

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO ANATOMICO
COMPARATIVO DE LA RAIZ DE ALGUNAS
ESPECIES DEL GENERO **OPUNTIA** DE MEXICO

T E S I S

que para optar al Título de

B I O L O G O

p r e s e n t a

ELSA MARIA ENRIQUEZ GONZALEZ

México, 1967.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

A Maria

y

Jesús

A

Mis padres:

Sr. Profr. Luis Enríquez H.

Sra. Joya Enríquez G.

con profunda gratitud.

A mis hermanos.

A todas aquellas que fueron luz en
mi vida y forjaron en mí lo que soy.

Agradezco a la Dra. Helia Bravo, Directora del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México, el haberme permitido desarrollar el presente trabajo en el laboratorio del mismo y de una manera muy especial a mi maestro Biólogo Javier Valdés Gutiérrez, por las orientaciones generales y valiosa dirección; así como a mi maestro M. en C. Rafael Martín del Campo, al Biólogo Francisco González Medrano, al Dr. Manuel Ruiz Oronoz y al Dr. Ramón Riba, por los consejos pertinentes frecuentemente otorgados.

CONTENIDO

- I.—Introducción.
- II.—Colección del Material.
- III.—Métodos.
 - A.—Examen en vivo a simple vista.
 - B.—Examen en vivo al microscopio.
- IV.—Técnicas.
 - A.—Fijadores.
 - B.—Determinación de compuestos.
- V.—Descripción de las especies estudiadas.
 - A.—Taxonomía.
 - B.—Distribución.
- VI.—Descripción anatómica comparativa.
- VII.—Resumen.
- VIII.—Bibliografía.

I.—INTRODUCCION

Las Cactáceas, aunque no pueden considerarse como una rareza en México, no dejan de llamar la atención, cuando se encuentran cubriendo en forma densa y homogénea, grandes extensiones de terreno. Constituyen un elemento tan característico de la vegetación de las zonas semiáridas y áridas del país, que muchas veces el nombre de México está ligado a las nopaleras, al nopal o las tunas.

Son plantas que por su abundancia dan una fisonomía peculiar a nuestras zonas áridas y a las que se les ha dado cierta atención desde el punto de vista de su distribución, taxonomía y, más aún, desde el punto de vista económico, sobre todo de algunas especies, como **Opuntia streptacantha**, que además de ser forrajera, sus frutos, las tunas, han sido ampliamente industrializadas en algunos Estados de la República, como en San Luis Potosí, para la elaboración de numerosos productos.

Sin embargo, desde el punto de vista anatómico, son muy pocas las aportaciones que existen en México, sobre estas plantas y fue esa la causa principal que nos movió a realizar el presente trabajo.

Lamentamos no haber podido llevar a efecto un estudio completo del género **Opuntia**, sino que sólo hemos escogido algunas especies entre las más conocidas y hemos enfocado nuestro estudio a un sólo órgano, la raíz, por la gran importancia que tiene en la adaptación de estas plantas al medio xérico.

El material elegido corresponde a seis especies del género **Opuntia**, colectadas en diferentes partes de la República y transplantadas posteriormente a Jardín Botánico de la U. N. A. M.

II.—COLECCION DE MATERIAL.

Las especies estudiadas corresponden a ejemplares que fueron colectados en diferentes partes de la República y trasplantados posteriormente al Jardín Botánico Exterior de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El tiempo de trasplante de estas especies es de dos a tres años aproximadamente. El lugar de procedencia de cada uno es el siguiente:

Opuntia streptacantha, San Luis Potosí.

Opuntia robusta, San Luis Potosí.

Opuntia Engelmannii, San Luis Potosí.

Opuntia Kleiniae, Hidalgo.

Opuntia leptocaulis, Hidalgo.

Opuntia imbricata, Zacatecas.

III.—METODOS.

Se siguieron en el Laboratorio, dos métodos principalmente:

A.—Observación a simple vista para obtener datos relacionados con el color, textura y morfología externa de la raíz.

B.—Observación en vivo al microscopio.

IV.—TECNICAS

Después de haber sido colectadas las raíces de su medio ambiente, fueron lavadas cuidadosamente, con el fin de quitar todas las partículas de tierra y facilitar su observación.

En seguida se hicieron pequeños trozos (1 cm. aproximadamente) y fueron colocados en fijador F.A.A., recomendado por su doble acción de: fijador y conservador.

Su fórmula es:

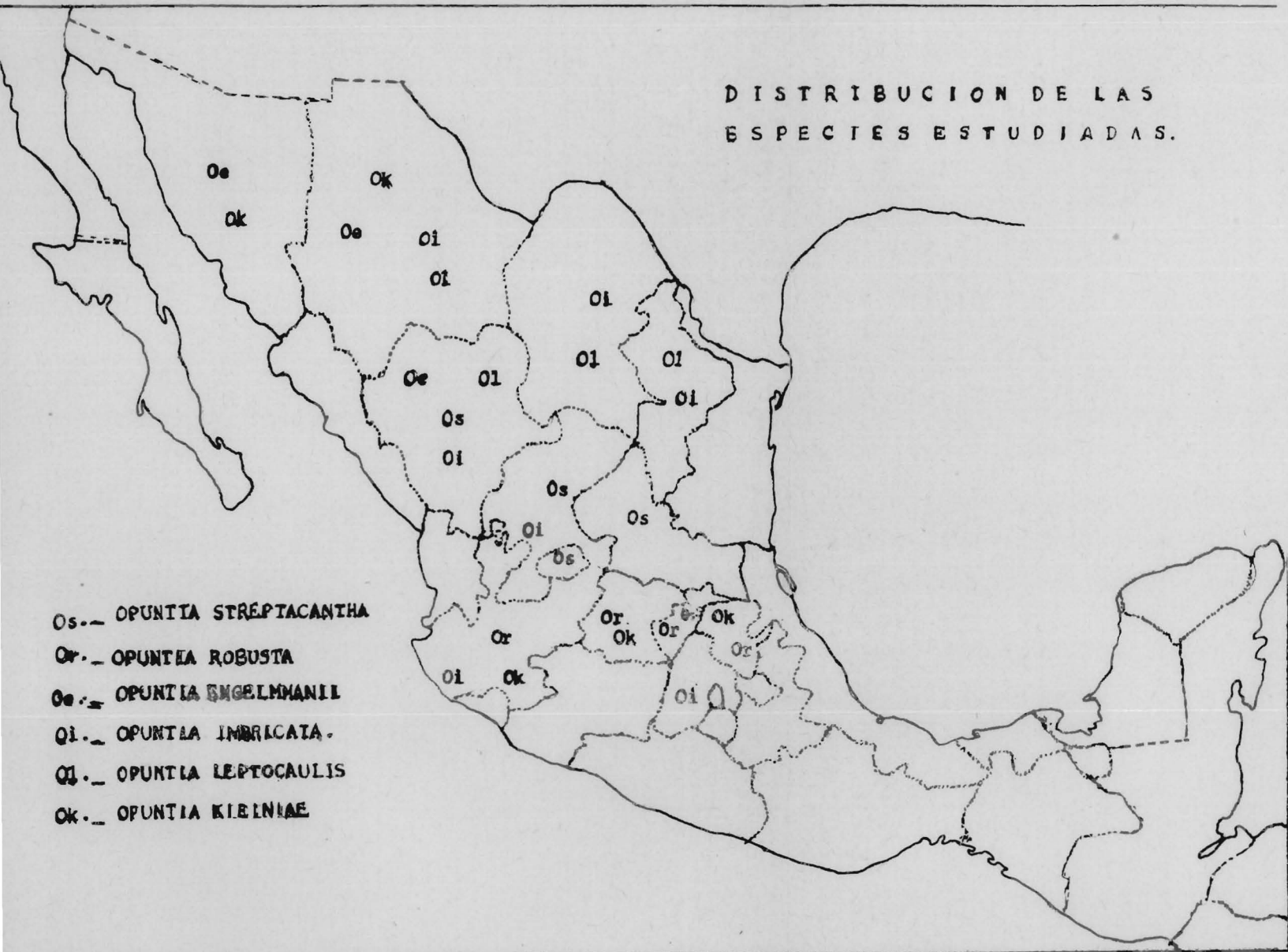
Alcohol etílico	50 cc.
Acido acético glacial	5 cc.
Formol comercial	10 cc.
Agua destilada	35 cc.

ESPECIES	Nombre Vulgar	Tipo de Vegetación	Tipo de Clima	DISTRIBUCION
Opuntia Streptacantha	Tuna Cardona, Nopal Cardón, Esférica en Jalisco	Nopaleras	BSK y Bsk	Es común en la Altiplanicie, especialmente en los Estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Aguascalientes y Querétaro.
Opuntia Robusta	Tapona, Tuna camuesa en Zacatecas	Nopaleras	BW	Estados del Centro de la República.
Opuntia Engelmannii	Nopal	Nopaleras	BWw	Chihuahua, Durango y Sonora.
Opuntia Imbricata	Joconoxtle, Velas Coyote, Entraña en Nuevo México	Matorral desértico micrófilo	BWw Y CW	Jalisco, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, Jalisco y Estado de México.
Opuntia Leptocaulis	Alfilerillo, Tasajillo	Matorral desértico micrófilo	BWw, CW, BSKwg.	Se encuentra ampliamente distribuido en los Estados del Norte de la República.
Opuntia Kleiniae	Tasajos y Tasajillos	Matorrales y Nopaleras junto con Prosopis	CW Y BWw	Se encuentra distribuido en los Estados del Centro de la República.

CUADRO No. 1

DISTRIBUCION DE LAS
ESPECIES ESTUDIADAS.

- Os. — OPUNTIA STREPTACANTHA
Or. — OPUNTIA ROBUSTA
Oe. — OPUNTIA ENGELMANNII
O1. — OPUNTIA IMBRICATA.
O1. — OPUNTIA LEPTOCAULIS
Ok. — OPUNTIA KIEHNIAE



El tiempo de fijación fue desde 12 horas hasta un tiempo indefinido.

En seguida se hicieron cortes transversales y longitudinales con el micrótopo de congelación.

Posteriormente los cortes fueron observados con el microscopio del Contraste de Fases que puso en evidencia estructuras difíciles de distinguir con el microscopio ordinario.

B.—Determinación de compuestos.

Las sustancias a determinar fueron las siguientes:

- a.—Celulosa.
- b.—Lignina.
- c.—Almidón.
- d.—Grasas.
- e.—Mucílagos.

Los colorantes utilizados para cada uno fueron:

- a.—Para la celulosa: Rojo congo, solución acuosa al 1 %.
- b.—Para la lignina: Fluoroglucina clorhídrica al 1%.
- c.—Para almidón: Lugol.
- d.—Para grasas: Sudán III en solución acuosa.

Los resultados obtenidos se darán a conocer en la descripción particular de cada una de las especies estudiadas.

Los cortes se sometieron a tinción usando safranina en solución acuosa para poner en evidencia algunas estructuras que no era posible observar en vivo. Se deshidrató con alcoholes graduales y se montó en bálsamo de Canadá. Se obtuvieron preparaciones muy demostrativas.

V.—DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS.

A.—Taxonomía.

B.—Distribución.

Opuntia streptacantha. Lemaire. Cact. Gen. Nov. Sp. 62, 1839.

Planta arborescente que alcanza hasta cinco metros de altura, con tronco de 45 cms. de diámetro, muy ramificado, cladodios obovados u orbiculares de 25-30 cms. de longitud y de color verde oscuro; aréolas pequeñas, más o menos próximas; espinas numerosas un tanto aplanadas, blancas; glóquidas de color moreno rojizo; flo-

res amarillas o anaranjadas, de 7-9 cms. de diámetro; lóbulos del estigma 8-10, verdes, fruto globoso de 5 cms. de diámetro, rojo, a veces amarillo.

Esta especie es una de las más importantes desde el punto de vista de la economía, especialmente en el Estado de San Luis Potosí.

Distribución geográfica.—Es común en la Altiplanicie, especialmente en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Aguascalientes y Querétaro.

Opuntia robusta. Wendland in Pfeiffer, Enum. Cact. 165. 1837.

Plantas con frecuencia erectas, algunas veces de 5 dms. de altura, en general muy ramificadas; cladodios orbiculares u oblongos de 20 a 25 cms. de longitud por 10 a 12 cms. de ancho, muy gruesos, de color azul verde o verde claro, espinas agudas de 4 mm. de largo, rojizas, fuertes, espinas de 8 a 10 muy diversas, morenas o amarillas en la base, blancas encima; de 5 cms. de longitud, pero con frecuencia escasas en los ejemplares de invernadero.

Flores de 5 cms. de ancho, amarillas, estigmas lobuladas, verdes, frutos globosos e elipsoidales, al principio más o menos tuberculados, de color rojo fuerte, de 7-9 cms. de longitud.

Distribución geográfica.—Estados del Centro de la República, silvestre o cultivada.

Opuntia Engelmannii. Salm. Dyc in Engelmann. Bost. Journ. Nat. Hist, 6: 207 1850.

Planta erecta de 2 metros de alto, pero más propiamente arbusto, que se extiende desde la base, generalmente sin un tronco definitivo; cladodios oblongos y orbiculares de 2-3 dms. de longitud, gruesos, de color verde pálido; aréolas separadas, un poco largas y combadas, espinas más o menos blancas con la base rojo oscura o morenas y algunas veces con puntas negras, generalmente 3 ó 4, pero a veces solamente 1 o carecer enteramente de espinas; en lo cladodios viejos puede haber 10 o más; hojas subuladas, aproximadamente de 15 mms. de largo, numerosas glóquidas morenas con puntas amarillas; flores largas, amarillas. Frutos de 3.5 a 4 cms. de longitud, de color rojo; semillas pequeñas de 3 a 4 mms. de diámetro.

Distribución geográfica.—Se extiende desde Durango hasta los Estados de Chihuahua y Sonora, llegando hasta Arizona.

Opuntia imbricata. (Hawort) De Candolle. Prodr. 3; 471 182. 1828.

Planta arborescente. con frecuencia de tres metros de altura, con un tronco de 2.5 cms. de diámetro; cladodios de 2-3 cms. de diámetro, fuertemente tuberculados, espinas de 8-24 mm. de longitud, achata-
dadas lateralmente. Las espinas son morenas, cubiertas con vainas papiráceas; flores que nacen en las ramas, terminales de 4-6 cms. de longitud, algunas veces de 8-9 cms. de ancho, moradas; ovario tuberculado, llevando cerdas las aréolas superiores; frutos desnudos amarillos, de 2-3 cms. de largo, fuertemente tuberculados, o cuando son más largos, lisos Semillas de 2.5 a 3.5 mm. de diámetro.

Distribución geográfica.—Jalisco, Zacatecas. Durango, Chihuahua, Nuevo León, Coahuila, y Estado de México.

Opuntia leptocaulis. De Candolle. Mem. Mus. Hist. Nat. París 17. 18. 1828.

Planta generalmente arbustiva, con frecuencia compacta, de 2-5 metros de altura, pero algunas veces de menor tamaño. Troncos definitivos de 5-6 cms. de diámetro, de color verde pálido con manchas oscuras abajo de las aréolas; delgados cilíndricos, ascendentes, con fuertes ramas tuberculadas, generalmente con espinas juntas que se encuentran en los ángulos rectos de las ramas principales; muy fácilmente desprendibles, espinas verdes. de forma puntiaquda, de 12 mm. de largo o menos, agudas. Las espinas generalmente solitarias en las aréolas jóvenes, muy delgadas y blancas, en las aréolas de las ramas viejas, en grupos de 2 a 3 y de 2 5 cms. de longitud o menos. Las vainas de las espinas amarillentas parduscas o blanquecinas; aréolas con lana blanca corta; flores cerdosas o amarillas, de 1-2 cms. de longitud incluyendo el ovario. Sépalos anchos, ovalados, agudos o cuspidados; ovario obcónico, llevando pequeños manchones de lana morena, encerrados en las aréolas por pequeñas hojas. Sus glóquidas morenas, frutos pequeños, globulosos y obovados, o en forma de clava, con frecuencia muy abundantes, rojos o raramente amarillos, de 10 a 18 mm. de longitud, turgentes, ligeramente suculentos; semillas ligeramente comprimidas, de 3-4 mm. de ancho con márgenes estrechos y agudos.

Distribución geográfica.—Se encuentra ampliamente distribuido en los estados del Norte de la República.

Opuntia kleiniae. De Condolle. Mem. Mus. Hist. Nat. París. 17. 118. 1828.

Esta planta posee tallos de color verde pálido, algunas veces de 2.5 metros de alto, leñosa en la base, tubérculos largos aréolas largas, un poco más largas que anchas, con lana blanca. Generalmente una sola espina, pero algunas veces más en la base de la aréola, cubiertas de una vaina amarilla y acompañada por algunas cerdas semejantes a espinas colocadas abajo de la aréola; glóquidas amarillas o morenas; hojas lineares de 15 mm. de largo, puntiagudas. Flores de 3 cms. de color violeta. Pétalos anchos rodeando al ápice. Frutos rojos de 2-2.5 cms. de longitud y de larga duración; semillas de 4-5 mms. de ancho.

Distribución geográfica.— Estados del Centro de la República.

VI.—DESCRIPCION ANATOMICA COMPARATIVA.

OPUNTIA STREPTACANTHA.

Peridermo.

En las secciones transversales de raíz de **Opuntia streptacantha**, las células que forman el peridermo constituyen una capa de cuatro a cinco hileras que se encuentran íntimamente unidas entre sí, de forma prismático-rectangular, de aproximadamente 45 micras de largo por 14 micras de ancho. Las paredes celulares se encuentran fuertemente engrosadas debido a la presencia de lignina puesta de manifiesto por medio de fluoroglucina clorhídrica al 1%. En el interior de estas células se observa la presencia de mucílago, que al ser tratado con rojo de rutenio, adquiere el aspecto de masas gelatinosas de color moreno oscuro brillante.

El eje mayor de estas células se encuentra orientado en sentido perpendicular a los radios de parénquima. En conjunto el aspecto general de este tejido es el de una banda que presenta ondulaciones a lo largo de toda la raíz por la disposición característica de sus elementos.

Corteza.

A continuación del peridermo se encuentra la corteza. En esta especie es notable por las células elipsoidales que la constituyen, de gran tamaño, que miden de 61 a 65 micras de largo por 20 o 24 mi-

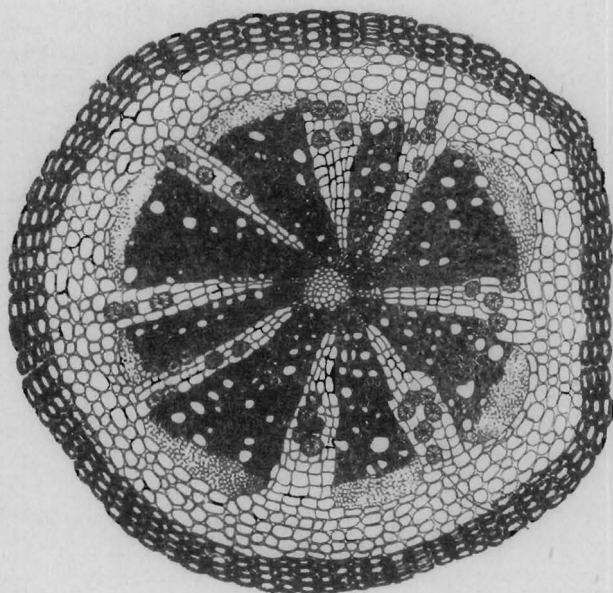


Opuntia streptacantha - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.

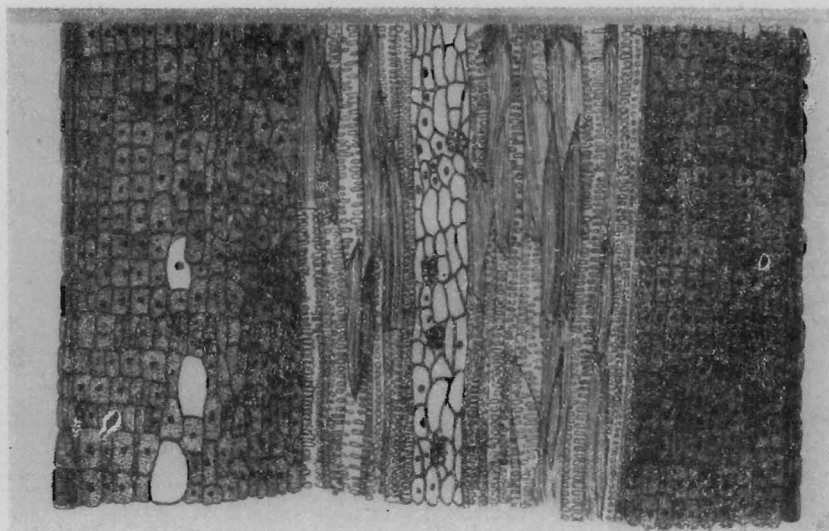


Opuntia robusta - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.





Opuntia streptacantha - Dibujo del corte transversal de raíz



Opuntia streptacantha - Dibujo del corte longitudinal de raíz.

cras de ancho y cuyas paredes redondeadas permiten que se formen entre ellas pronunciados espacios intercelulares. Sin embargo, el tamaño de las células que forman el tejido no es el mismo para todas, porque alternan grandes con pequeñas y con otras de mediana dimensión; con todo, son las de mayor tamaño las más abundantes.

Este tejido está constituido por hileras celulares que se agrupan en número de cinco a seis. Es notable entre ellas la presencia de cristales de oxalato de calcio reunidos en forma de drusas.

Cilindro Central.

El cilindro central comprende el sistema de conducción de la raíz.

Está formado por el xilema primario y secundario y el floema primario y secundario, dispuestos en forma de haces colaterales cerrados. El xilema a su vez está formado por vasos leñosos, fibras leñosas y parénquima leñoso; el floema por los vasos liberianos, fibras liberianas y células parenquimáticas, alterna con cada uno de los cordones conductores, gruesos radios de parénquima medular.

Los cordones de parénquima medular se extienden a lo largo de todo el cilindro central y su número varía según la edad de la raíz, pues se ha observado que en raíces jóvenes, el número de cordones es menor y que aumenta con la edad de la planta.

En las secciones transversales de *Opuntia streptacantha*, los radios de parénquima están constituidos por hileras de células que se acumulan en número de tres a cuatro en todo el espesor del radio, aunque se ha visto también que este número puede variar, reduciéndose cerca de la médula y aumentando a medida que los cordones se acercan a la periferia. No sólo se nota un número mayor de células de parénquima radial en las porciones terminales del cilindro central, sino también el diámetro de ellas es mayor.

Todos los radios de parénquima en esta raíz son semejantes, siendo las células más grandes que las laterales de mismo cordón. El tamaño de estas oscila entre 36 y 54 micras de largo por 14 a 31 de ancho. La forma es un tanto irregular, observándose algunas elipsoidales cerca de la médula y cuadrangulares en la periferia. Entre estas células se hallan pequeñísimos espacios intercelulares y además cristales de oxalato de calcio agrupados en forma de drusas.

Los haces de xilema primario se encuentran colocados en sentido opuesto a los cordones de parénquima medular, siendo en esta especie ocho, por lo que se dice que es octarco o poliarco.

Xilema Secundario.

El xilema secundario está formado por vasos leñosos, que se disponen de una manera irregular en todo el haz conductor, el número de haces conductores varía en cada una de las especies estudiadas. En este caso la raíz tiene ocho cordones de xilema secundario extendiéndose a lo largo de toda la raíz.

La distribución de los vasos carece de orden aparente; sin embargo, algunos se disponen en hileras a los lados del cordón conductor.

El tamaño es irregular y el diámetro máximo es de 50, micras; sus paredes tienen un grosor de 3.6 y 13.2 micras; éstas en algunos casos son lisas, pero en la mayoría dan la impresión de formar figuras geométricas, casi poligonales.

En las secciones tangenciales de raíz de *Opuntia streptacantha*, los vasos presentan diferentes ornamentaciones que pueden ser: espiralada, punteada, anillada y el diámetro de cada uno es variable; los más pequeños alcanzan 5 micras y los mayores 15.

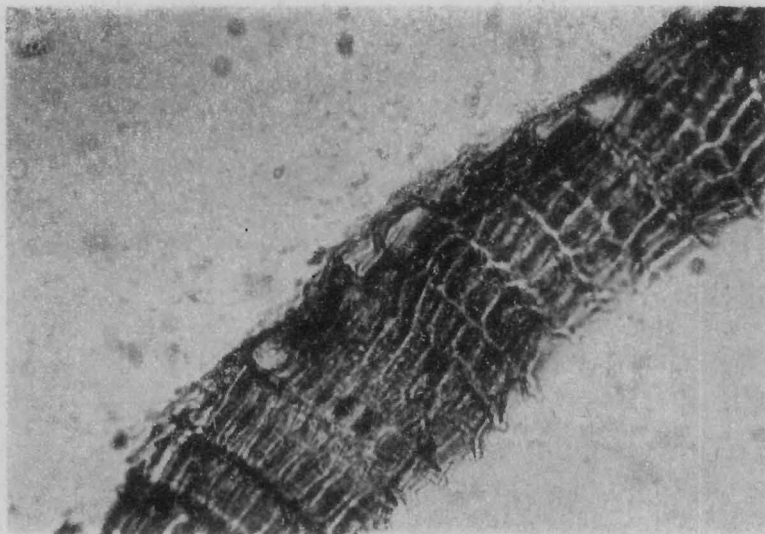
Los vasos están acompañados de fibras, las cuales ocupan todo el haz conductor. La forma de las fibras en sección transversal no es regular, pero son poliédricas. Su tamaño es de 14.4 micras y las paredes son moderadamente espesas de 10 y 11 micras de grosor.

Floema primario y secundario.

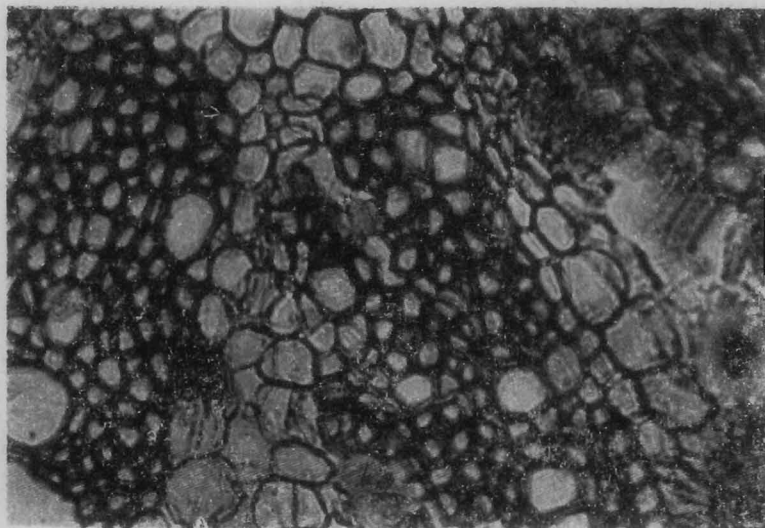
Hacia la periferia y en contacto con los cordones de xilema se encuentra el floema secundario, constituido por multitud de vasos de diámetro pequeño, surgiendo imperceptiblemente abajo de la corteza. El floema primario que contiene vasos más pequeños todavía, se encuentra en comunicación con el floema secundario. El aspecto de este tejido es de cordones en número equivalente y en contacto con los haces de xilema secundario.

Médula.

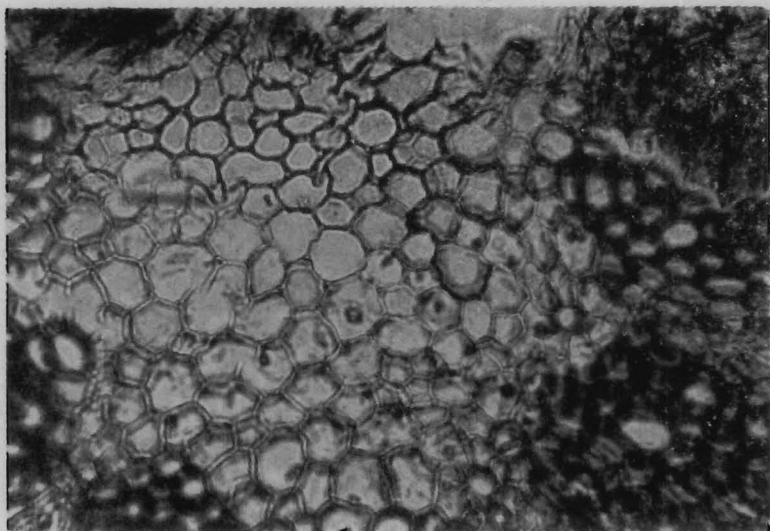
La médula es la parte central del cilindro vascular y está formada por células parenquimáticas de forma poliédrico-esferoidal con un diámetro aproximado de 28 micras, íntimamente unidas entre sí.



Opuntia streptacantha - Detalle de peridermo en corte transversal 16/0.40 X



Opuntia streptacantha - Haces conductores, parénquima medular y médula 16/0.40 X



Opuntia streptacantha - Médula, corte transversal 16/0.40 X



Opuntia streptacantha - Vasos, fibras y parénquima medular con drusas 16/0.40 X
Corte longitudinal.

OPUNTIA ROBUSTA.

Peridermo.

El peridermo de la raíz de **Opuntia robusta** está formado por células de forma prismático-rectangular cuyas paredes se encuentran en comunicación con las paredes de las células vecinas. Su tamaño varía entre 28 y 54 micras de largo por 10 y 14 de ancho. La disposición de estas es más o menos uniforme alrededor de toda la raíz, pero en algunos tramos se acumulan más que en otros. El peridermo está formado por células que se agrupan en hileras de cuatro, ocho y hasta doce, cuyo eje mayor está orientado en sentido perpendicular a los radios de parénquima medular.

La diferencia más notable de este tejido con la especie anteriormente descrita, radica fundamentalmente en el número de capas que lo forman. En **Opuntia streptacantha** sólo hay de cuatro a cinco estratos; en cambio, en esta especie el número de ellas es mayor.

Otro rasgo característico de esta especie, semejante al que se observa en **Opuntia streptacantha**, es que las paredes celulares se encuentran fuertemente suberificadas, con un grosor de 3.6-4 micras. En el interior de estas células fue posible observar la presencia de mucílago.

C o r t e z a .

La corteza en la raíz de **Opuntia robusta** está constituida por células ovoides, muy alargadas y algunas un tanto esféricas, dispuestas ordenadamente en hileras radiales. Estas células tienen protoplasma algo denso, granuloso y núcleo alargado, excéntrico. Su tamaño varía entre 50 y 80 micras de longitud por 15 y 28 micras de ancho. Las paredes no son uniformes, sino que se advierten ligerísimas ondulaciones al unirse a las células vecinas, dejando entre ellas pequeños espacios intercelulares.

La corteza de esta raíz, al igual que el peridermo, es una de las más gruesas que se han observado, pues el número de capas celulares es de 10 o más. En **Opuntia streptacantha** el número de células que la constituyen es menor.

Las células que integran este tejido se encuentran dispuestas de la siguiente manera: las de diámetro más reducido están colocadas al terminar el cilindro central; en seguida se encuentran las

de mayor longitud y, por último, las que están en contacto con el peridermo, son de diámetro menor.

Es interesante hacer notar que este tejido en **Opuntia streptacantha** tiene una estructura más uniforme, mientras que en **Opuntia robusta** las diferencias de tamaño son muy evidentes.

Cilindro Vascular.

Está constituido por nueve cordones de parénquima medular dispuestos alrededor de toda la raíz. Estos cordones alternan con los de xilema.

La estructura de los cordones de parénquima es la siguiente: las células que lo integran son de forma variable, observándose que las dispuestas cerca de la médula son alargadas, pero su forma y tamaño varían a medida que se acercan a la periferia; además, las centrales del cordón son casi esféricas; otras tienden a ser cuadrangulares y las de la periferia poligonales. Se encuentran íntimamente unidas entre sí, de tal manera que no se observan entre ellas espacios intercelulares, y si en algunos casos se ven, éstos son muy pequeños.

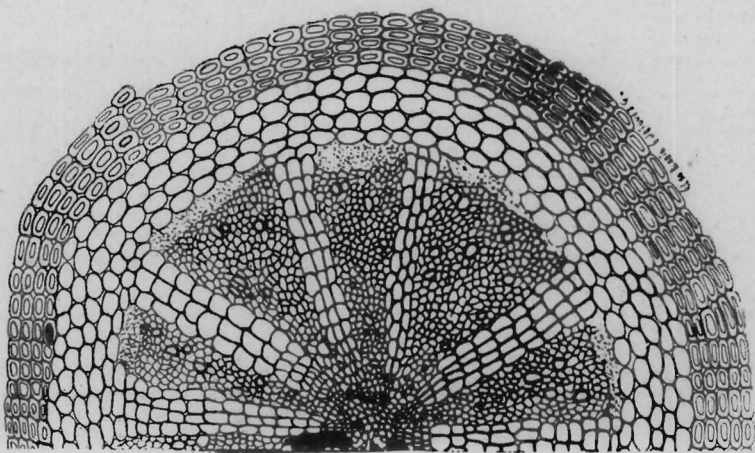
El aspecto de las células vistas de frente es homogéneo, con protoplasma no granuloso y núcleo central esférico.

Haciendo una comparación de todos los cordones medulares de esta especie, la morfología celular no es la misma para cada uno de los radios, sino que es susceptible de sufrir variaciones, y así en las porciones periféricas de algunos cordones, adoptan una forma prismático cuadrangular.

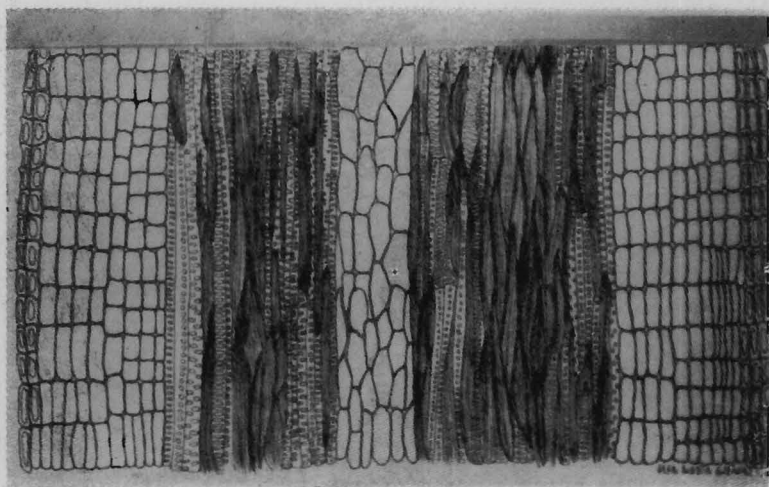
El xilema primario es de nueve cordones opuestos a los radios medulares. En el cilindro central, además de los cordones de parénquima, se encuentran los haces conductores formados por el xilema secundario, fibras leñosas y parénquima leñoso.

Xilema Secundario.

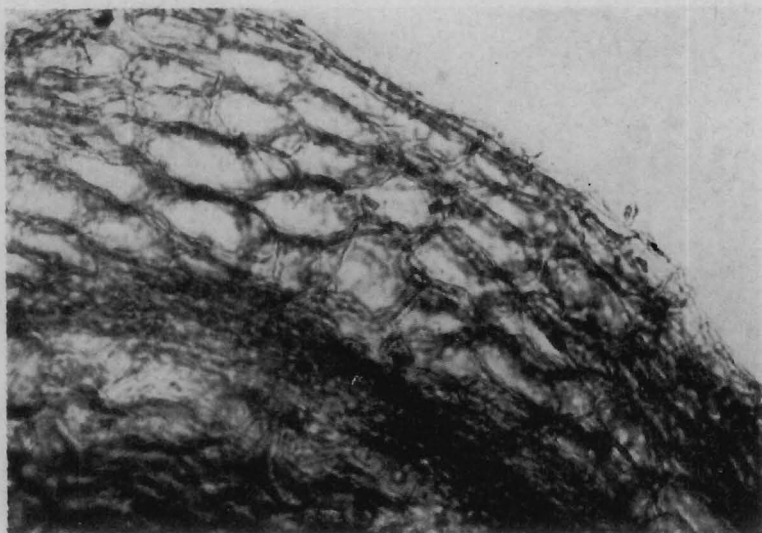
El xilema secundario en esta especie comprende los vasos leñosos, su disposición es bastante irregular en cada uno de los haces vasculares dando la impresión de no tener orden en su colocación. El diámetro de estos vasos es muy variable y se encuentran desde unas cuantas micras hasta un diámetro máximo de 54 micras. El contorno de las paredes no es uniforme; en algunos es típicamente redondeado, pero en otros es alargado, mientras que muchos adoptan una



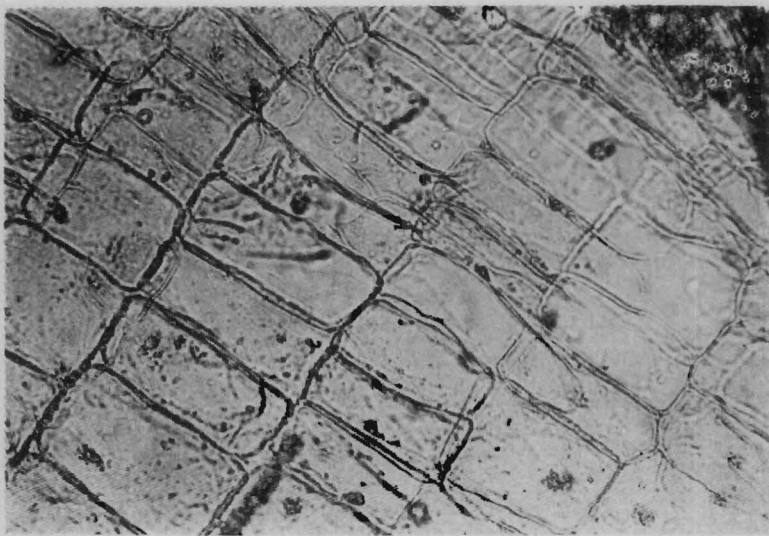
Opuntia robusta - Dibujo de una sección del corte transversal de raíz.



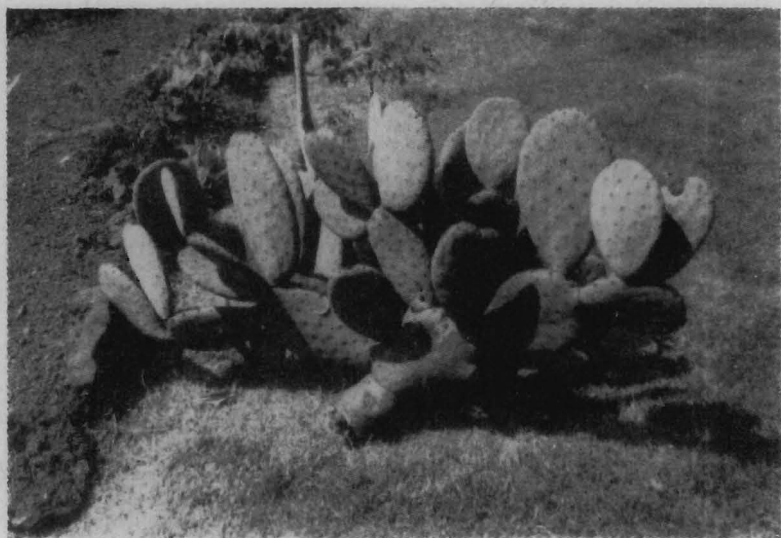
Opuntia robusta - Dibujo del corte longitudinal de raíz.



Opuntia robusta - Corte transversal de corteza 16/0.40 X



Opuntia robusta - Corte longitudinal de parénquima cortical. 16/0.40 X



Opuntia Engelmannii - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.



Opuntia imbricata - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.

forma poligonal. El grosor de las paredes presenta una peculiaridad, su fuerte lignificación, por lo que en ellos encontramos una clara diferenciación entre sus paredes y las fibras que las rodean.

En los haces conductores se observa la presencia de las fibras leñosas que constituyen el tejido de resistencia o esclerénquima y que también se encuentran fuertemente lignificadas. En la sección transversal de la raíz de **Opuntia robusta** el aspecto de las fibras es de forma irregular, un tanto isodiamétrica y su diámetro varía de 10.8 a 28 micras.

Estas fibras se encuentran íntimamente unidas a los vasos, pero las paredes de éstas son bastantes espesas, con un grosor de 9 y 10 micras.

Floema Primario y Secundario.

En contacto con cada uno de los cordones de xilema secundario, se encuentra el floema secundario, cuyos vasos no es posible diferenciar por el escaso diámetro que presentan y aparecen como si fuesen redes indefinidas. Alternan con los vasos algunas fibras liberianas de estructura poco clara.

Médula.

La médula en esta especie, tomando en consideración su diámetro total, es menor que en **Opuntia streptacantha**. Las células que la integran son semejantes a las de **O. streptacantha**, de forma poliédrica-esferoidal, íntimamente unidas entre sí y de bordes un tanto ondulados. Su diámetro es de 28 micras aproximadamente.

OPUNTIA ENGELMANNII.

Peridermo.

En las raíces de **Opuntia Engelmannii** es notable la peridermis por la gran cantidad de células que la constituyen. Si bien es cierto que existe un número progresivo en cada una de las especies estudiadas con anterioridad en las hileras de células que integran este tejido, es en esta especie en donde alcanzan un espesor mayor. La razón no la podemos deducir con claridad, pero es posible que se deba a la edad de la planta que cada año aumenta en grosor.

Las células que forman esta capa, al igual que en las especies antes descritas, tiene la clásica forma poliédrica-rectangular del pe-

ridermo de las Dicotiledóneas. Sus paredes están fuertemente suberificadas, íntimamente unidas entre sí, y sus células miden de 25 a 46 micras de largo por 14 micras de ancho, con el eje mayor orientado en sentido perpendicular a los cordones de parénquima medular.

Las células se agrupan en hileras de siete, ocho y doce, a manera de ladrillos en un muro. Es notable en el interior de estas células la presencia de mucílago, puesto de manifiesto por medio del rojo de rutenio.

C o r t e z a .

La capa que está a continuación del peridermo de afuera hacia dentro es la corteza, que presenta en esta especie las siguientes características: constituida por células de forma poliédrico-rectangular, aunque no es la única forma que revisten, pues se encuentran también esferoidales y elípticas.

Lo que llama la atención en esta especie, a diferencia de lo que sucede en **Opuntia streptacantha** y **Opuntia robusta** es que, si bien en ellas la corteza tiene ligeros espacios intercelulares, en esta especie alternan células largas con células cortas y se notan claros espacios intercelulares.

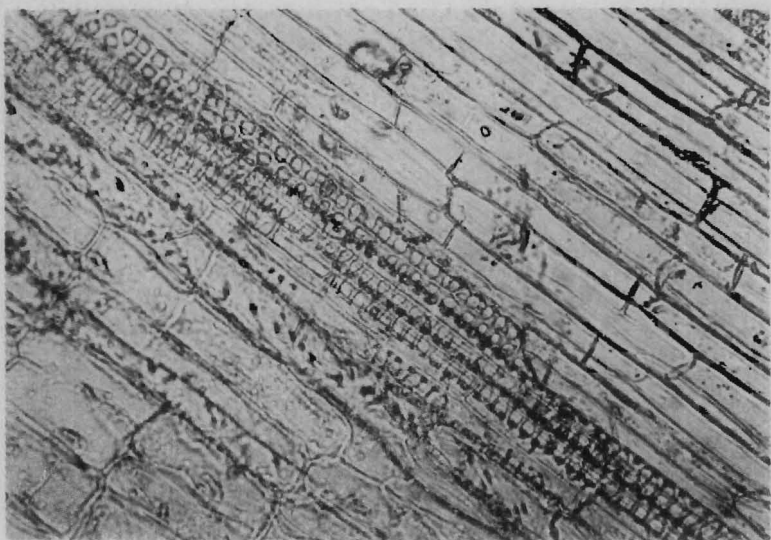
Las células se agrupan formando hileras de cuatro y cinco estratos que miden 10-54, micras de largo por 25-28 micras de ancho. Tienen protoplasma poco denso y núcleo esférico exéntrico.

Cilindro Vascular.

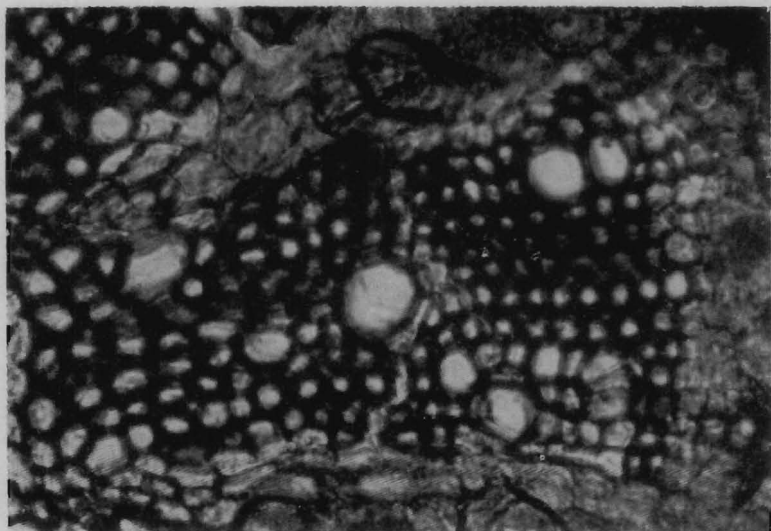
El cilindro central en esta especie lo forman ocho cordones de parénquima medular que alternan con los cordones conductores de xilema secundario que son también ocho.

Cada uno de los cordones medulares tienen en su estructura células de aspecto rectangular y a veces cúbicas. El tamaño de las células no es el mismo a lo largo de todo el cordón, pues en la región próxima a la médula tienen una forma casi esférica y la estructura se modifica conforme se van aproximando a la periferia del cilindro central, adoptando entonces un tamaño mayor y una longitud más pronunciada. Aún en el mismo cordón, las células que se encuentran en la parte central son más grandes que las que se hallan en los bordes.

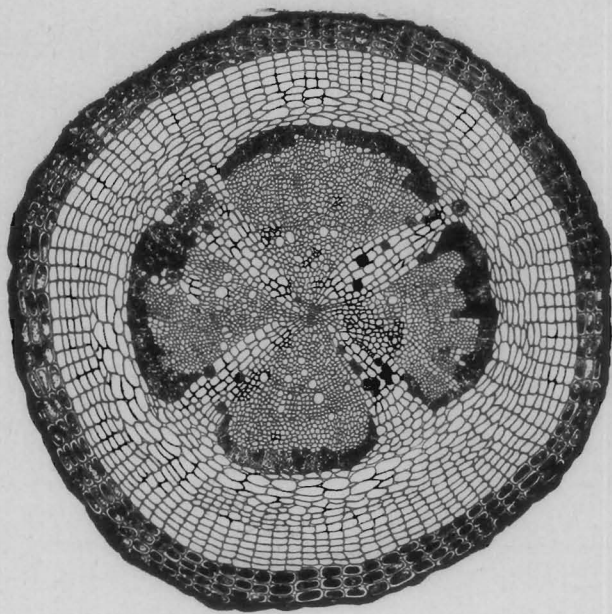
Es curiosa la presencia de cristales de oxalato de calcio agrupa-



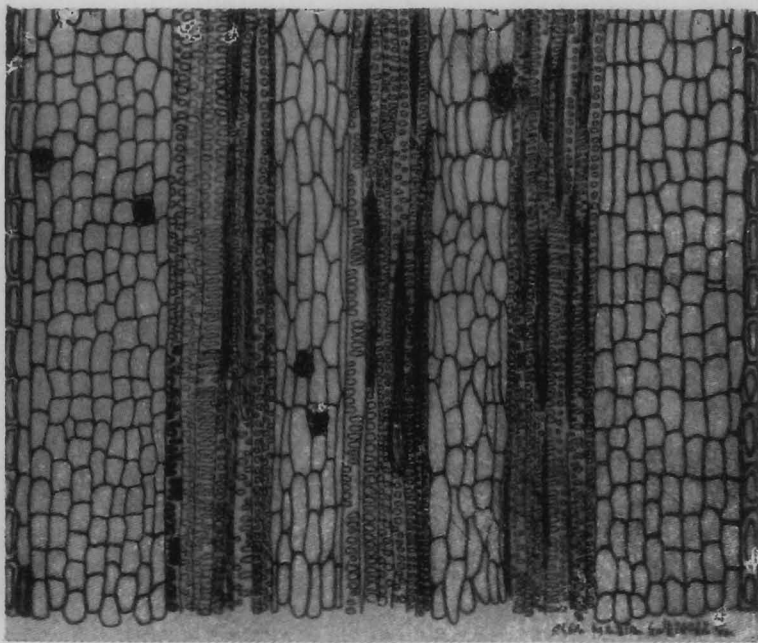
Opuntia robusta - Corte longitudinal de vasos con ornamentaciones. 16/0.40 X



Opuntia Engelmannii - Corte transversal de un haz conductor. 16/0.40 X



Opuntia Engelmannii - Dibujo del corte transversal de raíz.



Opuntia Engelmannii - Dibujo del corte longitudinal de raíz.

dos en forma de drusas entre las células que forman los cordones. Pero el número de drusas es muy inferior en relación con los que se encuentran en **Opuntia leptocaulis** y **Opuntia imbricata**, como se verá posteriormente. En un solo cordón medular se llegaron a contar cinco o seis drusas y el número de células que se agrupan en hileras para formar los cordones son de tres y cuatro. El eje mayor de estas células se encuentra orientado en sentido paralelo a los cordones de xilema secundario.

El xilema primario está formado por ocho cordones, por lo que se dice que es octarco y se encuentra opuesto a los cordones de parénquima medular.

Xilema Secundario.

El xilema secundario está constituido por vasos leñosos y fibras leñosas como en las especies descritas con anterioridad. Los vasos se encuentran raramente distribuidos en hileras. En general su posición es irregular a lo largo de todo el cordón. Un rasgo que nos llama la atención en esta especie es el diámetro de los vasos, que sobrepasa a los de **Opuntia streptacantha** y **Opuntia robusta**, pues llegan a medir de 54 a 60 micras y son de los más grandes de todas las especies estudiadas.

Algunas veces se encuentran aislados, sobre todo aquellos que tienen un diámetro mayor; sin embargo, la mayoría se reúnen en dos o más, especialmente a los lados del cordón conductor.

El contorno de los vasos es irregular, adopta formas variadas, pero en general poliédricas. Es interesante el aspecto y estructura de éstos en los cortes longitudinales de la raíz, en donde se nota una fuerte lignificación de sus paredes y la variedad de ornamentaciones: anilladas, punteadas, cuneiformes, y junto con ellos gruesas fibras de esclerénquima que recorren la raíz en toda su longitud.

En las secciones transversales de raíz, de **Opuntia Engelmannii** las fibras como en las especies descritas inicialmente, tienen un aspecto irregular, pero a diferencia de esas mismas especies, en ésta la distribución que presentan es en hileras, unas tras otra, especialmente en la zona próxima al floema secundario. El diámetro de las fibras oscila entre 18 y 29 micras y sus paredes tienen un grosor de aproximadamente 5 micras. Desde luego que estas paredes están fuertemente lignificadas.

Floema Primario y Secundario.

En contacto con los cordones conductores se encuentra el floema secundario, formado por vasos liberianos cuyo diámetro máximo alcanza 36 micras. El número de éstos es muy reducido y alternan con hileras de fibras y floema primario, que se localiza en la periferia del floema secundario. Cubriendo al floema primario a lo largo de todo el haz conductor, se encuentra una banda de fibras perivasculares.

Médula.

Constituida por parénquima medular, con células esferoidales, pero la mayoría de forma irregular íntimamente unidas entre sí. Las células tienen un protoplasma poco denso y paredes ligeramente onduladas, con un núcleo central esférico. Su tamaño es de 18-28 micras. de 18-28 micras.

OPUNTIA IMBRICATA.

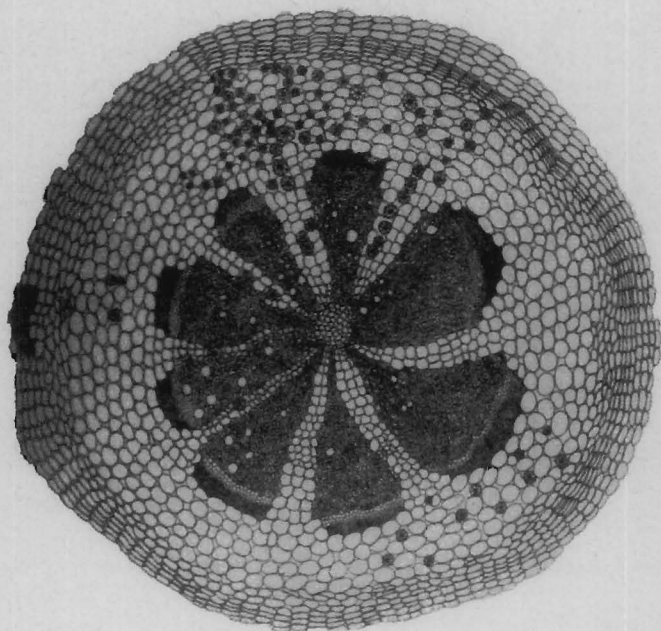
Peridermo.

En las raíces de esta especie la cubierta exterior o peridermo está compuesta por células que presentan la clásica forma prismático-rectangular con gruesas paredes suberificadas, uniéndose íntimamente con las paredes de las células vecinas. Esta zona está formada por cuatro hileras de células de 36 a 54 micras de largo por 14 a 25 de ancho y cuyo eje mayor está orientado en sentido perpendicular con respecto a los cordones de parénquima medular.

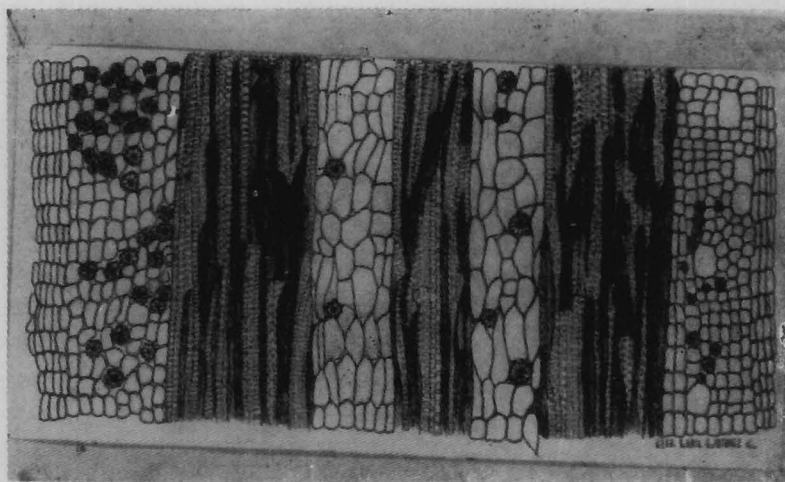
Las capas celulares que se encuentran cerca de la corteza, no se observan completas, debido a que están unas sobre otras, de tal manera que la única que se ve completa es la que está en la periferia del conjunto. El aspecto de toda esta zona, a diferencia de las otras descritas anteriormente, es el de una capa de estructura muy fina. Sin embargo, las células que constituyen el peridermo en esta especie, no son exactamente iguales, sino que alternan grandes con otras de pequeño tamaño. En el interior de ellas se observa la presencia de mucílagos puestos de manifiesto por el rojo de rutenio.

Corteza.

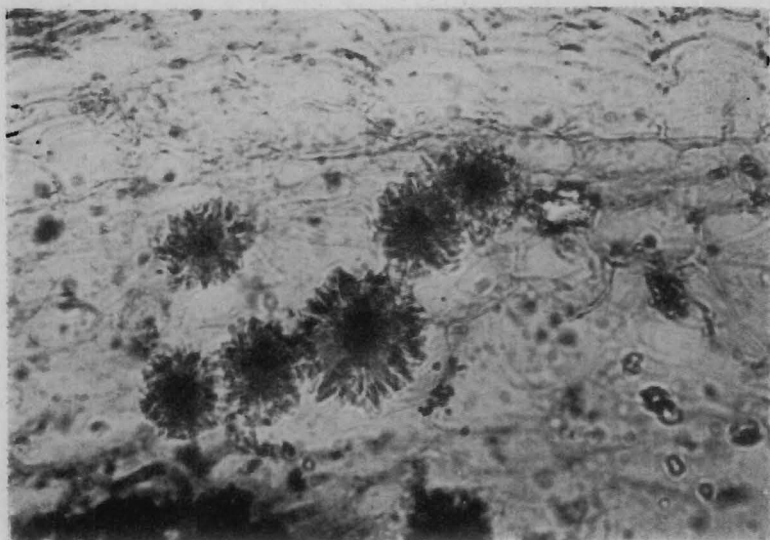
Las células que integran este tejido se agrupan formando una capa de cuatro o cinco hileras. Aunque en la misma especie, en otros



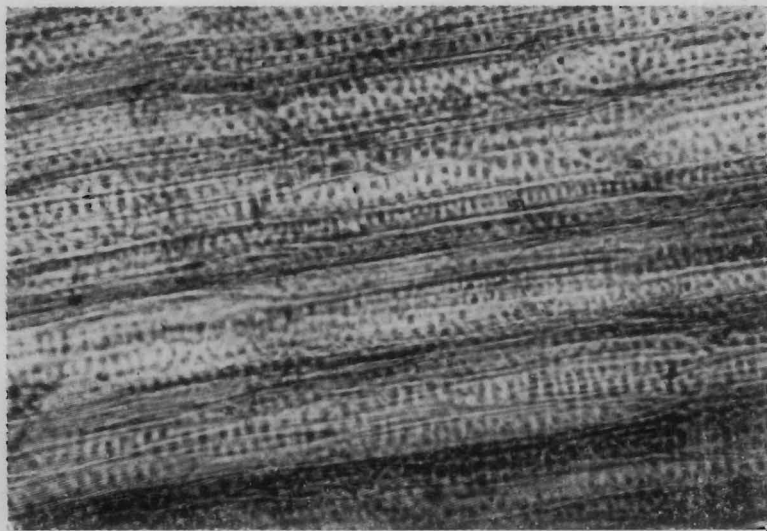
Opuntia imbricata. - Dibujo del corte transversal de raíz.



Opuntia imbricata - Dibujo del corte longitudinal de raíz.



Opuntia imbricata - Corte transversal de corteza con drusas. 16/0.40 X



Opuntia leptocaulis - Corte longitudinal de un haz conductor. 16/0.40 X

cortes se ha observado que pueden ser más y pueden constituir estratos más gruesos, como de seis y ocho hileras celulares.

La forma de estas células es muy irregular, pues no se observa en ella una forma definida, sino que algunas son poliédrico-rectangulares, otras esferoidales y la mayoría poligonales. El tamaño promedio de estas es aproximadamente de 54 a 90 micras de largo por 25 a 54 micras de ancho y en algunos cortes se ven íntimamente unidas entre sí; sin embargo, en otros se observan pequeños espacios intercelulares. Es notable en este tejido la presencia de gran cantidad de cristales de oxalato de calcio agrupados en forma de drusas.

Cilindro Vascular.

Está constituido por cordones de xilema secundario que alternan con cordones de parénquima medular. En **Opuntia imbricata** los cordones no son rectos sino que al salir de la médula presentan una desviación un poco curvada hacia la derecha que le da una fisonomía diferente con respecto a las tres especies descritas.

El parénquima medular de **Opuntia imbricata** presenta las siguientes características: las células que lo integran tienen diferente aspecto a lo largo de todo el cordón; las que se encuentran en la región próxima a la médula son cortas y un tanto alargadas, pero a medida que estas células se aproximan a la periferia del cilindro central, adquieren un aspecto prismático cuadrangular característico. Aún más, en el mismo cordón, las células centrales son diferentes a las de la periferia. Las centrales son prismático-cuadrangulares, las de la periferia son alargadas. Entre las células es notable la presencia de cristales de oxalato de calcio, igual que en **Opuntia leptocaulis**, con la única diferencia de que en esta especie el número de drusas es menor. Las hileras celulares que forman el parénquima medular son de seis a ocho, y las células miden de 25 a 50 micras de largo por 14 a 21 de ancho, con su eje mayor orientado en sentido paralelo a los cordones de xilema secundario.

La acumulación de drusas es mayor en la periferia de los cordones, o sea en la región próxima a la corteza de la raíz. El número de cordones varía según la altura a la que se haga el corte.

El xilema primario está formado por cuatro cordones que se encuentran opuestos a los radios de parénquima medular.

Xilema Secundario.

Se encuentra distribuido en cordones en toda la raíz y su número varía en los diferentes niveles de la misma.

Los vasos leñosos que constituyen el xilema secundario, son numerosos, pero menos que en otras especies, como en **Opuntia leptocaulis**. En un solo cordón se llega a contar de 45 a 50; el diámetro de éstos es variable, desde 10 micras hasta un máximo de 36.

La colocación de los vasos en los haces conductores es irregular en la zona próxima a la médula, al igual que en la periferia del cordón, pero en la parte central los vasos se encuentran de dos en dos, muy cerca uno del otro, formando una hilera radial que divide al cordón conductor en dos regiones. El grosor de las paredes de estos vasos es de 3.6 a 5.4 micras y sus contornos son muy irregulares, casi poliédricos, con finas aristas, uniéndose unas con otras; sin embargo, hay otros vasos, aunque pocos, que tienen paredes redondeadas y uniformes.

Además de los vasos, en el haz conductor se encuentran fibras de formas prismático-cilíndrica que en esta especie revisten una modalidad característica, ya que a pesar de que están fuertemente lignificadas, son más pequeñas que en las otras especies descritas.

Vistos en corte longitudinal, los vasos presentan diferentes tipos de ornamentaciones, punteada, anillada, lenticulares, cuneiformes y están alternando con gruesas fibras de esclerénquima que constituyen el tejido de sostén de la planta.

Floema Primario y Secundario.

Entre los cordones de xilema secundario se insinúa el nacimiento de nuevos radios de parénquima acompañados de drusas. En contacto con cada uno de los cordones conductores se encuentran los haces de floema primario y floema secundario. El aspecto de este tejido es de hileras de vasos que se extienden a lo largo de todo el cordón. Primero se observa el floema secundario en comunicación con el xilema secundario. Sus vasos tienen un diámetro escaso y en contacto con él se encuentran el floema primario, cuyos vasos son más reducidos todavía. Fueron observadas fibras liberianas indiferenciadas.

Médula.

El diámetro de este tejido en conjunto es menor que en las



Opuntia leptocaulis - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.



Opuntia kleiniae - Jardín Botánico Exterior U. N. A. M.

otras especies estudiadas; desde luego, el número de células es también menor, la forma de éstas es prismático-cilíndrica, de bordes muy irregulares e íntimamente unidas con las células vecinas.

OPUNTIA LEPTOCAULIS.

Peridermo.

En la estructura interna de la raíz de **Opuntia leptocaulis**, si bien es cierto que se encuentran los mismos componentes que en las otras especies anteriormente descritas, la estructura particular de cada uno de los tejidos varía un poco en esta especie.

El peridermo presenta un aspecto un tanto diferente al que ya conocemos. En primer lugar, el espesor de las capas es mucho mayor y en ellas podemos distinguir dos porciones: una exterior constituida por células de forma prismático-rectangular, que en su totalidad están fuertemente suberificadas, de paredes gruesas y muy unidas con las paredes de las células vecinas. Su aspecto exterior es de células viejas en vías de desintegración; se agrupan formando una capa de tres a cuatro hileras. La porción interna que le sigue es de tipo diferente aunque el aspecto de las células es el mismo; sin embargo, la suberificación de las paredes es menos intensa y se observa en el interior de ellas una substancia de identidad incierta. Desde luego estas células se observan íntimamente unidas entre sí, de tal manera que no existen espacios intercelulares. Su forma es también prismático-rectangular, miden de 43 a 90 micras de largo por 14-18 de ancho, con el eje mayor orientado en sentido perpendicular a los cordones de parénquima medular. El número de células que forman esta capa es de 6 a 8, dispuestas en capas concéntricas.

Este tejido a lo largo de toda la raíz en su sección transversal tiene el aspecto de una banda de bordes ondulados. El espesor de las paredes es de 7.2 a 10.2 micras.

C o r t e z a .

La capa que se encuentra colocada abajo del peridermo es la corteza que en esta especie se caracteriza por la gran cantidad de cristales de oxalato de calcio agrupados en forma de drusas. En los cortos tramos donde no hay drusas, las células se ven formando un estrato de cuatro o cinco hileras. La forma de dichas células es alargada, de bordes ligerísimamente ondulados, de protoplasma no

granuloso y núcleo central esférico. Miden de 74-96 micras de largo por 25-43 de ancho.

Cilindro Vascular.

Los radios de parénquima que se encuentran distribuidos a lo largo de todo el cilindro vascular, presentan un aspecto muy característico en esta especie. Se observa la formación de nuevos radios que surgen entre el xilema secundario hasta adquirir el aspecto de un cordón adulto.

Es posible distinguir seis cordones de parénquima medular bien formados y es notable entre ellos una gran cantidad de cristales de oxalato de calcio que sobrepasa a las existentes en las especies antes descritas, de tal manera que no es posible distinguir entre ellas a las células que forman el cordón.

En la sección transversal de **Opuntia leptocaulis** aparecen imperceptiblemente, entre los cordones de xilema secundario, nuevos radios de parénquima medular; en total fueron doce los observados en esta especie; desde luego se hizo notar la presencia de drusas entre ellos.

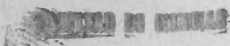
En los cortos espacios libres de drusas en donde fue posible observar las células, éstas adoptan diferentes formas; algunas son prismático-rectangulares que alternan con esferoidales y otras casi prismático-cuadrangulares, sin un orden aparente en el radio. Miden de 7 a 8 micras y su eje mayor está orientado en sentido paralelo a los cordones.

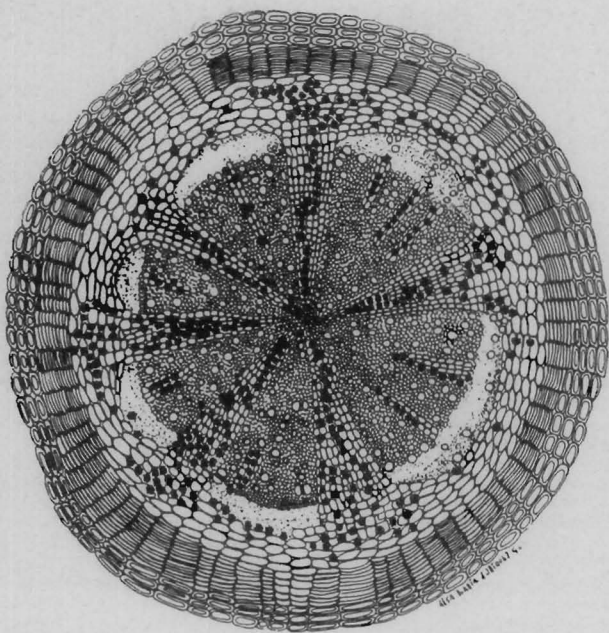
El Xilema primario tiene seis haces o sea es exarco, opuesto a los radios.

Xilema Secundario.

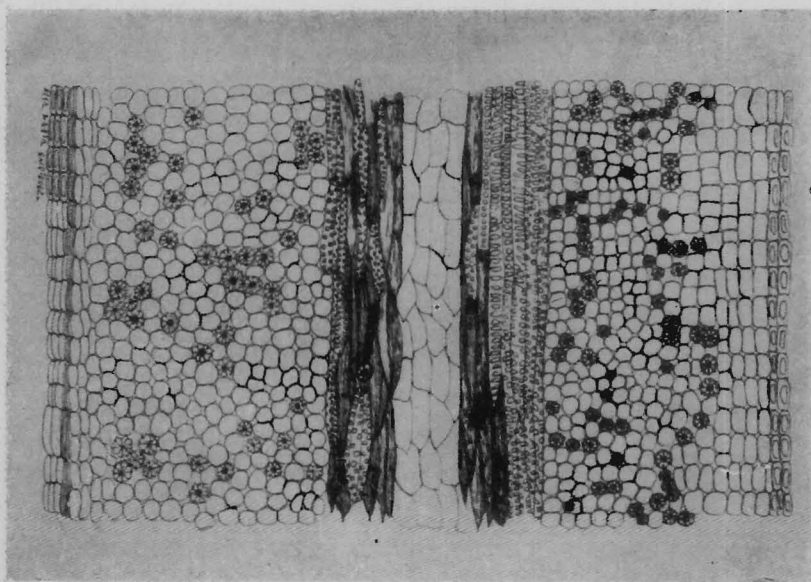
El xilema secundario está constituido por gran cantidad de vasos cuyo diámetro varía notablemente. Hay vasos estrechos, medianos y muy grandes. El diámetro mayor en algunos es de 64.8 micras y existen en mayor cantidad que en ninguna otra especie. En un solo cordón llegamos a contar 135.

La disposición de éstos en el haz conductor es en hileras radiales a lo largo de todo el cilindro central y son pocos los que no siguen esta dirección; asimismo, casi no se les encuentra aislados, pues en general están muy cerca unos de otros. El grosor de sus paredes varía notablemente, ya que su espesor medio es de 9 micras.

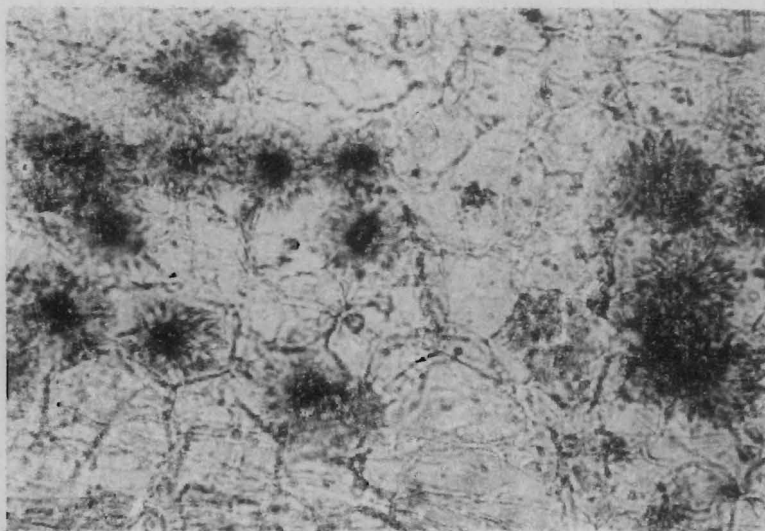




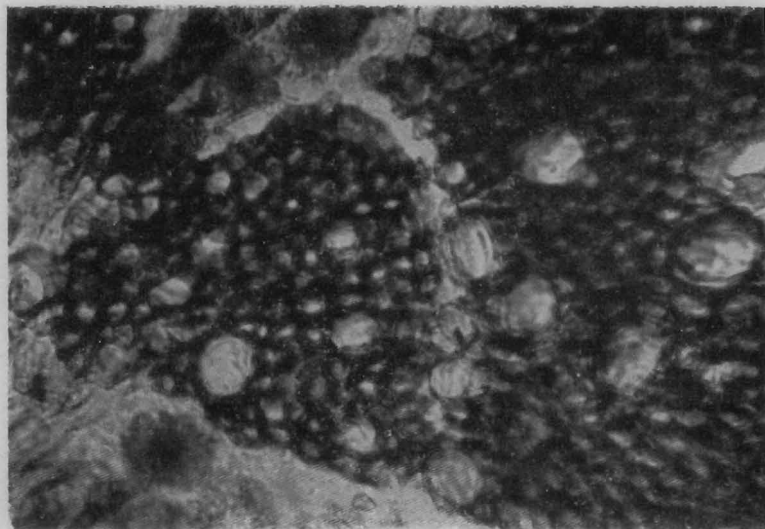
Opuntia leptocaulis - Dibujo del corte transversal de raíz.



Opuntia leptocaulis - Dibujo del corte longitudinal de raíz.



Opuntia leptocaulis. - Corte transversal de un haz conductor 16/0.40 X



Opuntia kleiniae - Corte longitudinal de parénquima cortical con drusas. 16/0.40 X

En corte longitudinal se pone en evidencia el tipo de ornamentaciones que presentan y las más abundantes son punteadas y cu-neiformes. Estos vasos alternan con gruesas fibras de esclerénquima.

En la secciones transversales, las fibras tienen un aspecto prismático. Sus paredes están fuertemente lignificadas y con un grosor de 9 micras.

Floema Primario y Secundario.

En contacto con los cordones de xilema secundario se encuentra el floema secundario formado por vasos de diámetro reducido y de fibras liberianas indiferenciadas. El floema primario casi no fue observado.

Médula .

El diámetro de la médula en conjunto es el más reducido de todas las especies estudiadas y su aspecto en general es el mismo que en las demás. Sus células son prismático-cilíndricas íntimamente unidas entre sí; de protoplasma no granuloso, y, núcleo central esférico, con un tamaño medio de 21 micras.

OPUNTIA KLEINIAE

Peridermo.

El peridermo en *Opuntia kleiniae*, como en las cinco especies descritas antes, está formado por células rectangulares de fuertes paredes suberificadas. El aspecto general de esta capa, al ser observada al microscopio, es como la de una banda con entrantes y salientes. Es posible distinguir en el conjunto de las células que integran este tejido dos partes de aspecto diferente, aunque su estructura es la misma. En la región externa del peridermo, las células poseen una substancia identificada como mucílago, que se encuentra ocupando tres estratos celulares de los ocho que forman el peridermo; las otras cinco capas celulares poseen protoplasma denso y gruesas paredes suberificadas en donde no se observó el mucílago.

Todas las células que integran el tejido se encuentran íntimamente unidas entre sí, con 70 micras de largo por 15 micras de ancho; el eje mayor está orientado en sentido perpendicular a los cordones de parénquima medular.

Corteza .

Constituida por grandes células distribuidas en hileras radiales

que se agrupan formando una capa de cinco o seis estratos celulares, con las paredes compuestas de suberina y sus células unidas a las paredes de las células vecinas. Su forma es elíptica, a veces cuadrangular, con un protoplasma poco denso y núcleo pequeño, esférico central.

El tamaño de las células no es uniforme sino que alternan unas grandes con otras que no presentan las mismas dimensiones, aunque en el tejido, las de mayor tamaño son las más numerosas.

Es notable la ausencia de cristales de oxalato de calcio en la corteza o en otro tejido de la raíz, a diferencia de las cinco especies descritas, en donde su presencia es evidente.

Cilindro Vascular.

Los radios de parénquima medular tienen una forma muy característica en esta especie, tanto por la disposición de los cordones, que es un poco curvada, como por el polimorfismo celular.

Las células de los cordones en la región próxima a la médula son muy cortas y casi esféricas, pocas elípticas; a este nivel son dos o tres los estratos celulares; a medida que éstas ocupan la región central del cordón y se acercan a la periferia, el polimorfismo celular se hace más intenso; las células tienen una forma poligonal característica. Su tamaño promedio es de 54 micras.

A diferencia de otros cordones de parénquima medular, como los que han sido descritos al principio, éstos presentan sustancias de reserva, como almidón, puesto de manifiesto por unas gotas de lugol.

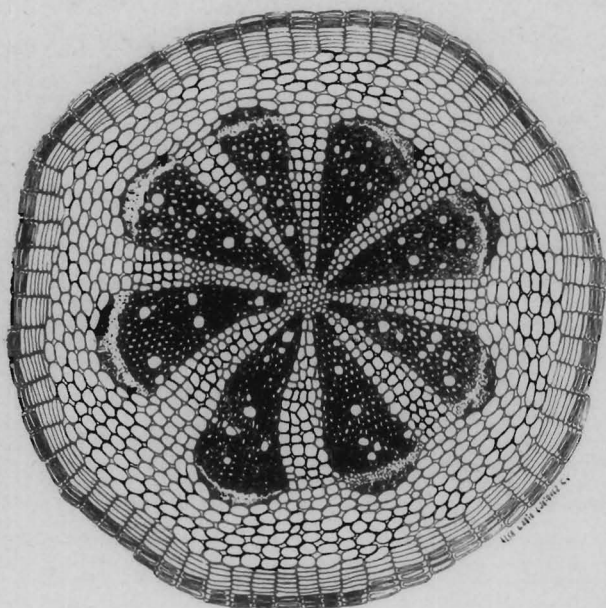
El xilema primario es octarco, o sea está formado de ocho cordones de parénquima medular, que también son ocho.

Xilema Secundario.

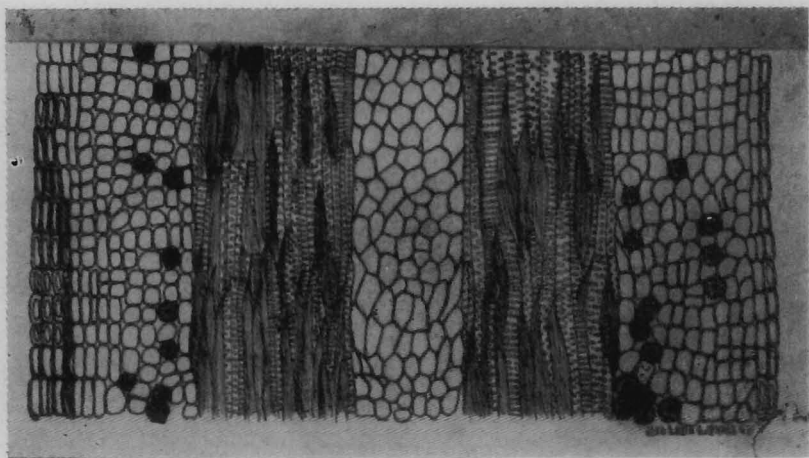
Los cordones de xilema secundario en esta especie son ocho, con gran cantidad de vasos que, si bien son numerosos, no alcanzan las cifras que en **Opuntia leptocaulis**.

La distribución que presentan en los haces no es muy regular sino que en general carecen de orden; no obstante, hay algunos que se distribuyen a los lados del haz conductor.

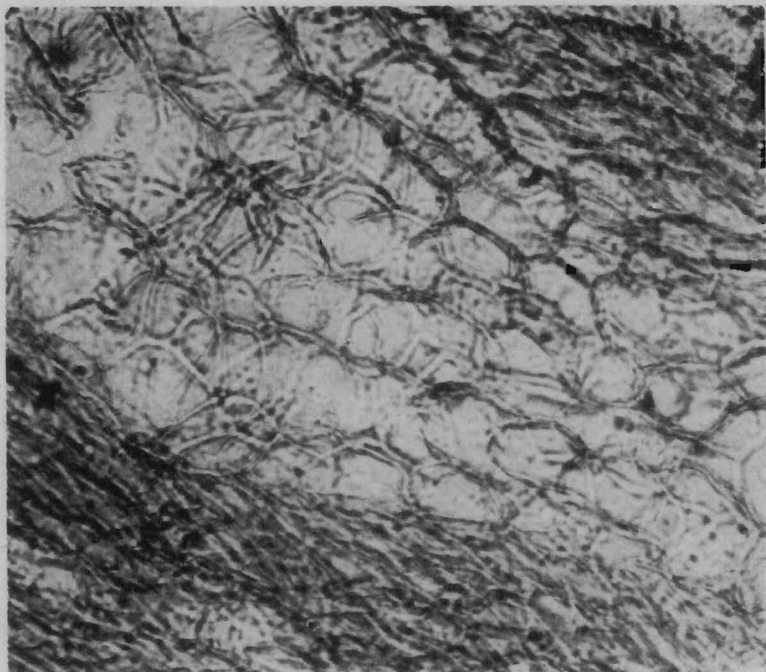
El diámetro mayor de esos vasos es de 36 micras; sus paredes no son uniformes sino que presentan aspecto redondeado, prismático y poliédrico.



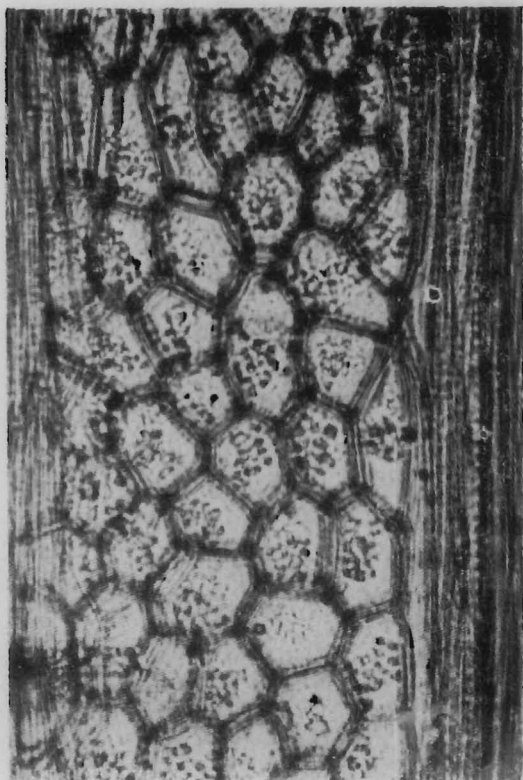
Opuntia kleiniae - Dibujo del corte transversal de raíz.



Opuntia kleiniae - Dibujo del corte longitudinal de raíz.



Opuntia kleiniae - Corte transversal de corteza y peridermo 16/0.40 X



Opuntia kleiniae - Corte longitudinal de médula.
16/0.40 X

En los cortes tangenciales de la raíz, los vasos poseen diferentes ornamentaciones como: escaleriforme, cuneiforme, anillada. Entre los vasos se intercalan gruesas fibras de esclerénquima.

En corte transversal, el aspecto de las fibras es prismático-piramidal; sus paredes tienen un grosor de 3.4 micras.

Floema Primario y Secundario.

La distribución del floema secundario es la misma que en las especies descritas anteriormente. Se encuentra en contacto con los cordones de xilema secundario, como hileras de cordones formados por los vasos liberianos. Sobre éstos, se encuentran los vasos que constituyen el floema primario con un diámetro menor.

Médula .

La médula es semejante a la de las especies anteriores. Su diámetro total es mayor. Las células tienen la clásica forma poliédrico-esferoidal, están íntimamente unidas entre sí; su protoplasma no granuloso es poco denso. Es notable la gran cantidad de almidón que hay en sus células.

VII.—RESUMEN.

El presente trabajo consistió en el estudio de la Anatomía de raíz de seis especies del género **Opuntia**, de las cuales 3 pertenecen al Subgénero **Platyopuntia** y 3 al **Cylindropuntia**.

Las especies del Subgénero **Platyopuntia** son las siguientes: **Opuntia streptacantha**, **Opuntia robusta**, **Opuntia Engelmannii** y las del Subgénero **Cilindropuntia**: **Opuntia imbricata**, **Opuntia leptocaulis** y **Opuntia kleiniae**.

Para el efecto se llevaron a cabo varias técnicas de laboratorio. Se analizó la estructura interna de cada uno de los ejemplares cuyas características histológicas se han descrito comparándolas entre sí.

VIII.—BIBLIOGRAFIA

1. Bravo, H. H. 1937.— "Las cactáceas de México" U.N.A.M. págs. 112-202.
2. Britton, N. L. and Rose, J. N. 1963.— "The Cactaceae". Dover Publications, Inc. 180 Varick Street. New York 14, N. Y. págs. 47; 51; 64 y 147; 184; 191.
3. Carlquist S. 1961.— "Comparativa Plant Anatomy". Hol. Rin. and Wins. U.S.A. págs. 94-100.
4. Esau, K. 1961.— "Anatomy of seed plants" John Wiley & Sons, Inc. New York-London. págs. 170-201.
5. Fisk, E. L. and Mullington, W. F. "Atlas Of Plant Morphology"
6. Gola Negri, G., Cappelletti, F. 1959.— "Tratado de Botánica". Ed. Labor págs. 197-229.
7. Langeron, M. 1949.— "Precis de Microscopie". Ed. Masson et Cie. París. págs. 1362-1368.
8. Metacalf, C. R. And Chalke, L. 1950.— "Anatomy of Dicotyledons" Ed. Oxford at Clarendon Press England. Vol. I págs. 698-705.
9. Miranda, F. 1955.— "Las formas de vida y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México". en "Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México". Inst. Méx. de Rec. Nat. Ren.
10. Parente, G. M. 1959.— "Anatomy of the Secondary Wood of *Triplaris gardniana* Weeb". Arquiv. Jard. Bot. Río de Janeiro 17: 251-254.
11. Sass, J. E. 1958.— "Botanical Microtechnique". The Iowa State Univ. Press. U.S.A. págs. 121-128.

Nota. Todos los dibujos son originales.

Fotografía de Carlos Avila Vega.