS XIL.    | 297 $\pm$ 72.5 <sup>a</sup> (190 - 430)     | 360 $\pm$ 68.3 <sup>b</sup> (205 - 495)      | 289 $\pm$ 43.9 <sup>a</sup> (220 - 375)    | 385 $\pm$ 57.6 <sup>b</sup> (290 - 510)        |
| DIÁM. TANG. FIBRAS XIL. | 15 $\pm$ 2.3 <sup>b</sup> (12 - 20)         | 12 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup> (10 - 17)          | 13 $\pm$ 2 <sup>a</sup> (10 - 17)          | 14 $\pm$ 2.8 <sup>b</sup> (10 - 20)            |
| DIÁM. MÉD. APICAL       | 525 $\pm$ 24.5 <sup>a</sup> (480 - 560)     | 740 $\pm$ 28.3 <sup>d</sup> (700 - 800)      | 549 $\pm$ 16.1 <sup>b</sup> (520 - 590)    | 566 $\pm$ 19.2 <sup>c</sup> (540 - 600)        |
| DIÁM. MÉD. MEDIA        | 705 $\pm$ 83 <sup>b</sup> (570 - 830)       | 689 $\pm$ 30.5 <sup>b</sup> (630 - 740)      | 636 $\pm$ 46.1 <sup>a</sup> (500 - 700)    | 673 $\pm$ 25.3 <sup>b</sup> (630 - 720)        |
| DIÁM. MÉD. BASAL        | 744 $\pm$ 32.1 <sup>b</sup> (680 - 800)     | 471 $\pm$ 54.9 <sup>a</sup> (330 - 600)      | 750 $\pm$ 33.2 <sup>b</sup> (690 - 800)    | 802 $\pm$ 31.4 <sup>c</sup> (740 - 850)        |

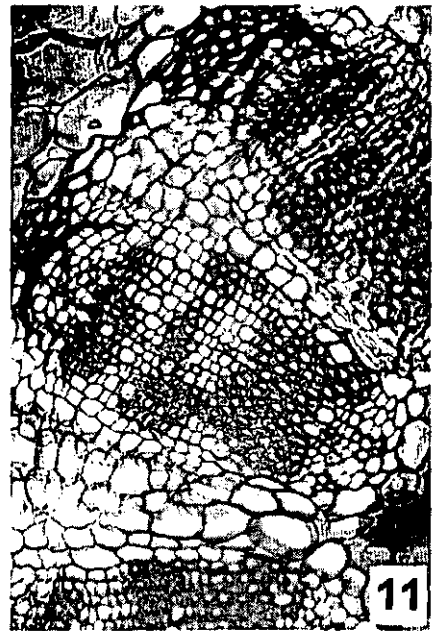
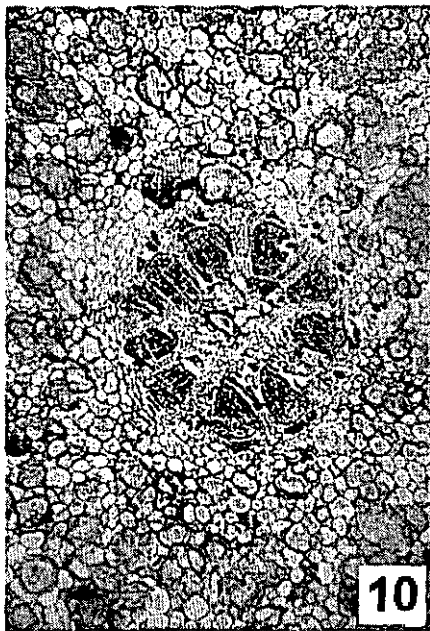
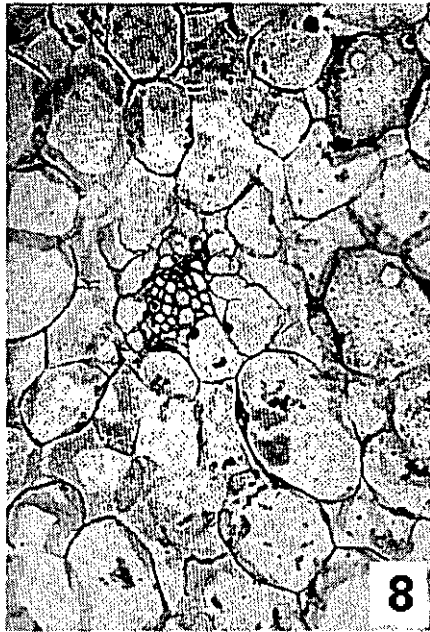


Figuras 1-3. Tallo de *Aporocactus flagelliformis*. 1. La fotografía muestra las regiones estudiadas: (A) apical, (M) media y (B) basal. 2. Sección transversal de la región media, cutícula lisa, células epidérmicas cuadradas y en forma de domo, algunas rectangulares, cámara subestomática conspicua, hipodermis colenquimatosa de tipo laminar con células de forma rectangular 200X. 3. Sección superficial de la epidermis en la región media, células epidérmicas de forma irregular con paredes anticlinales lineales a curvadas, estoma con tres células adyacentes y células oclusivas con su pared ventral engrosada 400X.

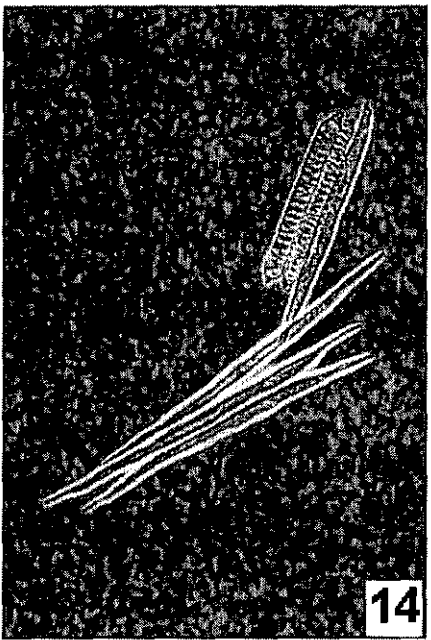
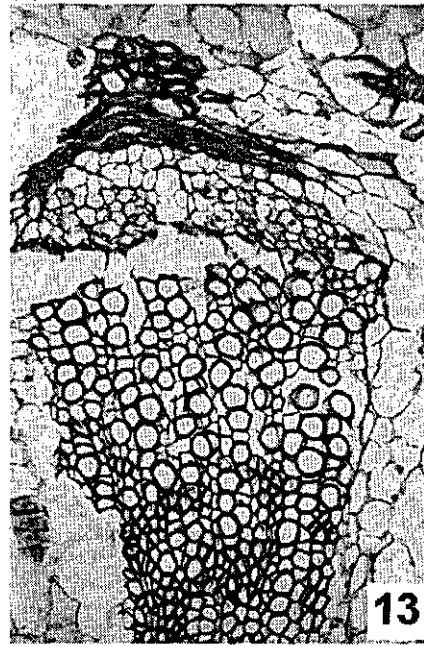




Figuras 4-7. Tallo de *Aporocactus flagelliformis*. 4. Sección transversal de la región basal, peridermis con bandas alternantes de células tangencialmente colapsadas con paredes suberizadas y esclereidas con paredes externas y radiales lignificadas 100X. 5. Sección transversal de la región media, región externa del córtex constituido por clorénquima, la interna por parénquima de reserva, abundantes células mucilaginosas 25X. 6. Sección transversal de la región basal, córtex con abundantes células con mucílago cristalizado 25X. 7. Sección longitudinal de la región apical, cristales esferoidales en córtex y médula 200X.



Figuras 8-11. Tallo de *Aporocactus flagelliformis*. 8. Sección transversal de la región basal, haz vascular cortical con elementos traqueales dispuestos en hileras 200X. 9. Sección transversal de la región media, cilindro vascular con nueve haces vasculares colaterales constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema y xilema 25X. 10. Sección transversal de la región basal, cilindro vascular con nueve haces vasculares colaterales constituidos por un paquete de fibras extrafloemáticas, floema y xilema 25X. 11. Sección transversal de la región basal, haces vasculares con fibras extrafloemáticas de forma angular y poligonal, floema, xilema con fibras y radios en la región interfascicular 200X.



Figuras 12-15. Tallo de *Aporocactus flagelliformis*. 12. Sección longitudinal de la región basal, paquete de fibras extrafloemáticas con fibras septadas 200X. 13. Sección transversal de la región basal, haz vascular, porosidad de tipo semianular, xilema con vasos, fibras y parénquima axial 200X. 14. Disociados de la región basal del xilema, elementos de vaso con punteaduras de tipo pseudoescalariforme y placa de perforación simple con un ángulo de inclinación de 45°, fibras de tipo libriforme y septadas 100X. 15. Sección longitudinal de la región basal, células de parénquima axial, elementos de vaso y fibras con arreglo estratificado 400X.

## VII. DISCUSIÓN

La discusión está centrada en las diferencias de los caracteres cualitativos y cuantitativos encontradas entre los individuos estudiados de *Aporocactus flagelliformis*.

Para evaluar las diferencias existentes entre los caracteres de los cuatro individuos estudiados, es necesario considerar qué factores podrían en un momento dado influir para que se propicien dichas diferencias. De acuerdo a la clasificación de las plantas, sobre la base de la cantidad de agua disponible (Sutcliffe, 1979), se puede considerar que el individuo SA1221 crece en un hábitat intermedio entre mesofítico y xerofítico. Los individuos SA1216, SA1217 y SA1220 son más xerófitos puesto que son epilíticos, es decir crecen sobre rocas donde las condiciones de disponibilidad de agua e incidencia de luz son generalmente extremas. Sin embargo, el hábitat donde crecen estos individuos es, hasta cierto punto semejante, ya que en ambos hay muy poco suelo y la cantidad disponible de agua es intermitente; con frecuencia las condiciones de iluminación y humedad atmosférica son similares. Como ejemplo se puede decir que si bien en ambos hábitats se habla de una estacionalidad en la humedad, en el caso de las formas epilíticas, esto puede referirse a la existencia de sólo una estación lluviosa a lo largo del año y en el caso de las formas epífitas puede tratarse de variaciones de humedad durante el día, en ocasiones puede haber poca humedad en el día y durante la noche incrementarse (Zlotnik, 1987; Tryon, 1964). Esto podría explicar la gran consistencia en organización anatómica mostrada por los cuatro individuos analizados en este trabajo y suponer que las diferencias (principalmente cuantitativas) encontradas entre los individuos se deben a variaciones en la intensidad y/o la forma en que los diferentes factores ambientales, de los hábitats involucrados, actúan sobre los organismos. Otros factores que pudieran explicar las diferencias encontradas entre los caracteres anatómicos, principalmente los cuantitativos, están relacionados con la madurez y la longitud de los tallos: al coleccionar los individuos epilíticos SA1216 y SA1217, sus tallos tenían hasta 37 y 53 cm de longitud respectivamente, posiblemente resultado de estar expuestos a condiciones ambientales con poca disponibilidad de agua, dando como consecuencia un reducido desarrollo en sus tejidos, al mismo tiempo propiciando una modificación en su anatomía y en toda la apariencia de las plantas. El individuo SA1220 si

bien es epilítico, tenía un tallo de 72 cm de largo, quizás en su microhábitat, el individuo recibió un mayor suministro de agua propiciando un mejor desarrollo tanto de sus tejidos como de todo su tallo. Cabe señalar que este individuo mostró mayor semejanza de sus caracteres cuantitativos con el individuo epífita SA1221, el cual tenía tallos de hasta 84 cm de largo. Dado que una planta epífita está protegida por el hospedero contra la desecación, al proporcionarle un microclima húmedo, se puede suponer que bajo estas condiciones, el individuo epífita SA1221 tuvo un óptimo desarrollo de su tallo, alcanzando un máximo crecimiento en sus tejidos y por lo tanto de su tamaño celular. Otro factor importante a considerar es el efecto de la fuerza del viento para provocar diferencias anatómicas en individuos de la misma especie. Zlotnik (1987) recopila los resultados de Bright (1928), quien reporta que para *Pteridium aquilinum*, el viento puede ser responsable de una disminución de su talla, incremento de esclerénquima en la base del peciolo, aumento en el grosor de las paredes del esclerénquima, disminución en el tamaño del lumen del xilema, disminución del número de estomas por  $\text{mm}^2$  y un incremento en el grosor de las células hipodérmicas en ejemplares que crecen en la cima de una montaña en comparación con los que crecen en las faldas; Venning (1948) indica que el viento puede estimular el desarrollo del colénquima en plantas medidas por el viento así como mayor engrosamiento de las paredes celulares de este tejido y un incremento en el diámetro de sus células; por otro lado Grace (1977) menciona que plantas influenciadas por la acción del viento pueden presentar menos haces vasculares y de menor tamaño que plantas de la misma especie protegidas de su influencia.

Para explicar todos y cada uno de los factores ambientales que causan diferencias entre los individuos, es necesario realizar estudios de campo y laboratorio específicos a estos propósitos, con un mayor número de individuos y apoyados con estudios interdisciplinarios. Sin embargo, a continuación se discuten los caracteres con diferencias entre los individuos estudiados y se da una posible explicación de tales diferencias.

## CARACTERES CUALITATIVOS

- **Epidermis.**- La forma de las células es rectangular con bordes curvos excepto en el individuo SA1221(epífito), en donde a nivel de los valles de las costillas, algunas células son cuadradas y en forma de domo. Esta variación puede deberse a que a ese nivel del tallo, la incidencia de luz es menor respecto a la recibida en las crestas, lo que propiciaría la modificación de las células hacia una forma de domo que hace más eficiente la captación de luz. Todos los individuos a nivel de las crestas tienen la misma forma celular. Similar a otras Cactoideae, la epidermis es uniseriada
  
- **Complejo estomático.**- En secciones transversales, en todos los individuos los estomas se observaron de manera común al nivel de las demás células epidérmicas y muy esporádicamente emergentes y/o hundidos. Moran (1977) reporta la presencia de “hoyuelos” en la superficie del tallo de *Aporocactus* lo que pudiera referirse a los estomas. Aún y cuando la apariencia de los estomas en vista superficial y a bajos aumentos es como lo observado por Moran, a partir de este estudio se comprobó su posición.
  
- **Hipodermis.**- Las células de este tejido tienen forma rectangular con una orientación tangencial, sin embargo en el individuo SA1221 algunas células son más alargadas. Asumiendo que una hipodermis colenquimatosa proporciona soporte interno a las plantas y que un tallo erecto requiere de mayor soporte interno a través de la formación de células cortas con paredes engrosadas como las de la hipodermis, en un tallo colgante como el del individuo SA1221 el soporte interno no es prioritario, de tal forma que en este individuo las células son más alargadas aunque con el mismo tipo de engrosamiento. Cabe señalar que de los cuatro individuos colectados éste último es el que presentó un mayor alargamiento del tallo (desde 40 cm hasta dos m) el cual siempre se presentó colgante. Al igual que otras Cactoideae, la hipodermis es interrumpida por las cámaras subestomáticas.

- **Córtex.**- Al igual que en otros Cactoideae, el córtex es grueso y succulento, las células de la región externa están organizadas en hileras formando un tejido en empalizada (Sajeva y Mauseth, 1991).
- **Haces vasculares corticales.**- *Aporocactus flagelliformis*, como en otros Cactoideae presenta haces corticales de tipo colateral (Sajeva y Mauseth, 1991). Al igual que otras Cactoideae, los haces vasculares corticales no presentan paquete de fibras extrafloemáticas de origen primario (Mauseth *et al.*, 1998; Gibson y Horak, 1978).
- **Tejido vascular.**- El tejido vascular, en términos generales es similar en los cuatro individuos. Al igual que otros tejidos, el tejido vascular tiene un desarrollo gradual desde el ápice hasta la base del tallo, de tal forma que la presencia de ciertos caracteres como las fibras extrafloemáticas sólo es evidente en las regiones donde los tejidos han completado su desarrollo. En los individuos SA1216 y SA1217 no se observaron fibras extrafloemáticas en la región media del tallo mientras que en los otros dos individuos sí se observaron. El tallo de los dos primeros individuos fue más corto, posiblemente su grado de madurez era menor, lo que explicaría la ausencia de las fibras extrafloemáticas. La presencia de fibras extrafloemáticas es un carácter común en otras Cactoideae (Gibson y Horak, 1978), sin embargo Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan la ausencia de ellas en *Wilcoxia poselgeri* y *W. Tamaulipensis*. Mauseth *et al.*, (1998) reportan que en otras Cactoideae, las fibras son de tipo libriforme, nucleadas y septadas, esto mismo fue observado en *A. flagelliformis*. Al igual que en otras Cactoideae, los haces vasculares de *A. flagelliformis* se van fusionando sin llegar a formar un cilindro sólido de madera (Gibson y Horak, 1978).
- **Contenidos celulares.**- En tres de los individuos estudiados se observaron abundantes cristales de oxalato de calcio esferoidales, con estructuras concéntricas como los observados en *Wilcoxia* por Loza-Cornejo y Terrazas (1996) y otros en forma de drusas. La presencia de células mucilaginosas y almidón en otras Cactoideae son reportadas por Gibson y Horak, (1978), quienes sugieren que el estudio detallado de las sustancias ergásticas, puede dar información de importancia taxonómica para las cactáceas.

Nyffeler y Egli (1997) también reportan la presencia de mucílago en el tallo de otras Cactoideae.

- **Médula.**- Similar a otras especies de Cactoideae (Loza-Cornejo y Terrazas, 1996; Mauseth *et al.*, 1998), *Aporocactus flagelliformis* no tiene haces vasculares medulares, sin embargo algunas otras si los presentan (Gibson y Horak, 1978).

## CARACTERES CUANTITATIVOS

- **Cutícula.**- En el análisis estadístico global de los individuos, la desviación estándar para el grosor de cutícula es el 30 % de la media, lo que indica que este carácter tiene una amplia dispersión en sus valores. Por otro lado, en el análisis de varianza entre los individuos se obtuvo un nivel de significancia menor a 0.05 lo que indica que existen diferencias significativas entre los individuos, al mismo tiempo en el análisis de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos indicando con esto que existe mucha variación entre los individuos. A pesar de esto, los valores de los individuos SA1216, SA1217 y SA1220 son similares, mientras que el del SA1221 es diferente y menor. Cabe señalar que los tres primeros individuos con un grosor de cutícula mayor son individuos de hábito epilítico, mientras que el último es de hábito epífita, lo que indica una posible correlación entre hábito y grosor de cutícula. El grosor de cutícula está correlacionado negativamente con la densidad de vasos, ancho de células epidérmicas y el grosor de hipodermis, esta correlación negativa está íntimamente ligada a la disponibilidad de agua y a la exposición a la luz solar, esto quiere decir que la cutícula tenderá a ser más engrosada cuando exista menor disponibilidad de agua para evitar la pérdida de ésta por evapotranspiración. Por otro lado, la cutícula es una capa protectora contra la desecación y la acción de agentes patógenos al igual que la epidermis y la hipodermis, en ambientes xéricos, sin embargo en ambientes húmedos pudiera funcionar como una capa impermeable al exceso de humedad, por lo tanto es posible



que a medida que estos tejidos disminuyen, la cutícula tiende a engrosarse más para mantener el mismo grado de protección. Cabe señalar que los individuos epilíticos están más expuestos a los rayos solares que el individuo epífita, estos requieren de mayor protección para evitar la pérdida de agua, en este caso, la protección se obtiene por medio de la cutícula. Por otro lado, Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan un grosor de cutícula  $<1 \mu\text{m}$  para *Wilcoxia poselgeri* y de  $4 \mu\text{m}$  para *W. tamaulipensis*, al comparar el grosor de la cutícula de estas especies con los individuos de *Aporocactus flagelliformis*, se observa que el grosor de *W. poselgeri* es menor al grosor de *A. flagelliformis*, mientras que el valor del grosor de la cutícula de *W. tamaulipensis* es similar al grosor de la cutícula de los cuatro individuos de *A. flagelliformis*. La similitud entre *A. flagelliformis* y la especie de *Wilcoxia* se puede deber a que, al igual que los individuos de *Aporocactus*, también *W. tamaulipensis* es una planta con características xeromórfica, aunque vive en regiones geográficas y condiciones ambientales diferentes, las especies de *Wilcoxia* viven en zonas áridas. No obstante, en otras especies de Cactoideae se reportan grosores mayores a  $7 \mu\text{m}$  (Gibson y Horak 1978; Mauseth, 1996; Mauseth *et al.*, 1998); mientras que para otros géneros como *Echinocereus* y *Harrisia*, el grosor es menor (Mauseth *et al.*, 1998), así como para algunas especies de Cactáceas columnares (Gibson y Horak, 1978).

- **Epidermis.-** A diferencia de algunas cactáceas columnares, las cuales presentan epidermis multiestratificada (Gibson y Horak 1978; Mauseth, 1996), *Aporocactus flagelliformis* tiene epidermis monoestratificada, similar a otras Cactoideae (Barthlott y Hunt, 1993).
- **Longitud de células epidérmicas.-** En los resultados de la estadística global el valor de desviación estándar de este carácter es el 16 % de la media, por lo que este carácter no tiene una amplia dispersión en sus valores. El análisis de varianza indica que el nivel de significancia es menor a 0.05 y mediante la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos. El primer grupo homogéneo incluye a los números SA1216, SA1217 y SA1221, cabe señalar que los dos primeros son de hábito epilítico y el último es epífita. El segundo grupo homogéneo incluye sólo al número SA1220 con una mayor

longitud de sus células epidérmicas, no obstante, de ser de hábito epilítico la longitud de sus células epidérmicas es significativamente mayor, esto parece indicar que el ambiente no determina la condición de este carácter. Mediante el análisis de correlación se observó que este carácter no presentó ninguna asociación con otros caracteres. Por otro lado, Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan una longitud de 50  $\mu\text{m}$  para *W. poselgeri* y de 53  $\mu\text{m}$  para *W. tamaulipensis*, para algunas especies de Cereae reportan valores menores a 50  $\mu\text{m}$  (Mauseth, 1996), mientras que en los individuos de *Aporocactus flagelliformis*, la longitud va de 64 a 73  $\mu\text{m}$ . Se observa que al comparar las medias, la longitud de las células epidérmicas de *A. flagelliformis* es mayor a la reportada para las dos especies de *Wilcoxia* y otros géneros, esto puede deberse a que *Wilcoxia* crece en condiciones más xerofíticas y por lo tanto el desarrollo de las células de este tejido es menor. En *A. flagelliformis* la longitud de las células epidérmicas es mayor a la reportada para otras Cactoideae (Mauseth, 1996; Mauseth *et al.*, 1998).

- **Ancho de células epidérmicas.**- La estadística global básica descriptiva indica que la desviación estándar es el 19 % de la media, por lo que en este individuo la dispersión de sus valores no es amplia. En el análisis de varianza, el nivel de significancia es menor a 0.05, lo que indica que hay diferencias significativas entre los individuos. Con la prueba de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos, de los cuales, los grupos “a” y “b” se formaron con los individuos de hábito epilítico y sus valores están muy cercanos entre sí; por otro lado el grupo “c” se formó con el individuo de hábito epífita y el valor de éste es más elevado que los valores de los otros grupos, esto parece indicar que existe una posible correlación entre el hábito y el ancho de las células epidérmicas. Mediante el análisis de correlación el ancho de las células epidérmicas se asoció con el grosor de la hipodermis, densidad de vasos y el diámetro de médula basal presentando un coeficiente de correlación positivo; el coeficiente de correlación para la asociación con el grosor de la cutícula fue negativo. Si la disponibilidad de agua es intermitente o discontinua, entonces una adaptación de las plantas para aprovechar al máximo el recurso cuando se presenta, será el desarrollar tejidos que propicien una mayor disponibilidad interna de agua así como una mejor eficiencia en su transporte, de tal forma que células epidérmicas más anchas retienen mayor cantidad de agua; una

hipodermis más ancha pudiera tener un doble efecto, por un lado mayor retención de agua y por otro mayor barrera para evitar la pérdida de la misma al reducir la evapotranspiración; una mayor densidad de vasos podría hacer más eficiente el transporte del agua y finalmente un mayor diámetro de la médula basal es una mayor cantidad de tejido perenquimático y por lo tanto una mayor capacidad de almacenamiento de agua. Loza-Cornejo y Terrazas (1996), reportan 26  $\mu\text{m}$  para el ancho de las células epidérmicas de *Wilcoxia poselgeri* y de 24  $\mu\text{m}$  para *W. tamaulipensis*, en *A. flagelliformis* es de 19 a 26  $\mu\text{m}$ , los valores de éste carácter son muy parecidos en los taxa mencionados. En otras Cactoideae el ancho de las células epidérmicas es similar al de *Aporocactus flagelliformis* (Mauseth, 1996; Mauseth *et al.*, 1998). Tanto en *A. flagelliformis* como en otros Cactoideae la epidérmis es uniestratificada (Mauseth *et al.*, 1998).

- **Longitud de estomas.-** En el análisis de estadística básica descriptiva el porcentaje de la desviación estándar es el 12 % respecto a la media, por lo tanto la dispersión en sus valores es baja. El nivel de significancia del análisis de varianza es menor a 0.05, mostrando con esto, que existen diferencias significativas entre los individuos estudiados. Con la prueba de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos. Los individuos SA1216, SA1217 y SA1220, siendo todos ellos epilíticos, tienen una longitud de estomas diferente. Sin embargo, en el individuo epilítico SA1220 y el epífita SA1221 forman un mismo grupo, esto indica que para el carácter longitud de estomas no hay correlación con el hábito pero sí con la longitud del tallo. Cabe señalar que estos números corresponden a los individuos con tallos más largos y seguramente más desarrollados, lo que estaría explicando su mayor longitud de estomas. De acuerdo al análisis de correlación, este carácter se asocia con el diámetro de la médula basal en sentido positivo y con el diámetro de la médula apical en sentido negativo. La asociación con el diámetro de la médula basal tiene que ver con la disponibilidad de agua ya que a mayor diámetro de la médula basal mayor será la cantidad de agua que se está almacenando. Otra posible explicación es considerar la longitud del tallo, ya que a mayor longitud, mayor desarrollo y por lo tanto, mayor grosor de la médula. Por otro lado, para interpretar la asociación negativa con el diámetro de médula apical es

necesario tener precaución, esto puede deberse a que el diámetro de médula apical es muy variable, esta variación puede deberse a que es una región que se encuentra en constante crecimiento y esto puede crear confusiones al interpretar los resultados.

- **Ancho de estomas.**- En los resultados de la estadística básica descriptiva, el porcentaje respecto a la media es 21, esto indica que sus valores no tienen una amplia dispersión. En el análisis de varianza el nivel de significancia es menor a 0.05 observándose con esto que hay variación entre los individuos. Con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, uno de ellos se formó con los individuos epilíticos y el otro con el epífito, esto puede indicar por un lado que el ancho de estomas está correlacionado con el hábito de la planta. Sin embargo, el valor del individuo epilítico SA1220 del primer grupo, es más cercano al del único integrante del segundo grupo formado por el individuo epífito SA1221, estos dos individuos son los de tallos con mayor longitud lo que podría explicar la mayor anchura de sus estomas. Al parecer este carácter también pudiera correlacionarse con la longitud del tallo.
- **Número de células adyacentes.**- El análisis de la estadística básica descriptiva mostró un 20 % de la media, indicando con esto que entre los valores obtenidos no hay una amplia dispersión. En el análisis de varianza se obtuvo un nivel de significancia mayor a 0.05 lo que indica que no existen diferencias significativas entre los individuos estudiados y esto se corroboró con la prueba de rango múltiple al constituirse un grupo homogéneo, por lo tanto no hay variación en éste carácter. El número de células adyacentes no se correlacionó con ningún otro carácter.
- **Índice estomático.**- En el análisis estadístico general, el porcentaje para el índice estomático es el 27 % de la media lo que indica una amplia dispersión en sus valores. Sin embargo, el análisis de varianza arrojó como resultado un nivel de significancia mayor a 0.05, indicando que no existen diferencias significativas entre los individuos para este carácter, con la prueba de rango múltiple se formó un grupo homogéneo confirmando con esto que no hay variación. Por último, con el análisis de correlación, el índice estomático no se asoció con ningún otro carácter.

➤ **Grosor de la hipodermis.**- El análisis conjunto de la estadística básica descriptiva señala que para el grosor de la hipodermis, la desviación estándar es el 19 % de la media, con esto se puede decir que los valores de éste carácter no tienen una amplia dispersión. Con el análisis de varianza se obtuvo un nivel de significancia menor a 0.05, por lo tanto si existen diferencias significativas entre los individuos; además, con la prueba de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos, de los cuales, en los grupos "a" y "b" se ubicaron los individuos epilíticos y sus valores son cercanos entre sí, mientras que el grupo "c" lo constituyó el individuo epífita, esto indica que posiblemente existe una correlación entre el grosor de la hipodermis y el hábito. Con el análisis de correlación, el grosor de la hipodermis presentó una asociación positiva con la densidad de vasos, el ancho de las células epidérmicas y el diámetro de la médula basal, este tipo de correlación posiblemente está ligada a la madurez y a la longitud del tallo ya que precisamente el individuo SA1221 es quien tuvo el tallo más largo y probablemente el más maduro, por lo tanto pudo haber un mayor desarrollo de los tejidos. De igual manera ocurre con el diámetro de la médula basal, al incrementarse el grosor de la hipodermis se incrementa el diámetro de la médula basal; con el grosor de la cutícula la asociación fue negativa. Por otro lado, Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan 20  $\mu\text{m}$  para el grosor de hipodermis de *Wilcoxia poselgeri* y 30  $\mu\text{m}$  para *W. tamaulipensis*, mientras que para especies de *Eriosyce* esta fluctúa de 20 a 100  $\mu\text{m}$ , en los individuos de *A. flagelliformis* es de 52 a 57  $\mu\text{m}$  para los individuos de hábito epilítico, mientras que para el individuo de hábito epífita fue de 74  $\mu\text{m}$ , lo que refleja que el grosor de la hipodermis de *A. flagelliformis* es mayor que el reportado para *Wilcoxia*, pero cae en los valores de algunas especies de otros Cactoideae (Nyffeler y Eggli, 1997; Gibson y Horak, 1978; Mauseth *et al.*, 1998). Nyffeler y Eggli (1997) reportan de dos a tres estratos celulares para otras Cactoideae, condición que es similar a *A. flagelliformis*.

➤ **Densidad de vasos.**- En el análisis global de la estadística básica descriptiva la desviación estándar representó el 59 % de la media, este es el carácter que tiene la mayor dispersión en sus valores. En el análisis de varianza presentó un nivel de

significancia menor a 0.05, mostrando con esto que hay diferencias significativas entre los individuos. Por otro lado, con la prueba de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos, de los cuales, los grupos "a" y "b" se formaron con los individuos epilíticos, los valores de la media de ambos grupos fueron relativamente cercanos entre sí, mientras que el grupo "c" se formó con el individuo epífito y presentó el valor más alto de la media, esto indica que es posible que exista una correlación entre el hábito y la densidad de vasos. En los resultados del análisis de correlación, la densidad de vasos presentó un coeficiente de asociación positivo con la longitud de fibras xilemáticas, también en este caso es importante considerar que el individuo SA1221 es el que tiene el tallo más largo y por lo tanto existe un mayor desarrollo de los tejidos. Por otro lado, Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan para *Wilcoxia* una densidad de 6 a 10 vasos/mm<sup>2</sup>, mientras que los individuos de *Aporocactus flagelliformis* de hábito epilítico tuvieron una densidad de 332 a 555 vasos/mm<sup>2</sup> y el de hábito epífito de 1051 vasos/mm<sup>2</sup>, por lo que, la diferencia de la densidad de vasos entre las especies de ambos géneros es considerable y parece estar reflejando una correlación positiva con el hábito. En los hábitos xerofíticos existe una menor disponibilidad de agua y para esta especie, la densidad de vasos es menor, mientras que en los hábitats méxicos hay mayor disponibilidad de agua y la densidad de vasos es mayor. Mauseth *et al.*, (1998) reportan una densidad de vasos menor para otras Cactoideae.

- **Longitud de elementos de vaso.-** Los resultados del análisis global de la estadística básica descriptiva indican que la desviación estándar es el 16 % de la media, lo cual muestra que la longitud de elementos de vaso tiene poca dispersión en sus valores. Con el análisis de varianza se obtuvo un nivel de significancia menor a 0.05, lo cual indica que hay diferencias significativas entre los individuos estudiados, por otro lado, con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, el grupo "a" con los individuos epilíticos SA1216 y SA1217, mientras que el grupo "b" se formó con los individuos SA1220 (epilítico) y SA1221 (epífito), cabe mencionar que los valores de los cuatro individuos son muy cercanos entre sí, estos resultados indican que el carácter longitud de los elementos de vaso no está correlacionado con el tipo de hábito. Por otro lado, el individuo SA1221 tuvo los elementos de vaso más largos, es también el que

tuvo el tallo más largo, por lo que esto puede tener relación con el mayor desarrollo de los tejidos en los tallos más largos. Con el análisis de correlación se muestra que la longitud de elementos de vaso está asociado de manera negativa con el diámetro de la médula basal y de manera positiva con el diámetro de la médula apical, la primera asociación tiene que ver con el soporte del tallo, de acuerdo con Carlquist (1975), un elemento de vaso corto confiere mayor resistencia que un elemento de vaso largo, esto quiere decir que el diámetro de la médula basal puede aumentar mientras los elementos de vaso sean más cortos proporcionando con esto mayor resistencia al tallo, la segunda asociación debe tomarse con reserva ya que el diámetro de médula apical es un carácter muy variable. Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan para las especies de *Wilcoxia* una longitud de elementos de vaso de 155 a 181  $\mu\text{m}$ , los elementos de vaso de *Aporocactus flagelliformis* son de 212 a 232  $\mu\text{m}$ , por lo que, la longitud de los elementos de vaso en *A. flagelliformis* es mayor. Esto se puede atribuir a que *Wilcoxia* tiene un menor desarrollo del tejido vascular dadas las condiciones ambientales en que crece. Por otro lado, Gibson (1973) compara caracteres anatómicos entre especies de las tribus de Cactaceae, los valores de algunos de estos caracteres son parecidos a los de *A. flagelliformis*. Por ejemplo, la longitud de los elementos de vaso de algunas especies de los géneros *Acanthocereus*, *Echinocereus*, *Harrisia*, *Leptocereus*, *Peniocereus*, *Rathbunia* y *Wilcoxia* de la tribu I; *Deamia*, *Disocactus*, y *Selenicereus* de la tribu II; *Rhipsalis* de la tribu III; *Echinopsis*, *Rebutia* y *Trichocereus* de la tribu IV; *Aztekium*, *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Ferocactus*, *Gymnocalycium*, *Mammillaria* y *Thelocactus* de la tribu VI, es muy parecida a la longitud de los elementos de vaso de *A. flagelliformis*.

- **Diámetro tangencial de vasos.**- El análisis estadístico general de los individuos señala que la desviación estándar es el 16 % de la media, lo cual indica que los valores de este carácter no tienen una amplia dispersión. Con el análisis de varianza se obtuvo que el nivel de significancia es menor a 0.05, por lo tanto, hay diferencias significativas entre los individuos. Por otro lado, con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, sin embargo, sus valores son muy cercanos entre sí, por lo que se puede decir que el diámetro tangencial de vasos es un carácter que no tiene correlación con el

tipo de hábito. En el análisis de correlación, este carácter no está asociado con ningún otro carácter. Loza-Cornejo y Terrazas (1996) reportan los siguientes valores de diámetro de vasos para *W. poselgeri* 15  $\mu\text{m}$  y para *W. tamaulipensis* 17  $\mu\text{m}$ , en *Aporocactus flagelliformis* los valores van de 21 a 24  $\mu\text{m}$ . Estos valores son bajos en comparación con los reportados por otros autores para maderas fibrosas de Cactoideae (Mauseth, 1996; Gibson, 1973) y muy parecidos a los valores reportados por Mauseth *et al.*, (1998) para otros géneros. Por otro lado, es importante señalar que *Rhipsalis baccifera* con hábito semejante al de *A. flagelliformis*, tiene un diámetro de vasos similar (Gibson, 1973), por lo que este carácter posiblemente se relacione con el tipo de hábito. En este mismo trabajo (Gibson, 1973), los valores reportados para este carácter de algunas especies de los géneros *Echinocereus*, *Peniocereus*, *Wilcoxia* y *Mammillaria* también son muy parecidos al de *A. flagelliformis*.

- **Longitud de fibras xilemáticas.**- El análisis estadístico total de los individuos indica que la desviación estándar es el 22 % de la media, por lo tanto, esto muestra que los valores tienen poca dispersión. En el análisis de varianza se obtuvo que el nivel de significancia es menor a 0.05, por lo que si hay diferencias significativas entre los individuos, además, con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, el grupo "a" con los individuos epilíticos SA1216 y SA1220 y el grupo "b" con los individuos SA1217 (epilítico) y SA1221(epífita), cabe mencionar que sus valores se encuentran muy cercanos entre sí, por lo tanto, es posible que el hábito no determine la condición de este carácter. Por otro lado, el individuo SA1221 es el que tiene el tallo más largo y un mayor desarrollo de sus tejidos, lo que explica la mayor longitud de sus fibras. El análisis de correlación mostró que la longitud de fibras se asoció de manera positiva con la densidad de vasos, la cual podría tener relación con una elevada conductividad de agua mediante una mayor densidad de vasos y mayor rigidez mediante un mayor número de fibras. En el tipo común de crecimiento secundario, cuando un tallo avanza en edad, éste incrementa su diámetro dando como resultado tanto un incremento en su conductividad como un incremento en su rigidez. Para muchas plantas esto es ventajoso (Mauseth, 1988). Sin embargo, en *Aporocactus flagelliformis* esto es distinto, y la habilidad para mantenerse flexible al viento resulta



más ventajoso que la rigidez, particularmente en los individuos epífitos. Esto explicaría el por qué en el individuo SA1221, con un tallo más desarrollado, fibras largas de paredes engrosadas tienden a ser más abundantes, en comparación a la longitud de las fibras de los otros individuos. Retomando lo propuesto por Carlquist (1975), se entiende que la presencia de fibras más largas respecto a otras más cortas y ambas con el mismo grosor de pared, propiciarían que el tallo sea más flexible, lo que puede ser una adaptación al hábito epífito. La longitud de las fibras xilemáticas reportada por Loza-Cornejo y Terrazas (1996) para *W. poselgeri* fue de 313  $\mu\text{m}$  y para *W. tamaulipensis* de 316  $\mu\text{m}$ , en *Aporocactus flagelliformis* fue de 289  $\mu\text{m}$  a 360  $\mu\text{m}$  para los individuos de hábito epilítico mientras que para el epífito fue de 385  $\mu\text{m}$ , por lo tanto la longitud de las fibras xilemáticas entre las dos especies de *Wilcoxia* y los cuatro individuos de *Aporocactus flagelliformis* es similar.

- **Diámetro tangencial de fibras xilemáticas.**- En el análisis estadístico general de los individuos, la desviación estándar es el 15 % de la media, por lo que sus valores no tienen una amplia dispersión. Con el análisis de varianza el nivel de significancia fue menor a 0.05 y por lo tanto, hay diferencias significativas entre los individuos. Por otro lado, con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, en el grupo "a" se ubicaron los individuos epilíticos SA1217 y SA1220, en el grupo "b" quedaron los individuos SA1216 (epilítico) y SA1221(epífito), sus valores están muy cercanos entre sí, por lo que el hábito no tiene influencia en este carácter. Mediante el análisis de correlación se demostró que el diámetro tangencial de fibras xilemáticas no se asocia con otros caracteres. El diámetro tangencial de las fibras xilemáticas reportado para las dos especies de *Wilcoxia* fue de 15  $\mu\text{m}$  (Loza-Cornejo y Terrazas, 1996), mientras que en *Aporocactus flagelliformis* va de 10 a 25  $\mu\text{m}$ . El valor de este carácter, es muy parecido al reportado por Gibson (1973) para algunas especies de *Wilcoxia*, *Aporocactus*, *Echinocereus*, *Monvillea*, *Peniocereus*, *Rathbunia*, *Deamia*, *Disocactus*, *Epiphyllum*, *Heliocereus*, *Hylocereus*, *Mediocactus*, *Selenicereus*, *Cleistocactus*, *Echinopsis*, *Espostoa*, *Roseocereus* y *Trichocereus*.
- **Diámetro de médula apical.**- El análisis estadístico global de los individuos, indicó

que la desviación estándar de este carácter es el 15 % de la media, no obstante en el análisis de varianza, el nivel de significancia fue menor a 0.05, lo que indica que sí hay diferencias significativas entre los individuos. Con la prueba de rango múltiple se formaron cuatro grupos homogéneos, confirmando que hay mucha variación en los valores entre los cuatro individuos. Dicha variación se debe a que esta región del tallo se encuentra en crecimiento, lo que hace que su diámetro sea muy variable, mientras que la zona basal ha completado su desarrollo expresando al máximo su crecimiento y obteniendo un mayor valor en su diámetro medular. Con el análisis de correlación se demuestra que el diámetro de médula apical tiene una correlación negativa con el diámetro de médula basal y la longitud de los estomas, en sentido positivo con la longitud de los elementos de vaso. La posible correlación entre estos caracteres ya se mencionó.

- **Diámetro de médula media.-** Mediante el análisis estadístico general de los individuos, se obtuvo que la desviación estándar de este carácter es el 9 % de la media, por lo que sus valores no tienen una amplia dispersión. Sin embargo, en el análisis de varianza el nivel de significancia fue menor a 0.05, por lo tanto hay diferencias significativas entre los individuos. Por otro lado, con la prueba de rango múltiple se formaron dos grupos homogéneos, en el grupo "a" se ubicó el individuo epilítico SA1220, en el grupo "b" quedaron los individuos epilíticos SA1216, SA1217 y el epífito SA1221, por lo tanto, es posible que el ambiente no determine la condición del diámetro de la médula media. En el análisis de correlación, el diámetro de médula media no se asocia con otros caracteres.
  
- **Diámetro de médula basal.-** El análisis estadístico global de los individuos, indicó que la desviación estándar de este carácter es el 20 % de la media, por lo tanto, sus valores tienen poca dispersión. En el análisis de varianza, el nivel de significancia fue menor a 0.05, esto señala que hay diferencias significativas entre los individuos. Con la prueba de rango múltiple se formaron tres grupos homogéneos, el grupo "a" se formó con el individuo epilítico SA1217, el grupo "b" con los individuos epilíticos SA1216 y SA1220 y el grupo "c" con el individuo epífito SA1221, este último es el que presenta

un valor mayor. Este individuo tiene una mayor longitud del tallo, así mismo un mayor desarrollo en sus tejidos, lo que explicaría un mayor diámetro de su médula basal. En el análisis de correlación el diámetro de médula basal se asoció con los siguientes caracteres: ancho de células epidérmicas, grosor de hipodermis, longitud de estomas, longitud de elementos de vaso y diámetro de médula apical, como ya se explicó en la discusión de cada uno de estos caracteres.

Mediante la estadística básica descriptiva se observó que los caracteres densidad de vasos y grosor de cutícula son los que presentan una mayor dispersión en sus valores.

El análisis de varianza con un nivel de confianza de 95 % y un  $\alpha$  de 0.05, dio a conocer que los caracteres índice estomático y número de células adyacentes no tienen diferencias significativas, mientras que, en el resto de los caracteres, sí se observaron diferencias significativas. Con la prueba de rango múltiple se observó que el carácter diámetro de médula apical es el más variable de todos y con excepción de los caracteres índice estomático y número de células adyacentes, el resto de los caracteres tienen diferencias significativas entre los cuatro individuos estudiados de *Aporocactus flagelliformis*.

A partir de la prueba de rango múltiple se infiere que el carácter ancho de estomas, puede estar asociado al tipo de hábito. Por otro lado, los caracteres grosor de cutícula, ancho de células epidérmicas, grosor de hipodermis, densidad de vasos y diámetro de médula basal posiblemente también estén correlacionados con el tipo de hábito ya que a pesar de que entre los individuos de hábito epilítico (SA1216, SA1217 y SA1220) se forman diferentes grupos homogéneos entre sí, los valores respecto al individuo epífito (SA1221) son muy diferentes, lo que pudiera indicar que las diferencias encontradas en estos caracteres están asociadas al tipo de hábito.

De los 16 caracteres cuantitativos analizados, el 50 % de los casos (ancho de células epidérmicas, longitud de estomas, ancho de estomas, grosor de hipodermis, densidad de vasos, longitud de elementos de vaso, longitud de fibras xilemáticas y diámetro de médula

basal), el mayor valor corresponde al individuo epífito SA1221, al mismo tiempo es el individuo con el tallo de mayor tamaño, con mayor madurez y por lo tanto mayor desarrollo de sus tejidos. Por otro lado, el hábito epífito de este individuo, es otro factor importante a considerar como responsable del mayor desarrollo de sus tallos, debido a las condiciones mesofíticas en que crecen. Bravo (1978) plantea que dentro de las cactáceas, el grupo de géneros epífitos contiene a las especies más avanzadas, retomando esto, es posible que el individuo SA1221, al evolucionar con hábito epífito y en un ambiente méxico a diferencia de los individuos epilíticos, pudo desarrollar al máximo sus tejidos y por último, es importante considerar que también este individuo es el que crece en condiciones menos expuestas a la insolación.

En términos generales, *Aporocactus flagelliformis* y *Wilcoxia* son similares en el ancho de células epidérmicas, grosor de cutícula y diámetro de fibras xilemáticas.

Por último, *Aporocactus flagelliformis* y *Wilcoxia* varían en el largo de células epidérmicas, grosor de hipodermis, densidad de vasos, longitud de elementos de vaso, diámetro tangencial de vasos y longitud de fibras xilemáticas, estas diferencias encontradas entre *Wilcoxia poselgeri* y *W. tamaulipensis* (Loza-Cornejo y Terrazas, 1996) respecto a *A. flagelliformis* podrían deberse a las diferentes condiciones ambientales en que crecen estas plantas o posiblemente a que son características propias de cada género. Esto es, las especies de *Wilcoxia* crecen en condiciones ambientales más xerofíticas de ahí sus caracteres estructurales, se puede decir que es una especie más xeromórfica. Los individuos epilíticos SA1216, SA1217 y SA1220 viven en condiciones ambientales menos xerofíticas que *Wilcoxia*, por lo que presentan caracteres anatómicos menos xeromórficos que *Wilcoxia*. Se puede decir que el individuo SA1221 crece en condiciones ambientales intermedias entre mesofíticas y xerofíticas, por lo cual, es el individuo que tiene características anatómicas aún menos xeromórficas y más méxicas.

## VIII. CONCLUSIONES

- Con este trabajo se contribuyó al conocimiento anatómico del tallo de *Aporocactus flagelliformis*, así como de las cactáceas mexicanas.
- La anatomía del tallo de *Aporocactus flagelliformis* es variable en los caracteres anatómicos: forma de células epidérmicas, forma de células hipodérmicas, fibras floemáticas, grosor de cutícula, longitud de células epidérmicas, ancho de células epidérmicas, tamaño de estomas, grosor de hipodermis, densidad de vasos, longitud de elementos de vaso, longitud de fibras xilemáticas, diámetro tangencial de fibras xilemáticas y diámetro de médula.
- Los caracteres índice estomático, número de células adyacentes e incluso el diámetro tangencial de los vasos, son constantes en *Aporocactus flagelliformis*, por lo que pueden ser importantes como caracteres diagnóstico para la especie.
- Los caracteres grosor de cutícula, ancho de células epidérmicas, ancho de estomas, grosor de hipodermis, densidad de vasos y diámetro de médula basal están relacionados con el hábito de *Aporocactus flagelliformis*.
- Se sugiere realizar más estudios anatómicos con un mayor número de individuos que procedan de hábito y condiciones ambientales similares. Además, que la longitud de sus tallos sea semejante.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arias, S. S. Gama y L. Guzmán. 1997. *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 146.
- Arias, S. 1998. La sistemática de cactáceas en México, breve recuento y perspectivas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **63**: 153-165.
- Barthlott, W y D. Hunt. 1993. Cactaceae. *The families and genera of vascular plants*. Vol. II. K. Kubitzki. USA.161-197.
- Bravo, H. 1978. *Las cactáceas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. 2a ed. México. 743.
- Bravo, H. y L. Scheinvar. 1995. *El interesante mundo de las cactáceas*. Fondo de Cultura Económica. México. 233.
- Carlquist, S. 1988. *Comparative wood anatomy*. Springer-Verlag. Berlin. 436.
- Cházaro, M. Y P. Hernández. 1996. "Succulente in habitat. Note su *Aporocactus* (Cactaceae) dello Stato di Veracruz, Messico". *Piante Grasse* **16**: 146-156.
- Curtis, J. 1986. *Microtecnia vegetal*. Trillas. México. 106.
- Dickison, W. 1975. The bases of angiosperm phylogeny vegetative anatomy. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **62**: 590-620.
- Fahn, A. 1974. *Anatomía vegetal*. H. Blume Ediciones. Madrid. 643.
- Gibson, A. C. 1973. Comparative anatomy of secondary xylem in Cactoideae (Cactaceae).

Biotropica 51: 29-65.

- Gibson, A. C. y K. Horak. 1978. Systematic anatomy and phylogeny of mexican columnar cacti. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 65: 999-1057.
- Grace, J. 1977. *Plant response to wind*. Academic Press. London. 204.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* n.s. 10: 219-332.
- Johansen, D. 1940. *Plant microtechnique*. Mc Graw-Hill Book Company. U.S.A. 523.
- Loza-Cornejo, S y T. Terrazas. 1996. Anatomía del tallo y de la raíz de dos especies de *Wilcoxia* Britton & Rose (Cactaceae) del noreste de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59:13-23.
- Mauseth, J. 1980. Release of whole cells of *Nopalea* (Cactaceae) into secretory canals. *Botanical Gazette* 141: 15-18.
- Mauseth, 1982. Introduction to cactus anatomy. Part 1. Introduction. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) 54: 263- 266.
- Mauseth, 1983a. Introduction to cactus anatomy. Part 2. Apical meristems. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) 55: 18- 21, 42.
- Mauseth, 1983b. Introduction to cactus anatomy. Part 3. Cell tructure. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) 55: 84- 89.
- Mauseth, 1983c. Introduction to cactus anatomy. Part 4. Mature cells. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) 55: 113- 118.

- Mauseth, J. 1984a. Introduction to cactus anatomy. Part 7. Epidermis. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) **56**: 33- 37.
- Mauseth, J. 1984b. Introduction to cactus anatomy. Part 8. Inner body. *Cactus and Succulent Journal* (U. S.) **56**: 131- 135.
- Mauseth, J. 1988. *Plant anatomy*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, U.S.A. 560.
- Mauseth, J. 1996. Comparative anatomy of tribes Cereeae and Browningieae (Cactaceae). *Bradleya* **14**: 66-81.
- Mauseth, J., Terrazas, T. y Loza-Cornejo, S. 1998. Anatomy of relictual members of subfamily Cactoideae, IOS group 1<sup>a</sup> (Cactaceae). *Bradleya* **16**: 1-13.
- Metcalfe, C. R. 1968. Current developments in systematic plant anatomy. *V. H. Heywood, Modern Methods in Plant Taxonomy*. London, Academic Press. 312.
- Metcalfe, C. R. y L. Chalk. 1988. Anatomy of the dicotiledons leaves, stem and wood. *Relation to taxonomy with notes on economic uses*. Vol. I. 2<sup>a</sup> ed. Oxford, Clarendon Press. 722.
- Moran, R. 1977. ¿ Qué hacer con *Cereus pensilis*?. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **22**: 31-32.
- Morton, A. G. 1981. *History of botanical science*. Academic Press. London. 474.
- Nyffeler, R. y U. Eggli. 1997. Comparative stem anatomy and systematics of *Eriosyse sensu lato* (Cactaceae). *Annals of Botany* **80**: 767-786.
- Sajeve, M. y J, Mauseth. 1991. Leaf-like structure in the photosynthetic, succulent stems of



cacti. *Annals of botany* **68**: 405-411.

- Sass, J. 1958. *Botanical microtechnique*. 3<sup>a</sup> ed. The Iowa State University Press, Ames Iowa . U.S.A. 228.
- Stuessy, T. 1990. *Plant taxonomy. The systematic evaluation of comparative data*. Columbia University Press. New York. U.S.A. 514.
- Sutcliffe, J. 1979. *Plants and water*. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London. 81.
- Tryon, R. M. 1964. Evolution in the leaf of living ferns. *Memoirs of the Torrey Botanical Club* **21**: 73-85.
- Venning, F. D. 1949. Stimulation by wind motion of collenchyma formation in celery petioles. *Botanical Gazette* **110**: 511-514.
- Willmer, C. 1983. *Los estomas*. Librería Agropecuaria. Argentina. 192.
- Zlotnik, A. 1987. Anatomía comparada de dos formas de crecimiento de la especie *Polypodium aureum* L. (Filicales. Pterophyta). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. 93.