



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE LA ANATOMÍA  
VEGETATIVA EN PLANTAS CULTIVADAS EN CHALCO,  
ESTADO DE MEXICO DE *Amaranthus cruentus* L., (RAZAS  
AFRICANO, GUATEMALTECO Y MEXICANO) Y A.  
*hypochondriacus* L., (RAZAS AZTECA, MERCADO,  
MIXTECO Y NEPAL).**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
B I Ó L O G A  
P R E S E N T A  
MARIA CONCEPCIÓN GUZMÁN RAMOS



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

2004



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR



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.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: María Concepción

Guzmán Ramos

FECHA: 2 de agosto de 2004

FIRMA: [Signature]

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Descripción y comparación de la anatomía vegetativa en plantas cultivadas en Chalco, Estado de México de Amaranthus cruentus L., (razas Africano, Guatemalteco y Mexicano) y A. hypochondriacus L., (razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal).  
 realizado por la Pas. de Biol. María Concepción Guzmán Ramos

con número de cuenta 8629807-0 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

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

[Signature]

Propietario M. en C. Aurora Zlotnik Espinosa Aurora Zlotnik

Propietario M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar R. Margarita Ponce Salazar

Suplente Dra. Guillermina Murguía Sánchez G. Murguía

Suplente Biol. Gabriel Olalde Parra [Signature]

Consejo Departamental de Biología

[Signature]  
 M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

## *Dedicatoria*

*A Angelina Ramos, mi madre, quien siempre me brindó su apoyo y su amor. Gracias por enseñarme lo que es el valor, que nunca hay que darse por vencida, que siempre hay que seguir adelante y afrontar cualquier situación a pesar de las circunstancias. Te extraño mucho, nunca te olvidaré porque siempre estarás en mi corazón.*

*A Berenice y Luis mis sobrinos gracias por alegrar mi vida los quiero mucho.*

*La felicidad existe para aquellos que lloran, aquellos que han buscado,  
aquellos que han tropezado; porque solamente ellos pueden apreciar  
la importancia de las personas que han tocado sus vidas.*

## Agradecimientos

- A la UNAM por haberme dado la oportunidad de desarrollarme a nivel académico y humano.
- A la Facultad de Ciencias y sus profesores quienes me brindaron sus conocimientos para mi formación profesional.
- Al Laboratorio de Apoyo a la Investigación del Jardín Botánico, IB UNAM, en donde se llevó a cabo este trabajo, y que ha sido además un lugar en donde encontré amigas y amigos que me han apoyado en los momentos más difíciles.
- A la M. en C. Esthela Sandoval Zapotitla por su dirección, comentarios y sugerencias para realizar esta tesis, y por ser para mí alguien quien me brindó algo más que formación académica. Gracias por tenerme paciencia y sobre todo por abrirme no sólo las puertas del laboratorio.
- A la Dra. Guillermina Murguía Sánchez, a la M. en C. Margarita Ponce Salazar, a la M en C. Aurora Zlotnik Espinosa y al Biol. Gabriel Olalde Parra quienes aceptaron revisar y dar su opinión para mejorar este estudio.
- A la Dra. Cristina Mapes por proporcionar los materiales utilizados para desarrollar este trabajo.
- A la M. en C. Alicia Rojas Leal por sus acertados comentarios y sugerencias para mejorar este trabajo.
- Al Biol. Alejandro Medina Ávila por sus contribuciones, comentarios y colaboración para llevar a término este trabajo. Porque tu apoyo ha sido invaluable y me ha permitido enriquecer mi vida, muchas gracias Ale.
- A la Biol. E. Bárbara Estrada Galván por su apoyo técnico indispensable para llevar a cabo el procesamiento del material y principalmente por su apoyo y amistad.
- Al Biol. Alejandro Vallejo por su asesoría en los programas utilizados para la captura y manejo de las imágenes.
- A la M. en C. Lourdes Carmona Jiménez por su comentarios y sugerencias.

- *A mis amigos y compañeros del laboratorio de anatomía que siempre me animaron a seguir adelante y me dieron todo su apoyo: Esthela, Barbarita, Gabriel, Alejandro M., Marina, Alis, Lulú, Salvador A., Alejandro V., Diana, Rosita, Sergio, Moisés y a mis jóvenes amigos Gaby, Yadira, Paris e Isai, a todos y cada uno de ustedes mucha gracias.*
- *A mi padre a quien le debo mi gusto por la botánica.*
- *A mi amiga y compañera de trabajo Liz Arana por brindarme su amistad y apoyo en los momento en que más los he necesitado, y por insistir para que este trabajo se finalizara. Gracias.*
- *A mis amigas y amigo de la Facultad de Ciencias, Luz, Ma. Elena, Andrea, Susana R., Susana A., Lulú, Ana y Jaime con quienes compartí momentos inolvidables.*
- *A mi hermano Armando y a su esposa Aurora, gracias por su apoyo.*

---

Resumen.....	11
I. Introducción.....	13
I.I Marco general.....	13
I.II Ubicación taxonómica.....	14
II. Antecedentes.....	17
II.I Importancia del género <i>Amaranthus</i> L.....	17
a) Recurso cultural.....	17
b) Medicinal.....	18
c) Alimenticia.....	19
II.II Importancia de la anatomía vegetal.....	21
a) Valor de los caracteres anatómicos vegetativos.....	23
II.III Estado actual del conocimiento anatómico en la familia Amaranthaceae.....	25
a) Descripción morfológica de <i>Amaranthus cruentus</i> L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano.....	29
b) Descripción morfológica de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal.....	32
III. Justificación.....	34
Objetivos.....	34
IV. Metodología.....	35
IV.I Selección del material de estudio.....	35
IV.II Recolecta y fijación del material.....	35
IV:III Procesamiento del material.....	36
IV.IV Obtención de datos.....	42
V. Resultados.....	48
V.I Descripción anatómica de <i>Amaranthus cruentus</i> L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano.....	48
V.II Descripción anatómica de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal.....	77
VI. Discusión.....	109
VI.I Técnicas histológicas.....	109
VI.II Comparación entre las razas y otros grupos relacionados.....	112
VI.III Comparación entre las dos especies analizadas <i>A. cruentus</i> y <i>A. hypochondriacus</i> .....	132
VII. Conclusiones.....	135
VIII. Bibliografía.....	137

Cuadro 1. Principales constituyentes alimenticios del amaranto y su relación con otros cereales.....	20
Cuadro 2. Clasificación de las razas de <i>A. cruentus</i> L., según tres grupos de características.....	31
Cuadro 3. Clasificación de las razas de <i>A. hypochondriacus</i> L., según tres grupos de características.....	32
Cuadro 4. Material obtenido para cada raza.....	36
Cuadro 5. Proporciones utilizadas para preparar las diluciones de ATB.....	38

*Amaranthus cruentus* L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano

Cuadro 6. Valores cualitativos para la lámina superficie adaxial.....	52
Cuadro 7. Valores cuantitativos para la lámina superficie adaxial.....	52
Cuadro 8. Valores cualitativos para la lámina sección transversal.....	52
Cuadro 9. Valores cuantitativos para la lámina sección transversal.....	53
Cuadro 10. Valores cualitativos para la lámina superficie abaxial.....	53
Cuadro 11. Valores cuantitativos para la lámina superficie abaxial.....	53
Cuadro 12. Valores cualitativos de la vena media.....	58
Cuadro 13. Valores cuantitativos de la vena media.....	58
Cuadro 14. Valores cualitativos del peciolo.....	63
Cuadro 15. Valores cuantitativos del peciolo.....	63
Cuadro 16. Valores cualitativos del tallo.....	68
Cuadro 17. Valores cuantitativos del tallo.....	68
Cuadro 18. Valores cualitativos de la raíz.....	74
Cuadro 19. Valores cuantitativos de la raíz.....	74

*Amaranthus hypochondriacus* L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal

Cuadro 20. Valores cualitativos para la lámina superficie adaxial.....	81
Cuadro 21. Valores cuantitativos para la lámina superficie adaxial.....	81
Cuadro 22. Valores cualitativos para la lámina sección transversal.....	82
Cuadro 23. Valores cuantitativos para la lámina en sección transversal.....	82
Cuadro 24. Valores cualitativos para la lámina superficie abaxial.....	83
Cuadro 25. Valores cuantitativos para la lámina superficie abaxial.....	83
Cuadro 26. Valores cualitativos de la vena media.....	88

Cuadro 27. Valores cuantitativos de la vena media.....	89
Cuadro 28. Valores cualitativos del pecíolo.....	93
Cuadro 29. Valores cuantitativos del pecíolo.....	93
Cuadro 30. Valores cualitativos del tallo.....	98
Cuadro 31. Valores cuantitativos del tallo.....	99
Cuadro 32. Valores cualitativos de la raíz.....	106
Cuadro 33. Valores cuantitativos de la raíz.....	106

Fig. 1. Esquema que muestra la utilización del amaranto.....	20
Fig. 2. Epidermis adaxial de hoja de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	54
Fig. 3. Epidermis adaxial de hoja de <i>A. cruentus</i> Africano.....	54
Fig. 4. Epidermis abaxial de hoja de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	54
Fig. 5. Epidermis abaxial de hoja de <i>A. cruentus</i> Africano.....	54
Fig. 6. Sección transversal de lámina de <i>A. cruentus</i> Africano.....	55
Fig. 7. Sección transversal de lámina de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	55
Fig. 8. Sección transversal de lámina de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	55
Fig. 9. Aclaramiento de hoja de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	55
Fig. 10. Aclaramiento de hoja de <i>A. cruentus</i> Africano.....	55
Fig. 11. Sección transversal de vena media de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	60
Fig. 12. Sección transversal de vena media de <i>A. cruentus</i> Africano.....	60
Fig. 13. Sección transversal de vena media de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	60
Fig. 14. Sección transversal de vena media de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	60
Fig. 15. Sección transversal de vena media de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	60
Fig. 16. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Africano.....	65
Fig. 17. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	65
Fig. 18. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	65
Fig. 19. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	65
Fig. 20. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Africano.....	65
Fig. 21. Sección transversal de peciolo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	65
Fig. 22. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	70
Fig. 23. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	70
Fig. 24. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	70
Fig. 25. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	70
Fig. 26. Disociados de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	70
Fig. 27. Disociados de <i>A. cruentus</i> Africano.....	71
Fig. 28. Disociados de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	71
Fig. 29. Disociados de <i>A. cruentus</i> Africano.....	71

Fig. 30. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Africano.....	71
Fig. 31. Sección transversal de tallo de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	71
Fig. 32. Sección transversal de raíz de <i>A. cruentus</i> Guatemalteco.....	76
Fig. 33. Sección transversal de raíz de <i>A. cruentus</i> Africano.....	76
Fig. 34. Sección transversal de raíz de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	76
Fig. 35. Sección transversal de raíz de <i>A. cruentus</i> Mexicano.....	76
Fig. 36. Sección transversal de raíz de <i>A. cruentus</i> Africano.....	76
Fig. 37. Epidermis adaxial de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	84
Fig. 38. Epidermis adaxial de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	84
Fig. 39. Epidermis abaxial de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	84
Fig. 40. Epidermis abaxial de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	84
Fig. 41. Sección transversal de lámina de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	84
Fig. 42. Sección transversal de lámina de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	84
Fig. 43. Sección transversal de lámina de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	85
Fig. 44. Sección transversal de lámina de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	85
Fig. 45. Sección transversal de lámina de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	85
Fig. 46. Aclaramiento de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	85
Fig. 47. Aclaramiento de hoja de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	85
Fig. 48. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	90
Fig. 49. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	90
Fig. 50. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	90
Fig. 51. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	90
Fig. 52. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	90
Fig. 53. Sección transversal de vena media de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	90
Fig. 54. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	95
Fig. 55. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	95
Fig. 56. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	95
Fig. 57. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	95
Fig. 58. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	95
Fig. 59. Sección transversal de pecíolo de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	95
Fig. 60. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	101

Fig. 61. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	101
Fig. 62. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	101
Fig. 63. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	101
Fig. 64. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	101
Fig. 65. Disociados de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	102
Fig. 66. Disociados de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	102
Fig. 67. Disociados de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	102
Fig. 68. Disociados de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	103
Fig. 69. Disociados de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	103
Fig. 70. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	103
Fig. 71. Sección transversal de tallo de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	103
Fig. 72. Sección transversal de raíz de <i>A. hypochondriacus</i> Mixteco.....	108
Fig. 73. Sección transversal de raíz de <i>A. hypochondriacus</i> Mercado.....	108
Fig. 74. Sección transversal de raíz de <i>A. hypochondriacus</i> Nepal.....	108
Fig. 75. Sección transversal de raíz de <i>A. hypochondriacus</i> Azteca.....	108

## Resumen

El género *Amaranthus* incluye una amplia variedad de especies silvestres y cultivadas en las que comúnmente se presenta la hibridación, lo que favorece problemas de determinación específica e infraespecífica.

A través del tiempo el estudio de este género ha sido abordado desde diferentes enfoques, como por ejemplo, fisiológico o etnobotánico, entre otros; sin embargo, los trabajos sobre anatomía han sido pocos, sobre todo aquellos que aporten elementos que pudieran contribuir a la delimitación de sus especies o categorías taxonómicas inferiores.

Por ello, se realizó el estudio anatómico comparativo de las estructuras vegetativas de siete razas de dos especies cultivadas en México, *Amaranthus cruentus* L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano, y *Amaranthus hypochondriacus* L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal.

Se utilizaron ejemplares cultivados en el rancho San Francisco, en Chalco Edo. de México. Se tomaron muestras de hoja (lámina, vena media y pecíolo), tallo y raíz principales, se fijaron en FAA y se procesaron empleando las técnicas histológicas convencionales. Se utilizaron dos medios de inclusión para seleccionar el más adecuado de acuerdo a las características de este tipo de materiales; se obtuvieron secciones transversales de entre 18 y 25  $\mu\text{m}$ , se tiñeron con safranina O-verde rápido y se montaron con resina sintética para obtener preparaciones permanentes. Para la vena media, pecíolo y tallo se obtuvieron disociados del tejido vascular y se montaron como preparaciones semipermanentes.

Se analizaron caracteres cualitativos y cuantitativos de los sistemas de tejidos dérmico, fundamental y vascular de las estructuras mencionadas. Los caracteres cuantitativos se analizaron por medio de estadística descriptiva básica. Como resultados se presenta la descripción anatómica de cada especie, a partir de sus respectivas razas estudiadas y

se incluyen tablas de aquellos caracteres que mostraron diferencias entre las razas para cada especie; estos caracteres son ilustrados con fotomicrografías.

Se discuten las principales diferencias entre las razas de cada especie, entre las especies y las diferencias o similitudes compartidas con otras especies y géneros relacionados. Además se analiza la relación entre la arquitectura de cada raza y sus caracteres anatómicos, así como las ventajas adaptativas que pudieran proporcionarle a la planta.

De acuerdo con los resultados obtenidos la raza Africano de *Amaranthus cruentus* puede ser reconocida fácilmente mediante sus caracteres anatómicos, en *A. hypochondriacus* las razas Azteca y Mercado tienen un mayor número de diferencias anatómicas. Para ambas especies la hoja es el órgano que aporta la mayor cantidad de caracteres anatómicos que pueden ser utilizados para distinguir entre razas y especies. En el caso del tallo, el crecimiento secundario atípico contribuye con caracteres diferenciales entre las especies.

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 Marco general

La familia *Amaranthaceae* (orden *Caryophyllales*) se compone de 70 géneros y alrededor de 900 especies cosmopolitas, aunque se distribuyen principalmente en los trópicos y áreas con temperaturas cálidas; todas son plantas anuales, herbáceas, que pueden presentarse en forma de malezas o bien ser plantas cultivadas; la mayoría son importantes colonizadoras de hábitats perturbados, lugares con mucha desecación y poca competencia (Mapes, 1997).

El género *Amaranthus* L. cuenta con aproximadamente 75 especies de las cuales 40 son nativas del continente Americano y el resto de Australia, África, Asia y Europa (Costea y DeMason, 2001). En el género se observa una compleja variedad de especies silvestres, arvenses y plantas cultivadas, todas con una historia de hibridización dentro y entre estos grupos. Por ello sus características fenotípicas se modifican de manera importante, dependiendo del ambiente en el que crecen, haciendo difícil su identificación.

Sauer (1950) sitúa el origen del amaranto en el suroeste de Estados Unidos y el Norte de México. En estas zonas hay indicios de que los indígenas lo usaban como alimento, y que fue trasladado hace más de 6,500 años a lo largo de migraciones o intercambio comercial hacia el sur, principalmente hacia la Meseta Central; las evidencias arqueobotánicas muestran que en el Valle de Tehuacán ya había amaranto hace 6,700 a 5,000 años antes de Cristo (Feine, *et al.*, 1979).

Durante la época prehispánica el amaranto tuvo tanta importancia como el maíz o el frijol y aún más, ya que no sólo fue considerado como un alimento, sino también se le utilizó en importantes ceremonias religiosas. Actualmente las especies del género *Amaranthus* conforman un grupo vegetal con usos muy diversos; por ejemplo, son plantas ornamentales o comestibles; en este último caso, el valor nutritivo de las hojas y de las semillas es uno de los aspectos más importantes, pues su contenido de aminoácidos es muy similar al balance óptimo requerido en la dieta humana (Feine, *et*

al., 1979); por otra parte, las especies bajo domesticación son resistentes a diferentes climas y altitudes, principalmente a la sequía, por lo que muchas de las especies son consideradas como cultivos idóneos en zonas inadecuadas para otros grupos de plantas (Kulakow y Jain, 1990).

Características como la resistencia a las sequías, hacen que el género **Amaranthus** sea una buena opción de cultivo para tierras secas y áreas de poca lluvia, mientras que en áreas de riego provee una alternativa para que los agricultores reduzcan sus costos de irrigación y la salinización del suelo; además de que su cultivo requiere de cuidados mínimos (Feine, *et al.*, 1979). Éstas y otras características más le han permitido tener una larga asociación con el hombre ya que le brindan la habilidad de adaptarse a ambientes perturbados o a nuevos hábitats abiertos por el hombre.

### I.II Ubicación taxonómica

Padmini y Shanmukha (1995) hicieron una compilación de autores que han trabajado sobre la taxonomía de la familia, entre ellos están, Moquin-Tandon (1849) que dividieron a la familia **Amaranthaceae** en tres tribus **Celosieae**, **Achyrantheae** y **Gomphreneae**; Bentham y Hooker (1862) renombraron **Achyrantheae** como **Amarantheae**; Schinz (1934) y Eliasson (1988) mantuvieron esta subdivisión. Schinz (1934); Melchior (1964) señalan que la tribu **Amarantheae** ha sido dividida en dos subtribus, **Amaranthinae** y **Achyranthinae** basado en la posición del óvulo: un óvulo erecto simple (anátropo) en la primera y un óvulo invertido (campilótropo) en la segunda (Espinosa y Engleman 1998). Estas subtribus fueron reconocidas también por Bentham y Hooker (1862) pero con una nomenclatura diferente, **Euamaranteae** (para **Amaranthinae**) y **Achyrantheae** (para **Achyranthinae**).

Por otra parte, Costea y DeMason (2001) señalan que la clasificación infragenérica es un problema sin resolver; mencionan que la más utilizada es la propuesta por Sauer (1950), quien estableció los subgéneros: **Amaranthus** L. que incluye especies monóicas y **Acnida** L. Aellen ex K. R. Robertson que comprende especies dióicas.

El subgénero *Amaranthus* se divide en dos secciones: *Amaranthus* Sauer (= *Amaranthotypus*) Dumort, con inflorescencias largas terminales y frutos dehiscentes circunsésiles, y la sección *Blitopsis* Dumort *sensu lato* (Thellung, 1914), con agregados florales axiales y frutos no dehiscentes principalmente. Carretero (1985, 1991, citado por Costea y DeMason, 2001) propuso dividir la sección *Blitopsis sensu lato* en dos secciones: *Blitopsis* que incluye las especies que tienen frutos indehiscentes y  $n=17$ , y la sección *Pyxidium*, con frutos dehiscentes y  $n=16$ . Kowal (1954) citado también por estos dos autores, propuso otra sección, *Puncticulatae*, para *A. viridis* y *A. acutilobus*, sin embargo esto no fue validado por estudios posteriores.

Mosyakin y Robertson (1996) citados también por Costea y DeMason (2001) propusieron una clasificación infragenérica para la sección *Blitopsis sensu lato* con tres subgéneros (*Acnida*, *Amaranthus* y *Albersia*) basada en caracteres clásicos tales como la inflorescencia y características florales; sin embargo, estos mismos autores proponen que sería interesante ver si otros caracteres no florales pueden apoyar esta clasificación.

Como se observa en párrafos anteriores, a pesar de que el género *Amaranthus* L., ha sido objeto de numerosos estudios morfológicos, aún es poco clara su delimitación taxonómica. Por otra parte, muchos de los problemas taxonómicos se registran en las especies más estudiadas. Un ejemplo de ellos son las numerosas sinonimias que se encuentran en la literatura: *A. hybridus* L. sin. *A. cruentus* L. y *A. hypochondriacus* L., o *A. patulus* como sinonimia de *A. hybridus* L. Por esta razón se le considera un grupo complicado y sus designaciones se han hecho tomando como base la morfología floral, ya que las formas y proporciones de las partes de las flores pistiladas señalan la presencia de especies aisladas genéticamente (Kauffman, 1992).

A nivel infraespecífico también se plantea una serie de problemas; de acuerdo con Barros y Buenrostro (1977) los estudios encaminados a describir el género a este nivel, han sido pocos por la dificultad que se tiene para precisar la clasificación de estas especies, dada su amplia gama de variantes arquitectónicas, grupos morfológicos o

razas, las cuales son clasificaciones preliminares basadas en características morfológicas tales como altura de la planta, tamaño de la inflorescencia, patrón de ramificación, número de flores pistiladas por glomérulo y características fenológicas como tiempo de floración y tiempo de madurez. Sin embargo, aún es necesaria una caracterización adicional para definir cada grupo morfológico más clara y precisamente (Kauffman, 1992).

Espitia (1994) define una raza como variedades de cultivo locales que permanecen relativamente sin modificaciones con respecto a las especies silvestres, y que se desarrollan a través del tiempo por las condiciones impuestas por el ambiente mediante la selección natural o por las necesidades del hombre en los primitivos sistemas agrícolas; esto es, están adaptadas a diferentes condiciones ambientales, así como a diferentes requerimientos humanos.

Estas variedades representan complejas adaptaciones a diferentes localidades bajo diferentes medios y condiciones culturales; cada una de ellas tiene reproducción sexual con características propias, lo que permite distinguirlas entre sí, por lo que la designación más apropiada para ellas es "raza". Cada raza tiene una distribución definida y se ha desarrollado bajo diferentes condiciones agroclimáticas que hacen diferente la evolución para cada una (Espitia, 1994).

## II. Antecedentes

### II.I Importancia del género *Amaranthus* L.

#### a) Recurso cultural

Pocas plantas tienen una tradición comparable con la familia Amaranthaceae; en casi toda América tuvo un papel importante, desde mucho tiempo antes de la conquista, tanto en la alimentación como en la religión. En particular el género *Amaranthus* ha tenido gran relevancia; de acuerdo con registros arqueológicos se sabe que los mayas fueron probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo de alta producción (Santín, *et al.*, 1986).

Los tributos solicitados por el emperador Moctezuma muestran que el grano de amaranto o "*huauhtli*", como se le conocía entre los aztecas, fue un cultivo igual de importante que el maíz y el frijol, del cual se enviaba a la gran ciudad de Tenochtitlan una cantidad cercana a las 15 ó 20 mil toneladas de grano por año (Paredes, 1994). Registros de los colonizadores españoles señalan que el amaranto era ampliamente cultivado; se sabe que para el año de 1577 su cultivo se extendía más allá del Imperio Azteca, desde Jalisco, en el este, hasta Oaxaca, en el oeste, (Sauer, 1967).

En la civilización Azteca el amaranto estaba muy asociado con rituales y sacrificios humanos. Durante una de sus festividades más importantes dedicada al dios Huitzilopochtli o dios de la guerra, el centro de la ceremonia consistía en un enorme ídolo de este dios confeccionado con masa de *huauhtli*, miel y sangre humana, que se paseaba por la ciudad y que al terminar era despedazado y repartido entre la gente, quienes lo comían con "reverencia, temor y lágrimas". Las partes vegetativas de la planta también tenían un lugar importante en las ceremonias religiosas; con ellas se elaboraban tamales denominados *huauhquiltamalli* para ofrecerlos al dios del fuego. Esto demuestra que el amaranto era una planta ceremonial importante (Santín, *et al.*, 1986).

Para los españoles esto fue visto como perversiones de la Eucaristía Católica, por esa razón los misioneros se encargaron de abolir estas ceremonias religiosas y eliminar los

rituales paganos de las costumbres de los aztecas. Por su parte Cortés ordenó detener y cortar las manos de quien cultivara estas plantas. De esta forma el cultivo del amaranto decayó considerablemente durante la colonia; aunado a esto se suman los cambios dietéticos ocasionados por el colapso que sufrió la cultura indígena como resultado de la conquista (Santín, *et al.*, 1986).

Entre los años de 1577 y 1890 se tienen pocos registros de la producción del grano; sin embargo, durante este periodo, el amaranto fue introducido en África y Asia y muchas formas ornamentales fueron utilizadas en los jardines europeos (Santín, *et al.*, 1986).

De esta forma, a pesar de la persecución que sufrió el cultivo del amaranto en América, el hecho de que se haya conservado hasta nuestros días se debe entre otros factores a su adaptación a climas cálidos, su resistencia a las heladas y las plagas y al sentido tradicionalista de quienes lo continuaron cultivando en regiones apartadas de nuestro país, impidiendo así su desaparición (Santín, *et al.*, 1986).

Actualmente su cultivo se ha extendido nuevamente a los estados de Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México, entre otros. En este último lugar se ha favorecido su producción, sobre todo de las especies productoras de grano, con las que se elaboran las famosas "*alegrías*" que es el producto principal por el cual se consume este alimento (Santín, *et al.*, 1986).

#### **b) Medicinal**

Otros usos del amaranto son medicinales; por ejemplo, en Ecuador se prepara con *A. hybridus* un té a partir de las hojas para aliviar las molestias menstruales y renales; en algunas regiones de Texcoco se bebe atole de amaranto como remedio para la disentería. Algunas investigaciones recientes indican que el amaranto puede ser una alternativa en la terapia con dietas bajas en proteínas animales para enfermos con problemas de encefalopatías hepática (Santín, *et al.*, 1986).

Se ha demostrado que las semillas de amaranto tienen niveles altos de tocoferoles (vitamina E) y tocotrienoles, de éstos últimos se ha encontrado que tienen actividad antitumoral y poseen actividad antioxidante *in vitro* (Paredes, 1994).

### c) Alimenticia

El valor nutritivo de las especies de ***Amaranthus*** es bien conocido, por lo que ésta es una de las principales razones del interés de su estudio. En diversos análisis se ha comprobado la alta calidad y cantidad de las proteínas que contiene, pues es la planta que presenta el balance de aminoácidos que más se acerca a la proteína ideal; sin embargo, no hay información suficiente sobre la composición y concentración de estos contenidos en las distintas partes de las plantas, así como en las diferentes especies, o cómo pueden afectarse de acuerdo con el tipo de suelo, el clima y otros factores (Santín, *et al.*, 1986).

Las principales especies productoras de grano son *Amaranthus hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L., originarias de México y Guatemala, llegando al suroeste de Estados Unidos y *A. caudatus* L., originaria de los Andes de Perú y que se extiende hacia el norte de Ecuador y hacia el sur de Bolivia y Argentina. Además, las hojas de estas tres especies también se usan como alimento (Santín, *et al.*, 1986).

Existen otras especies que no son cultivadas, pero que se usan como verdura o como alimento de emergencia. La dieta de muchas poblaciones que se basa fundamentalmente en el consumo de cereales y leguminosas, son mejoradas desde el punto de vista nutricional con la adición de pequeñas cantidades de hojas verdes de amaranto, las cuales mejoran y complementan la dieta aumentando la ingesta de vitaminas y minerales.

En nuestro país se usan diferentes especies de amaranto como verdura a las que comúnmente se les conoce como quelites o quintoniles (Medina, 2004). generalmente se trata de malezas, arvenses o ruderales; las especies no cultivadas son de menor

tamaño que las plantas productoras de grano, presentan flores y frutos más pequeños y semillas de color oscuro.

Del total de la planta, entre el 50 al 80% es comestible ya que se pueden consumir las semillas, las hojas y aún los tallos de algunas especies de semilla oscura porque son poco fibrosos (Fig. 1) (Santín, *et al.*, 1986).

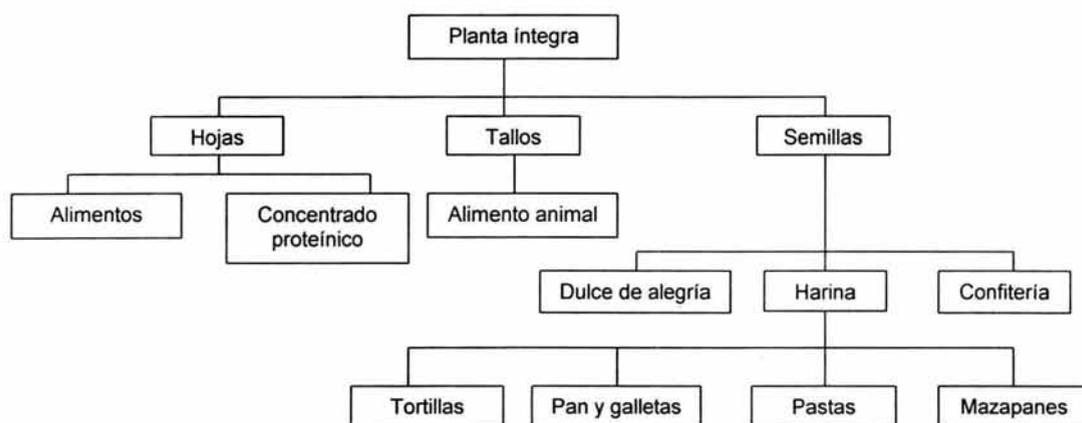


Fig. 1. Utilización integral del amaranto. Tomado de Santín, *et al.*, 1986.

El siguiente cuadro compara el contenido nutrimental de la semilla del amaranto con respecto al de otros cereales.

Cuadro 1. Principales constituyentes alimenticios del amaranto y su relación con otros cereales (g/100 g de materia seca).

	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Fibras	Cenizas	Ca	P	Fe
Cereales	11.0	2.7	73.0	2.1	1.7	0.30	0.33	0.0034
Amaranto	14.50	7.5	60.4	7.5	2.9	0.37	0.48	0.0034

Tomado de Del Amo, *et al.*, 1986.

De acuerdo con el cuadro se puede observar que el contenido de proteína de la semilla de amaranto es mayor que en los cereales; otros compuestos como grasas, fibras y

cenizas superan por mucho el contenido de los cereales. Por ejemplo, contiene más del doble de proteína que el maíz y el arroz y de 60 a 80% más que el trigo, (Santín, *et al.*, 1986).

En cuanto a su composición de aminoácidos, el amaranto contiene el doble de lisina que el trigo y el triple que el maíz; el principal hidrato de carbono es el almidón con pequeñas cantidades de sacarosa y rafinosa. Dentro de los minerales se puede encontrar sodio, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, níquel y hierro, aunque este último es de baja digestibilidad, dada su asociación con otros compuestos que lo hacen inaccesible al organismo. Con respecto a las vitaminas contiene tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C en cantidades similares a las de los cereales (Santín, *et al.*, 1986).

Lo anterior ha favorecido que exista un renovado interés por su cultivo debido al potencial que tiene en la elaboración de productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y sus ventajas agrícolas; además del uso integral que puede dársele, de acuerdo con lo que muestra la figura 1.

## **II. II Importancia de la anatomía vegetal**

La anatomía vegetal es una disciplina con una larga tradición. Hacia el año 1671, Nehemiah Grew, en su obra "*The anatomy of plants*" y Marcello Malpighi con el libro "*Anatomie Plantarum*"; realizaron las primeras observaciones en microscopios rudimentarios. Robert Hooke fue el primero en utilizar el término célula al observar celdas delimitadas por paredes; posteriormente reconoció que formaban parte de tejidos vegetales, y que estaban llenas de "jugos". Más tarde se estableció que estos jugos o protoplasma eran la parte esencial de la célula (Stuessy, 1990).

Fue hasta mediados del siglo XIX con la obra de Hugo Von Mohl's denominada "*Gründzuge der Anatomie und Physiologie der Vegetabilischen Zelle*" cuando se dio un mayor desarrollo de esta ciencia (Stuessy, 1990).

Stuessy (1990) se refiere a los trabajos anatómicos en América los cuales iniciaron hasta después de 1900, con Jeffrey quien fue uno de los pioneros (1917) con su libro "*La anatomía de las plantas maderables*"; hacia la segunda mitad del siglo encontramos otros investigadores, por ejemplo: Foster (1942) con "*Anatomía práctica de las plantas*"; Esau (1961) "*Plant Anatomy*"; Metcalfe y Chalk (1979, 1983) "*Anatomy of the Dicotyledons*". Y algunos autores más cuyos trabajos son más recientes como Mauseth (1988) "*Plant anatomy*" y Dickison (2000) "*Integrative Plant Anatomy*", entre otros.

En todo este tiempo la anatomía no sólo se ha enfocado a la descripción e interpretación de estructuras y órganos vegetales, sino que también se ha utilizado para entender la función de las estructuras y además ha tenido aplicaciones en otras disciplinas del conocimiento, por ejemplo:

Knobloch (1973) resalta su relación con la arqueología, menciona que se pueden establecer fechas exactas a través de los anillos anuales de los árboles y que de este modo también se puede determinar el clima de épocas anteriores.

Metcalfe y Chalk (1979) señalan su relación con otras ramas de la biología:

- Con la ecología, al establecer que la selección natural favorece cambios morfológicos y estructurales en las células, tejidos y órganos de las plantas que pueden ser observados en los estudios anatómicos.
- Dentro de la paleobotánica se puede caracterizar fósiles, principalmente de especímenes maderables, debido a las características de sus tejidos que les permite conservarse más fácilmente.
- Por medio de la anatomía se puede detectar e identificar la adulteración de medicamentos, fibras naturales y madera de importancia económica, utilizándose como un auxiliar para el control de calidad de los productos de origen vegetal.

- Para la taxonomía de los grupos, al proponer caracteres que contribuyen a establecer o aclarar la posición de los mismos en la clasificación.

Dickison (1989) señala el valor de la anatomía para ayudar a esclarecer la ubicación taxonómica de grupos de difícil determinación, al brindar un mayor número de elementos que permiten caracterizar a los grupos de acuerdo a la presencia, ausencia o modificación de alguna estructura en el nivel anatómico.

Stuessy (1990) apoya su aplicación en la interpretación de los fósiles al contribuir a aclarar las homologías de las estructuras para propósitos de clasificación y reconstrucción de la filogenia de las plantas.

En la actualidad, el enfoque principal de la anatomía ha cambiado, ya que no sólo se limita a describir una estructura u órgano sino que trata de interpretar cuál es la función que desempeña y qué ventajas representa para las plantas que le permitan sobrevivir en diferentes condiciones ambientales (Mauseth, 1988).

De esta forma, la anatomía vegetal constituye una disciplina que contribuye al conocimiento de los grupos vegetales lo que sumado con el estudio de caracteres morfológicos externos, moleculares y otros más, permite confirmar o situar a un grupo en una clasificación taxonómica determinada, desde niveles de familia y orden hasta niveles específicos y aún inferiores.

#### **a) Valor de los caracteres anatómicos vegetativos**

Bailey (1954) hace una reflexión importante en cuanto a que los caracteres morfológicos tienden a ser relativamente estables en ciertos grupos de plantas y ampliamente plásticos y variables en otros, por ello afirma que desde el punto de vista taxonómico no hay diferencias fundamentales entre utilizar características endomórficas en contraste con las exomórficas, excepto en la metodología de obtención de datos, contribuyendo la anatomía con más evidencias que pueden ser esenciales en la solución de problemas de determinación taxonómica.

Stace (1984) señala que caracteres anatómicos de considerable valor diagnóstico en una familia no necesariamente serán de valor en otra; por esta razón no es posible predecir si un carácter en particular o un grupo de ellos podrían proveer mayor información en un taxa donde no han sido investigadas tales características.

Mauseth (1988) afirma que la anatomía es una disciplina importante que brinda información correspondiente a la adaptación de los órganos y tejidos de las plantas, la cual es resultado de la selección natural, por lo que debe intentarse entender las ventajas adaptativas que una estructura particular podría proporcionar a la planta.

Dickison (2000) considera que al examinar la anatomía vegetativa de las dicotiledóneas se debe incluir el xilema secundario, la anatomía de la hoja y la estructura del tallo joven, porque son las estructuras que aportan más información y, a su vez, son más estables.

Stuessy (1990) identifica algunos caracteres que pueden ser usados en la sistemática vegetal, por ejemplo en la lámina: la epidermis, la hipodermis, el mesofilo, la presencia de cristales, la estructura de los haces vasculares y patrones de venación, entre otros; el pecíolo es considerado como una estructura de importancia taxonómica y que experimenta pocas modificaciones; en el tallo se pueden considerar los contenidos celulares o el tipo de células individuales; en el caso de la raíz los caracteres anatómicos han sido poco explorados por la dificultad que implica recolectarla, por lo que es interesante trabajar con ella para poder evaluar su potencial como fuente de caracteres con valor diagnóstico.

Un aspecto importante a tener en cuenta sobre los caracteres anatómicos vegetativos es que, de acuerdo con Costea y DeMason (2001) las diferencias anatómicas que se observen entre las especies solamente son comparables si las plantas crecen en las mismas condiciones ecológicas.

### II.III Estado actual del conocimiento anatómico en la familia Amaranthaceae

Los estudios anatómicos que se han realizado en la familia Amaranthaceae y en el género *Amaranthus* se han enfocado principalmente a las estructuras reproductoras, y en menor proporción a las vegetativas, ya que se considera que las primeras tienen mayor relevancia para la taxonomía de los grupos (Espitia, 1992). Sin embargo, se ha demostrado que las estructuras vegetativas han proporcionado información relevante para la taxonomía de esta familia, en particular características como el arreglo de la anatomía Kranz de la lámina foliar o el tipo de crecimiento secundario atípico que tiene el tallo.

A nivel infragenérico se han hecho pocos trabajos en *Amaranthus*, estos trabajos abordan principalmente aspectos fisiológicos, bioquímicos o descriptivos. La mayor parte de estos trabajos se han centrado principalmente en la hoja, y en menor proporción en el tallo y aún menos en la raíz.

Laetsch (1968) analizó las características de las células de la vaina del haz vascular, del parénquima radiado con anatomía Kranz y el tipo de fotosíntesis que realiza *Amaranthus edulis*, además del significado que tienen estas características en la adaptación a las condiciones ambientales como son lugares con alta intensidad luminosa y estrés hídrico.

Carolin *et al.*, (1978) mencionan algunas características como la diferenciación del mesofilo adaxial y abaxial, la posición de los cloroplastos en las células de la vaina y el tipo de fotosíntesis que realizan las especies *Amaranthus hybridus* L., *A. interruptus*, R. Br., y *A. tricolor* L.

Byott (1976) y Fisher y Evert (1982) señalan que al igual que otras especies con fotosíntesis C<sub>4</sub>, *Amaranthus melancholicus* y *A. tricolor splendens* tienen espacios aéreos más pequeños que las especies C<sub>3</sub>, esto significa que tienen una mayor densidad de tejido por unidad de volumen, lo que contribuye a hacer más eficiente la fotosíntesis, el transporte de fotosintatos y la difusión de gases, al haber una relación

más estrecha entre las células, tanto de las que se encargan de fijar el carbono como de las que se encargan de almacenar azúcares u otras sustancias. El autor citado también se refiere a la eficiencia en el uso del agua y en la actividad fotosintética y su relación con una menor proporción de espacios aéreos.

Laetsch (1968) analizó la eficiencia fotosintética de *Amaranthus palmeri* Watts comparándola con la de algunos pastos tropicales y encontró que la tasa fotosintética y los valores de compensación del CO<sub>2</sub> son similares.

Usuda *et al.*, (1971) propusieron que la hoja de *Amaranthus palmeri* Watts tiene la estructura anatómica de las plantas C<sub>4</sub> y además es formadora de aspartato (ácido dicarboxílico C<sub>4</sub>) como principal producto de la fotosíntesis.

Una de las especies más estudiadas, en términos de su anatomía, es *A. retroflexus* L.; algunos de los trabajos realizados son los de Black y Mollenhauer (1971), Usuda *et al.*, (1971), Gallaher *et al.*, (1975), Stephenson *et al.*, (1976) y Carolin *et al.*, (1978), quienes han trabajado aspectos bioquímicos y fisiológicos y su relación con características anatómicas de las células de la vaina, cloroplastos, gránulos de almidón, área del floema, distancia entre haces vasculares, número de haces por unidad de área, plasmodesmos, cantidad y distribución de los organelos celulares principalmente. Fisher y Evert (1982) son unos de los pocos autores que hacen la descripción completa de la lámina foliar considerando epidermis, mesofilo, haces vasculares y patrón general de venación.

Otro ejemplo de especie más estudiada es *Amaranthus viridis* L.; Laetsch (1968) y Usuda *et al.*, (1971) analizaron el tipo de fotosíntesis y los primeros productos que se obtienen durante este proceso; Rathnam *et al.*, (1976) se refieren a las características y modificaciones de la anatomía Kranz en varias especies de *Amaranthus*. Das y Santakumari (1977) trabajaron aspectos de tasa de asimilación de carbono y mayor eficiencia en el uso del agua, además de su relación con la apertura estomática en las plantas C<sub>4</sub>.

Bardales (1992) describe las especies de *Amaranthus cruentus* y de *A. hypochondriacus* a partir de la raza Guatemalteco para la primera y Azteca para la segunda; el autor citado establece que las características anatómicas de las especies están fuertemente relacionadas con la arquitectura de la planta misma.

Medina (2004) realizó la descripción y comparación de las estructuras vegetativas de siete razas de las especies *A. cruentus* y de *A. hypochondriacus* cultivadas en Montecillo Estado de México, con la cual comprobó que la hoja es el órgano que proporciona el mayor número de caracteres diferentes los cuales pueden contribuir a la delimitación taxonómica del género.

El tallo y la raíz han recibido menor atención, aún cuando en años recientes han aumentado los estudios al respecto, debido a su característica de tener crecimiento secundario atípico, lo que constituye un aspecto común dentro de la familia.

De acuerdo con Metcalfe (1979) el crecimiento secundario atípico del tipo cambium sucesivo para el engrosamiento del tallo tiene lugar mediante el desarrollo de una sucesión de haces vasculares colaterales desde anillos o arcos de tejido meristemático secundario en el periciclo, es una de las características anatómica más sobresaliente de la familia.

Balfour (1965) registra los trabajos de varios autores que han tratado de explicar el tipo de crecimiento secundario atípico que tiene la familia y el género: De Bary (1884) creía que el meristema permanecía activo a lo largo de la vida de la planta; Wilson (1924) consideró que el tejido meristemático podía ser constantemente renovado; Schinz (1925) consideraba que el tejido vascular secundario del tallo se deriva de una actividad cambial limitada. Así algunos anillos o arcos concéntricos de haces colaterales están embebidos en tejido conjuntivo.

Joshi (1937) menciona que el cámbium que surge en segundo lugar lo hace a partir de células del parénquima aisladas hacia el lado exterior del cámbium precedente y este

nuevo cámbium primero produce tejido parenquimático y después forma los elementos del esclerénquima.

Balfour (1965) estableció que el tipo de crecimiento secundario atípico en la familia Amaranthaceae se debe al funcionamiento de un meristemo extra-fascicular; este meristemo surge de células parenquimatosas en la periferia del floema primario de cada haz vascular.

De acuerdo con Rajput y Rao (1999) en *Pupalia lappacea* (Amaranthaceae) después del tercer anillo exterior, se origina un nuevo anillo de cámbium completo a partir del parénquima más externo que está constituido por segmentos fasciculares e interfasciculares y fue producido por el cámbium previo.

Rajput y Rao (2000) y Rajput (2001) mencionan que anteriormente se reconocía que los miembros de la familia Amaranthaceae tenían un desarrollo unidireccional del cámbium, pero en investigaciones actuales todas las especies muestran diferenciación bidireccional de xilema y floema. Los autores citados encontraron que el tiempo de diferenciación de xilema y floema no está necesariamente sincronizado, por lo que el desarrollo del floema puede comenzar simultáneamente o después del desarrollo de unos pocos derivados del xilema; sin embargo, la baja producción de elementos del floema comparado con los del xilema, da una falsa impresión de un cámbium unidireccional.

Costea y DeMason (2001) señalan que el mecanismo de variante cambial es similar en las familias Amaranthaceae, Chenopodiaceae, Nyctaginaceae y Phytolaccaceae. Los autores citados mencionan que en las Amaranthaceae el cámbium produce xilema secundario y floema secundario bidireccionalmente. Sin embargo, el xilema secundario y el parénquima son producidos más activamente que el floema secundario, de esta forma la zona cambial se mueve hacia afuera dejando bandas de floema embebido en el xilema secundario y en el parénquima conjuntivo tangencial.

En los párrafos anteriores se puede observar que se le ha dado una mayor atención al tipo particular de crecimiento secundario atípico o variante cambial que se presenta en la familia y que constituye una característica importante en estos grupos. Por otro lado, Rajput (2001) señala que la presencia de fibras con protoplasma vivo es una característica adaptativa de las Amaranthaceae, debido a que la presencia de fibras nucleadas puede estar asociada con la ausencia de radios del tallo. Las fibras pueden tener una doble función: como tejido de soporte y como tejido de almacenamiento (Rajput y Rao, 1999).

#### **a) Descripción morfológica de *Amaranthus cruentus* L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano**

Esta especie ha sido puesta en sinonimia con *Amaranthus sanguineus* L. (1973), *A. paniculatus* L. (1973) y *A. speciosus* Sims. (1821), pero la más utilizada en la actualidad es la propuesta por Linneo en 1759, *A. cruentus* (Sauer, 1950, 1967; Singh, 1961, citados por Mapes, 1997).

Es una planta herbácea, de crecimiento erecto, alcanza hasta 2 m de altura; generalmente es menor que *Amaranthus hypochondriacus*, su tallo robusto es simple y en ocasiones ramificado. Las hojas son elípticas, rombo-ovatinadas u ovado lanceoladas con el ápice agudo, obtuso o acuminado y la base cuneada o aguda. La inflorescencia cuando está completamente desarrollada presenta en la parte inferior espigas suaves y laxas y en la parte superior panículas. Las brácteas son pequeñas con una punta delgada que se extiende más allá de la lámina pero nunca tan largas como las ramificaciones del estilo, sin embargo, en algunas ocasiones sobrepasan los tépalos. Las flores presentan 5 tépalos rectos, oblongos, u oblongos-ovobatinados con ápices agudos; los tépalos internos son más cortos que los externos. El utrículo es circunsésil con un ápice en forma de torre. Las ramificaciones del estilo son delgadas y erectas. Las semillas pueden ser negras, marrón, blancas o amarillas. Los colores claros son los que se utilizan para la producción de grano, mientras que las plantas que tienen semillas de color oscuro son utilizadas como verduras u ornato (Grubben 1976, Grubben y Sloten 1981, citados por Mapes, 1997).

Espitia (1994) se refiere a la clasificación de las especies de *Amaranthus* y señala que están integradas por "tipos" o "razas" que son poblaciones similares con capacidad de reproducción sexual, características propias y hábitats diferentes que las hace distintas de otras razas; por ejemplo las razas Mercado y Mexicano tienen su origen en una zona agroecológica con clima cálido, mientras que la raza Nepal cubre una amplia variedad climática, estos hechos permiten suponer que durante el proceso evolutivo las razas se han adaptado lentamente a diversas condiciones, siendo diferente la evolución para cada una.

Kauffman y Reider (1984) consideran que existen algunos patrones particulares que pueden ser usados para definir las razas dentro de cada especie, basado en su origen geográfico y morfología. Tres grupos de características han sido usadas para clasificar los tipos de grano. El primer grupo incluye el tiempo a la floración, tamaño de la planta y tiempo a la madurez, estas características frecuentemente definen un grupo fisiológica y genéticamente correlacionado; el segundo grupo es el patrón de ramificación vegetativa y el tercer grupo incluye las características de las panículas.

Kauffman (1992) menciona que la anatomía de los órganos vegetativos de *Amaranthus* puede llegar a proporcionar elementos sobre las características estructurales, que junto con otros estudios proporcionarán elementos de validez taxonómica que podrán ayudar a esclarecer su polémica ubicación, además de relacionar la arquitectura de las diferentes razas con su estructura anatómica.

Cuadro 2. Clasificación de las razas, según tres grupos de características determinadas por Kauffman y Reider (1984) y Espitia (1994).

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
<b>Primer Grupo: Tamaño y madurez</b>			
Lugar de origen	Oeste de África	Guatemala y el sureste de México	México, principalmente Morelos y Puebla
Tamaño en la madurez (m)	0.6 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.5
Tiempo a la madurez	Madura temprano a media estación	Madura temprano a media estación. Ligeramente antes que Mexicano	Mediano de 80 a 145 días
Fotoperíodo	No muy sensitiva	No muy sensitiva	Sensitiva
<b>Segundo Grupo: Patrón de ramificación vegetativa</b>			
Patrón de ramificación	Trasplante a baja densidad: desarrolla ramas portadoras de semillas en las axilas. Directamente de semillas en alta densidad: no ramificado	Trasplante a baja densidad: ramificado con paniculas laterales en el tallo superior, no hay dominancia apical. Directamente de semillas en alta densidad: no ramificado	Trasplante a baja densidad: ramificado con paniculas laterales en el tallo superior con una panicula apical dominante. Directamente de semillas en alta densidad: no ramificado
Pigmentación hojas y tallos	La mayoría únicamente verdes	La mayoría verde, pocos moteados con rojo	Verdes, moteados, rojo, hojas verdes con venas y peciolo rosas o rojos
Resistencia y afectación a plagas	Ligero	Moderado	Severo
<b>Tercer Grupo: Características de las paniculas</b>			
Inflorescencias	Suaves, paniculas con flores palmeadas más delgadas que Mexicano y Guatemalteco, algunas desarrollan paniculas palmeadas gruesas	Suaves, tiende a caerse con las semillas	Suaves, paniculas más rectas que Africano, algunas desarrollan paniculas palmeadas gruesas cuando se transplantan
Inflorescencia principal	81 a 104 paniculas erectas	46 a 81 paniculas erectas	32 a 56 paniculas erectas
Brácteas	Cortas	Cortas	Tienden a ser más largas que en Africano
Pigmentación de la inflorescencia	Verdes, unas pocas rojas o rosas	Verde, rosa, jaspeado, rojo	Verde, muchos matices de rosa y rojo, jaspeado a un poco naranja
Tamaño de la semilla	Pequeño	Pequeño a mediano	Mediano a grande
Color de la semilla	Negro	Moreno amarillento a café oscuro	En su mayor parte blanco, un poco café
Uso	Verdura	Grano, verdura, algunas formas semicultivadas ornamentales y como verdura	Grano

**b) Descripción morfológica de *Amaranthus hypochondriacus* L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal**

Plantas anuales, herbáceas. Tallo simple o ramificado, alcanzan alturas de hasta 3 metros. Hojas simples, alternas, elípticas u ovado-oblongas, ápice agudo acuminado y base cuneada o aguda. Inflorescencia de gran tamaño con espigas y panículas laterales muy densas, erectas y espinosas. Flores pentámeras, tépalos ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de grano. Semillas de color blanco, dorado, café o negro. Esta especie también es utilizada como ornamental por sus inflorescencias que son muy vistosas (Grubben y Van Sloten, 1981, citado por Mapes, 1997).

Cuadro 3. Clasificación de las razas, según tres grupos de características determinadas por Kauffman y Reider (1984) y Espitia (1994).

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
<b>Primer Grupo: Tamaño y madurez</b>				
Lugar de origen	D. F., Tlaxcala y Puebla	Morelos y Puebla	Oaxaca	Origen Asiático, ampliamente distribuido en la India y Nepal
Tamaño a la madurez (m)	Hasta 3	1.5 a 2.5	Más de 3.0	0.8 a 2.2
Tiempo a la madurez	De 160 a 180 días	De 80 a 150 días. Antes que Azteca y Mixteco	180 a 220 días. El más tardío de <i>A. hypochondriacus</i>	De 80 a 150 días. Antes que Azteca y Mixteco
Fotoperiodo	Sensitiva	Sensitiva	Sensitiva	Sensitiva
<b>Segundo Grupo: Patrón de ramificación vegetativa</b>				
Patrón de ramificación	Sin ramificaciones, es la raza con menor tendencia a ramificarse	Trasplante a baja densidad: ramificaciones en el tallo inferior. Directamente de semillas a alta densidad: no ramificado	Trasplante a baja densidad: tallo simple o ramificado desde la base con un tallo principal. Directamente de semillas a alta densidad: no ramificado	Trasplante a baja densidad: parecido a Mercado. Directamente de semillas a alta densidad: no ramificado
Pigmentación hojas y tallos	Verde, jaspeado, moteado	Verdes	Pigmento único, incompleto, marcando las hojas	Verdes o moteadas

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Astillamiento	Maduran demasiado tarde para evaluarlo	Ligero	Maduran demasiado tarde para evaluarlo	Ligero
Resistencia y afectación a plagas	No registrado	Ligero	No registrado	Ligero
<b>Tercer Grupo: Características de las paniculas</b>				
Inflorescencia	Rígidas, más rígidas que Mercado	Cortas, rígidas, paniculas palmeadas gruesas, algunas veces espinosas, desarrolla inflorescencias múltiples sin dominancia apical, crecen al mismo tamaño cuando se transplantan	Menos densas que Mercado	Rígidas, las flores tienden a ser menos densas que en Mercado y más espinosas
Inflorescencia principal	80 a 150 paniculas erectas	42 a 75 paniculas erectas	100 a 170 paniculas erectas	36 a 56 paniculas erectas
Brácteas	Largas, más largas que las de <i>A. cruentus</i>	Medianas	Largas	Largas
Pigmentación de la inflorescencia	Verdes, rojas, rosas	Muchas verdes, rojas	Pigmento único	Verde, rosa, rojo, flores verdes que pueden tornarse rosas cuando maduran
Tamaño de la semilla	Mediano a grande	Mediano a grande	Pequeño a mediano	Mediano a grande
Color de la semilla	Blanca ó café oscura	Blanca, oro, café	Moreno claro ó café oscuro	Blanca, oro y café
Uso	Grano	Grano	Grano	Grano

### III. Justificación

Los trabajos de la anatomía de los órganos vegetativos, realizados hasta ahora en el género *Amaranthus*, se han centrado principalmente a aspectos fisiológicos por ser este un género con fotosíntesis C<sub>4</sub>. Sin embargo, los enfoques anatómico descriptivo y taxonómico no se han abordado completamente, por la complejidad y variabilidad de los caracteres morfológicos que tiene este grupo.

Siendo *Amaranthus* un género en proceso de domesticación, han surgido a través del tiempo diversas formas biológicas, cultivares o razas con características fenotípicas variadas. Por ello, algunas investigaciones recientes se han centrado en conocer y entender la variación entre las diferentes formas biológicas y las especies, en particular los estudios anatómicos buscan caracteres que pudieran ser de utilidad taxonómica en este grupo tan complejo.

### Objetivos

- Describir la anatomía de hoja, tallo y raíz de *Amaranthus cruentus* L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano, y la de *A. hypochondriacus* L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal.
- Identificar caracteres anatómicos que contribuyan a determinar las razas de *A. cruentus*: Africano, Guatemalteco y Mexicano y de *A. hypochondriacus*: Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal, así como entre ambas especies.
- Establecer la correlación entre la estructura anatómica y la arquitectura de las especies y razas.
- Establecer las técnicas histológicas adecuadas para el procesamiento y análisis de las estructuras vegetativas de *Amaranthus*.
- Contribuir al conocimiento de la anatomía vegetativa de *Amaranthus*.

## IV. METODOLOGÍA

### IV.I Selección del material de estudio

El material utilizado se recolectó de los cultivos realizados por la Dra. Cristina Mapes, en el Rancho San Francisco, en Chalco, Estado de México, perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### IV.II Recolecta y fijación del material

Se recolectaron estructuras vegetativas correspondientes a hoja, tallo y raíz de plantas vigorosas y sanas que estuvieron en estado de madurez, de tres razas de *A. cruentus* L. (Africano, Guatemalteco y Mexicano) y cuatro razas de *A. hypochondriacus* L. (Azteca, Mercado, Mixteco, y Nepal). Los cuales corresponden a los siguientes números de recolecta:

*Amaranthus cruentus*:

Africano 769 (Corral 1)

Guatemalteco 805-618

Mexicano 1018c-1

*Amaranthus hypochondriacus*:

Azteca 14855-A

Mercado 153-53 (corral 19)

Mixteco 762 (corral 2)

Nepal A-0004

El material se fijó en una mezcla de formaldehído, ácido acético, agua y alcohol (FAA en proporciones de 10:5:35:50 respectivamente), durante 24 horas, posteriormente se lavó con agua corriente durante 30 minutos o una hora, y se preservó en alcohol al 70% (Sass, 1961).

#### IV.III Procesamiento del material

Cuadro 4. Material obtenido para cada raza:

Órgano	Región	Material
Hoja	Lámina	Epidermis, transparentación y sección transversal
	Vena Media	Epidermis, sección transversal y disociados de xilema
	Pecíolo	Epidermis, sección transversal y disociados de xilema
Tallo	Media	Sección transversal y disociados de xilema
Raíz	Superior	Sección transversal

##### 1. Obtención de epidermis de la lámina

###### a) Extracción

Se tomaron secciones de la parte media de la lámina de 1 cm<sup>2</sup>, se lavaron con agua destilada y se colocaron en una solución de cloro comercial al 20% por 48 horas aproximadamente. Una vez que los fragmentos se observaron traslúcidos, se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de cloro. Se separaron las epidermis de la superficie adaxial y abaxial, con la ayuda de agujas y pinzas de disección (Cutler, 1978).

###### b) Tinción

Las epidermis se colocaron en discos de Siracusa donde se tiñeron con safranina O durante un minuto aproximadamente. Se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de colorante. Se deshidrataron con alcoholes graduales de 30, 50, 70, 96% y absoluto, haciendo tres cambios de dos minutos en cada uno; finalmente se hicieron tres cambios de xileno de un minuto cada uno. Las epidermis así obtenidas se colocaron sobre un portaobjetos, se utilizó resina sintética como medio de montaje y se colocó un cubreobjetos, se dejaron secar en una estufa a 60° C durante una semana, posteriormente se limpió la resina seca y se etiquetaron (Cutler, 1978, modificado por Bardales, 1992).

## 2. *Obtención de epidermis de vena media y pecíolo*

Se tomaron secciones de la vena media y del pecíolo de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, se lavaron con agua destilada y se separó las epidermis con la ayuda de pinzas y agujas de disección, sin teñir se colocaron sobre portaobjetos junto con una gota de gelatina glicerinada como medio de montaje, las muestras se cubrieron con un cubreobjetos, se dejó solidificar la gelatina durante un día, posteriormente se sellaron los extremos con barniz transparente y las laminillas fueron etiquetadas.

## 3. *Transparentación de lámina*

La técnica es básicamente la misma que se utilizó para la obtención de epidermis de lámina, pero sin separar los tejidos. Después de esto, la muestra se tiñó con safranina O durante 45 minutos, los cambios de alcohol fueron los mismos y los tres cambios de xileno aumentaron a dos minutos cada uno (Cutler, 1978, modificado por Bardales, 1992).

## 4. *Obtención de cortes transversales de lámina, vena media, pecíolo, tallo y raíz*

Para obtener las secciones de las estructuras vegetativas analizadas, se utilizaron dos técnicas de inclusión (Johansen, 1940):

A) Con parafina utilizando

- i. El método directo con alcohol terbutílico (ATB), y
- ii. El método indirecto con xileno

B) Con polietilenglicol (Pluracol E-1500, PEG)

Todo esto con el objeto de establecer cuál es la técnica más adecuada para los diferentes tipos de materiales trabajados y el tiempo de procesamiento necesario para cada sección.

A. Inclusión en parafina histológica (58° - 60° C):

➤ Deshidratación

- i. Método directo con alcohol terbutílico (ATB)

Secciones de tallo y de la raíz de 0.5 a 1 cm<sup>2</sup>, se deshidrataron utilizando una mezcla de ATB, alcohol etílico al 95%, alcohol absoluto y agua, durante siete días en cada mezcla (cuadro 5).

**Cuadro 5. Proporciones utilizadas para preparar las diluciones de ATB**

Agua (ml)	Alcohol etílico 95% (ml)	Alcohol etílico absoluto (ml)	Alcohol t-butílico (ml)	Mezcla final (%)
65	30	0	5	30
50	40	0	10	50
30	50	0	20	70
15	50	0	35	85
0	45	0	55	95
0	0	25	75	100

Después de la mezcla del 100% se continuó el proceso con tres cambios de ATB absoluto, cada uno de siete días (Johansen, 1940, modificado por Mauseth, comunicación personal).

#### ➤ Infiltración

En el último cambio de ATB se agregaron unas cuantas escamas de parafina a las muestras, y se llevaron a la estufa a 60° C, agregando más parafina en escamas cada 6 a 12 horas, después de siete días, se destaparon los recipientes que contenían las muestras para evaporar el ATB, 48 horas después se eliminó la parafina que contenía las muestras para agregar parafina pura previamente fundida dejándolas por siete días más dentro de la estufa.

#### ii. Método indirecto con xileno

Para lámina y vena media se tomaron secciones de 1 cm<sup>2</sup> aproximadamente, de la zona media; del peciolo de 0.5 a 1 cm<sup>2</sup>; de los tallos y raíces se obtuvieron rodajas de 0.5 a 1 cm de grosor a las que se les cortaron dos secciones de la periferia, para facilitar el paso de los alcoholes. Se utilizó etanol en proporciones de 70, 96% y absoluto, dos horas cada uno, un cambio de xileno de 15 minutos y

aceite de clavo durante 24 horas para aclarar (Johansen, 1940, modificado por Bardales, 1992).

➤ Infiltración

Las muestras se pasaron por dos soluciones graduales de xileno-parafina en las siguientes proporciones: 2:1 durante dos horas y 1:1 durante seis horas y en parafina pura, previamente fundida, durante 12 horas, manteniendo las muestras en una estufa, a una temperatura de 58 a 60° C durante todo el proceso.

➤ Inclusión

Para ambos métodos de inclusión y a partir de parafina nueva, previamente fundida, se elaboraron bloques donde se colocaron las muestras, orientadas de acuerdo al tipo de corte requerido.

➤ Corte

Se obtuvieron cortes de 15  $\mu\text{m}$  de grosor para la lámina, vena media y peciolo, y de 18 a 20  $\mu\text{m}$  de grosor para el tallo y la raíz utilizando un micrótopo de rotación American Optical 820. Los listones de parafina se colocaron en un baño de flotación, que se preparó en un cristizador con agua caliente a 35 ó 40° C aproximadamente. Una vez estabilizada la temperatura, se espolvoreó grenetina sobre la superficie del agua, lo que sirvió como adhesivo de los cortes; por otra parte, la temperatura permitió que las secciones se extendieran completamente, después se colocaron sobre los portaobjetos y se dejaron secar durante 24 horas para asegurar su adhesión.

➤ Desparafinación

Las secciones se desparafinaron y rehidrataron en orden decreciente de alcoholes graduales, dejándolas cinco minutos en cada solución: dos cambios de xileno; una mezcla de xileno-alcohol absoluto en proporción de 1:1; etanol en concentraciones graduales: absoluto, 96, 70, 50, 30%, y agua destilada.

➤ Tinción safranina O- verde rápido

Las secciones se tiñeron con safranina durante 20 minutos para la lámina, vena media y pecíolo y 30 minutos para el tallo y la raíz. Posteriormente se lavaron con agua destilada, se deshidrataron con alcoholes graduales 30, 50, 70 y 96%, dos minutos en cada cambio. Se contrastaron con verde rápido durante cuatro minutos para la lámina, vena media y el pecíolo y siete minutos para el tallo y la raíz; a continuación tres cambios de alcohol absoluto de un minuto cada uno. Se aplicó aceite de clavo durante diez minutos, tres cambios de xileno de un minuto cada uno y se montaron con resina sintética; las laminillas se dejaron secar en el horno a 60° C durante una semana, una vez seca la resina se limpiaron y etiquetaron, obteniendo así preparaciones permanentes (Johansen, 1940, modificado por Bardales, 1992).

B. Inclusión en PEG para pecíolo, tallo y raíz (Ruzin, 1999).

➤ Infiltración

Las muestras se lavaron con agua corriente para colocarlas en una dilución de PEG al 10% por dos horas, posteriormente se colocaron en PEG al 100% por 12 horas.

➤ Inclusión

Se hicieron bloques a partir de PEG puro previamente fundido, se colocaron las muestras orientándolas para obtener cortes transversales.

➤ Corte

Se obtuvieron cortes de 15 a 20  $\mu\text{m}$  para el pecíolo y de 22 a 30  $\mu\text{m}$  para el tallo y la raíz con el micrótopo de rotación American Optical 820. Las secciones obtenidas se colocaron en cajas de Petri con agua destilada, para enjuagarlas varias veces y eliminar el PEG.

## ➤ Tinción

Las secciones se tiñeron con safranina O durante 45 minutos, se lavaron con alcoholes graduales 30, 50, 70 y 96%, cinco minutos en cada uno; se contrastó con verde rápido y después se procedió de forma similar a lo realizado con las secciones incluidas en parafina. Posteriormente las secciones se colocaron sobre portaobjetos para montarlas con resina sintética, y se mantuvieron dentro de una estufa a 60° C durante cinco días para su secado. Pasado este tiempo se limpió el exceso de resina y colorantes para finalmente etiquetar cada preparación, obteniendo así preparaciones permanentes.

### 5. *Disociados con solución Jeffrey*

Se realizaron disociados de vena media, peciolo y tallo para todas las razas de ambas especies.

Bajo el microscopio estereoscópico se separó un segmento de la zona del tejido vascular, para colocarlo en solución Jeffrey (ácido crómico al 10% y ácido nítrico al 10%; 1:1) de 10 a 20 minutos para la vena media y el peciolo y de 24 a 120 horas para el tallo; en este último caso, se realizó un segundo cambio de solución después de las primeras 24 horas (Johansen, 1940).

Una vez que las muestras se suavizaron, se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de solución; posteriormente, sobre un portaobjetos se colocó una gota de gelatina glicerizada y en ella se colocó y disgregó un segmento del tejido con la ayuda de una aguja de disección, la muestra se cubrió con un cubreobjetos. La gelatina se dejó solidificar durante 24 horas, pasado este tiempo las laminillas se limpiaron y los extremos se sellaron con barniz transparente para terminar etiquetando cada una de ellas, obteniendo así laminillas temporales.

Todo el material así procesado fue depositado en la colección del Laboratorio de Apoyo a la Investigación del Jardín Botánico, del Instituto de Biología, UNAM.

#### **IV.IV Obtención de datos**

Los materiales colectados de las distintas razas fueron cultivados bajo las mismas condiciones climáticas, en suelos similares y con técnicas de manejo de cultivo también similares, por lo que se asume que las diferencias morfológicas y anatómicas son expresiones fenéticas de las plantas de acuerdo con las condiciones de cultivo establecidas.

Cada una de las estructuras vegetativas procesadas se analizaron para elaborar la descripción de las especies, de acuerdo con los siguientes parámetros:

#### **HOJA (I. Lámina)**

##### *Epidermis adaxial y abaxial, vista superficial*

- Tricomas: tipo, frecuencia, distribución, número y forma de las células del cuerpo principal, grosor de pared, contenidos celulares y número de células de la base.
- Células epidérmicas costales e intercostales: forma, tamaño; paredes anticlinales: forma, tamaño de los rebordes y grosor de pared.
- Estomas: tipo de complejo estomático, distribución, índice estomático, longitud de células oclusivas, pliegues de las células adyacentes a los estomas.

##### *Sección transversal*

- Epidermis: grosor de cutícula, número de estratos celulares, forma de las células, tamaño, grosor de pared y contenidos celulares de las células epidérmicas.
- Estomas: posición, contenido de las células oclusivas, presencia y tamaño de pliegues de las células epidérmicas adyacentes a los estomas, presencia y tamaño de cámara subestomática.
- Parénquima: arreglo, tipo, número de estratos celulares, forma de las células, arreglo de las células, grosor de pared, contenidos celulares y presencia de espacios intercelulares.
- Contenidos celulares: tipo, ubicación, tamaño y frecuencia.
- Tejido vascular: patrón de venación, tipo de haces vasculares.
- Células de la vaina: tipo, forma, tamaño celular, grosor de pared y contenidos celulares.

- > Elementos floemáticos: tipo.
- > Elementos xilemáticos: tipo, disposición y número de elementos de conducción por haz vascular.

## **HOJA (II. Vena Media)**

### *Epidermis adaxial y abaxial, vista superficial*

- > Tricomas: frecuencia, distribución, tipo.
- > Células epidérmicas: forma, paredes anticlinales.
- > Estomas: presencia o ausencia.

### *Sección transversal*

- > Epidermis: grosor de cutícula; número de estratos celulares.
- > Células epidérmicas: forma, tamaño y grosor de pared.
- > Colénquima: tipo, número de estratos, forma y tamaño celular.
- > Parénquima: tipo, forma de las células y tamaño.
- > Contenidos celulares: tipo, composición, forma, ubicación y frecuencia.
- > Tejido vascular: tipo, arreglo, número de haces vasculares, disposición.
- > Tejido exoflóico: tipo.
- > Elementos floemáticos: tipo.
- > Elementos xilemáticos: tipo, disposición y número de elementos de conducción por haz vascular.
- > Disociados del tejido vascular: tipo de elementos de conducción, diámetro tangencial, largo, tipo de punteaduras, tipo de placa terminal, ángulo de inclinación.
- > Fibras: tipo, tamaño, contenidos celulares.

## **HOJA (III. Pecíolo)**

### *Epidermis adaxial y abaxial, vista superficial*

- > Tricomas: tipo, frecuencia, número de células.
- > Células epidérmicas: forma, grosor de pared.
- > Estomas: tipo y frecuencia.

### *Sección transversal*

- Contorno.
- Epidermis: grosor de cutícula, número de estratos.
- Células epidérmicas: forma, tamaño y grosor de pared.
- Colénquima: tipo, número de estratos, forma y tamaño celular.
- Parénquima: tipo, forma de las células y tamaño.
- Contenidos celulares: tipo, composición, forma, ubicación y frecuencia.
- Tejido vascular: tipo, arreglo, número de haces vasculares.
- Tejido exoflóico: tipo.
- Elementos floemáticos: tipo.
- Elementos xilemáticos: tipo, disposición y número de elementos de conducción por haz vascular.
- Disociados del tejido vascular: tipo de elementos de conducción, diámetro tangencial, largo, tipo de punteaduras, tipo de placa terminal y ángulo de inclinación, tipo de fibras, frecuencia, tamaño.

## **TALLO**

### *Sección transversal*

- Contorno.
- Tricomas: presencia y tipo.
- Epidermis: grosor de cutícula, tipo.
- Células epidérmicas: forma, tamaño y grosor de pared.
- Córtex: grosor, arreglo, tipo, número de estratos celulares, forma de las células, tamaño.
- Zona medular: tipo, forma y tamaño de células.
- Contenidos celulares: tipo, composición, forma, ubicación y frecuencia.
- Tejido vascular: tipo, número de anillos, arreglo.
- Anillos cambiales: región interfascicular, región fascicular.
- Tejido exoflóico: tipo.
- Elementos floemáticos: tipo.

- > Elementos xilemáticos: tipo, disposición y número de vasos por haz vascular, contenidos celulares en los haces vasculares internos.
- > Disociados del tejido vascular externo: tipo de elementos de conducción, diámetro tangencial, largo, tipo de punteaduras, tipo de placa terminal, ángulo de inclinación.
- > Fibras: tipo, frecuencia, tamaño, contenidos celulares.

## **RAÍZ**

### *Sección transversal*

- > Contorno.
- > Tricomas: presencia, tipo.
- > Peridermis: número de estratos celulares; forma de células, grosor de pared y presencia de contenidos celulares.
- > Córtex: grosor, arreglo; tipo, número de estratos celulares, forma de las células, tamaño, grosor de pared.
- > Zona medular: tipo, forma, arreglo y tamaño de células.
- > Contenidos celulares: tipo, composición, forma, ubicación y frecuencia.
- > Tejido vascular: tipo, número de anillos, arreglo.
- > Anillos cambiales: región interfascicular, región fascicular.
- > Elementos floemáticos: tipo.
- > Elementos xilemáticos externos e internos: tipo, disposición y número de elementos de conducción por haz vascular, diámetro, grosor de pared.
- > Zona medular: tipo, arreglo, forma de las células, grosor de pared.

Para obtener la información cada uno de los caracteres anteriores se utilizaron los siguientes criterios:

### Caracteres cuantitativos

- > Se realizaron 20 mediciones de cada carácter para cada raza.
- > Para conocer la frecuencia estomática, se calculó el índice estomático, propuesto por Salisbury (1927, citado por Willmer, 1983), en donde se relaciona el número de estomas por unidad de área, dividido entre el valor obtenido de la suma del número

de estomas y el número de células epidérmicas por unidad de área, multiplicando por 100.

$$\text{i.e.} = \left[ \frac{\text{\# de estomas por unidad de área foliar}}{\text{Estomas por unidad de área foliar} + \text{Células epidérmicas por unidad de área foliar}} \right] \times 100$$

- Para obtener el diámetro tangencial de los elementos de vaso se omitieron los vasos de diámetro considerablemente más pequeño que la mayoría de los vasos.
- Para todos y cada uno de los caracteres cuantitativos se estableció el intervalo de valores mínimos y máximos
- A partir de la estadística básica descriptiva se calcularon las medidas de tendencia central, de media aritmética y desviación estándar.
- La información de los cuadros cuantitativos incluye en la mayoría de los caracteres, el valor de la media  $\pm$  la desviación estándar, señalándose además el intervalo mínimo y máximo.

#### Caracteres cualitativos

- Se consideraron aquellos caracteres notoriamente diferentes entre las razas y entre las especies.
- Estos parámetros se complementaron con los datos cuantitativos para integrar las descripciones anatómicas de las especies.

En el presente estudio se incluyó, además, el material procesado por Bardales (1992), en el cual se realizó un trabajo descriptivo de las especies de *Amaranthus cruentus* L. y de *A. hypochondriacus* L., basado en las razas Guatemalteco y Azteca, respectivamente.

Para realizar las descripciones se adoptó la terminología empleada por Metcalfe y Chalk, 1979; Radford *et al.*, 1994; Fisher y Evert, 1982; Costea y DeMason, 2001.

Las descripciones se ilustran con fotomicrografías obtenidas con un fotomicroscopio Carl Zeiss-Axioscop. Estas fueron capturadas con una cámara de video digital Sony

Exwavehad (modelo No. SSC-DC 54A), digitalizadas y editadas con el programa Paint Shop Pro 7.

Se discuten las principales diferencias entre las razas de una misma especie y entre las dos especies estudiadas a partir de las siguientes preguntas:

- > ¿Por qué se presentan dichas diferencias?
- > ¿Qué beneficios significan para la planta hablando de su resistencia a diferentes condiciones ambientales y a su vez cuál es la influencia del medio ambiente sobre tales caracteres?
- > ¿Qué relación existe entre la arquitectura de la planta y su anatomía?

Características como: el tipo de fotosíntesis, resistencia a condiciones ambientales de alta luminosidad y sequía son consideradas dentro de la discusión tanto para las razas como para las especies.

Se pone especial interés sobre el tipo de crecimiento secundario atípico o variante cambial del tallo y la raíz que constituye un aspecto importante dentro del grupo.

Otro aspecto a considerar es la relación que se observa con respecto a otras especies y otros géneros relacionados que registra la bibliografía.

Se hace referencia de igual forma del por qué se utilizaron las técnicas histológicas mencionadas en párrafos anteriores, qué beneficios aportaron y cómo podrían ser mejoradas, en cuestión de tiempo y de recursos.

## V. Resultados

### V.I. Descripción anatómica de *Amaranthus cruentus* L., razas Africano, Guatemalteco y Mexicano.

#### HOJA

##### I. LÁMINA

#### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial. *Vista superficial.* Tricomas de dos tipos: glandulares y no glandulares, ambos tipos varían en frecuencia entre las razas (cuadro 6) y están distribuidos principalmente sobre las células costales; multicelulares (cuadro 7), uniseriados, con células de forma isodiamétrica a cúbica, la mayoría colapsadas, de paredes engrosadas, con abundantes contenidos celulares no determinados, de color ámbar y apariencia granulosa, cuando se observa la célula apical con frecuencia es de mayor tamaño que el resto y de forma más bien isodiamétrica; el pie de los tricomas está formado por una a tres células (Figs. 2, 3). Se observaron también escasos tricomas biseriados no glandulares.

Células epidérmicas diferenciadas en costales e intercostales. Células costales de forma rectangular, de 81.8 a 89.8  $\mu\text{m}$  de largo por 15.8 a 20  $\mu\text{m}$  de ancho; paredes anticlinales rectas, de 1.3 a 5  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 7), con rebordes angulares o curvados. Células intercostales de forma rectangular a irregular (cuadro 6); de 30.3 a 37.7  $\mu\text{m}$  de largo por 51.6 a 78.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 7); paredes anticlinales rectas de 1.2 a 3.7  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 7) con rebordes curvados.

Estomas frecuentemente de tipo anomocítico y en menor proporción de tipo anisocítico, sin una distribución particular; índice estomático de 11.2 a 21.6 (cuadro 7); longitud de células oclusivas de 23 a 29  $\mu\text{m}$  (cuadro 7), porciones de la pared de las células epidérmicas adyacentes a los estomas, originan nódulos o pliegues pequeños en los extremos polares de las células oclusivas, que varían en frecuencia entre las razas (cuadro 6).

*Sección transversal.* Grosor de cutícula menor a 3  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada, con células epidérmicas de forma cúbica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 16.5 a 22.6  $\mu\text{m}$  de largo por 32.3 a 35.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 9), de paredes delgadas (Figs. 6, 7), núcleo en general en posición basal. Las células adyacentes a los estomas se observan ligeramente por encima del nivel de las células epidérmicas, mientras que las células oclusivas permanecen al nivel de éstas; células oclusivas con contenidos densos de aspecto granular, no determinados y cloroplastos; cámara subestomática poco frecuente, generalmente conspicua (cuadro 8) (Figs. 6, 7).

Epidermis abaxial. *Vista superficial.* Los tricomas varían en frecuencia entre las razas (cuadro 10), se distribuyen principalmente sobre las células costales, similares a los de la epidermis adaxial, tanto glandulares como no glandulares; en ambos casos con células colapsadas.

Células epidérmicas diferenciadas en costales e intercostales. Células costales de forma rectangular de 95.6 a 139.5  $\mu\text{m}$  de largo por 18.3 a 22.9  $\mu\text{m}$  de ancho; paredes anticlinales rectas, de 2.5 a 5  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 11), con rebordes angulares o curvados. Células intercostales de forma irregular, con paredes anticlinales sinuosas de 2 a 3.7  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 11) y rebordes curvados.

Estomas frecuentemente de tipo anomocítico y en menor proporción de tipo anisocítico; sin una distribución particular; índice estomático de 15.8 a 24.1; longitud de células oclusivas de 26.6 a 32.8  $\mu\text{m}$  (cuadro 11), porciones de la pared de las células epidérmicas adyacentes a los estomas, originan nódulos o pliegues en los extremos polares de las células oclusivas, que varían en tamaño y frecuencia entre las razas (cuadro 10) (Figs. 4, 5).

*Sección transversal.* Grosor de cutícula menor a 3  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada, con células epidérmicas de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 17.1 a 23.4  $\mu\text{m}$  de largo por 25  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 9), de paredes delgadas, núcleo en general en posición basal; las células epidérmicas que se localizan

por debajo de los haces vasculares mayores, con una pared periclinal externa ligeramente más gruesa. Las células adyacentes a los estomas se observan ligeramente por encima del nivel de las células epidérmicas, mientras que las células oclusivas permanecen al nivel de éstas; células oclusivas con contenidos densos de aspecto granular, no determinados y cloroplastos; cámara subestomática conspicua.

#### TEJIDO FUNDAMENTAL

Parénquima. *Sección transversal*. Este tejido puede o no tener un arreglo radial hacia los haces vasculares, más evidente en las venas de órdenes superiores y en las razas Guatemalteco y Mexicano (cuadro 8) (Figs. 7, 8). En general, cuando las células del mesofilo se disponen de manera radiada alrededor de los haces vasculares y forman una corona se le da el nombre de *anatomía Kranz*. Para cada una de las tres razas se diferencian tres tipos de parénquima: en empalizada, esponjoso y lobulado.

Parénquima en empalizada: ubicado en el extremo adaxial de la lámina, uni o biestratificado con células de forma rectangular, en posición perpendicular al eje longitudinal de la hoja, de paredes delgadas ligeramente sinuosas; cloroplastos más pequeños y menos numerosos que los de las células de la vaina; espacios intercelulares reducidos, más evidentes donde se encuentran con los estomas.

Parénquima esponjoso: ubicado en la zona media de la lámina, se pueden diferenciar dos tipos celulares: células alargadas, más cortas que las del mesofilo en empalizada y células isodiamétricas; en la raza Africano no se observan células isodiamétricas (cuadro 8); ambos tipos celulares pueden o no tener contacto directo con las células de la vaina de los haces, pero tienden a arreglarse radialmente hacia ellas; de paredes delgadas y cloroplastos similares a los del parénquima en empalizada; este tejido es más laxo comparado con el parénquima en empalizada, espacios intercelulares conspicuos.

Parénquima lobulado: ubicado en el extremo abaxial de la lámina, en un sólo estrato; con células de forma irregular, de paredes delgadas; sin cloroplastos o muy escasos;

lóbulos muy marcados que se unen con los de otras células de este tipo originando una cadena, con espacios intercelulares abundantes, muy grandes.

Contenidos celulares. Con dos formas de cristales de oxalato de calcio: arena y drusas. Arena poco abundante a nivel del parénquima lobulado; las drusas se localizan dentro de idioblastos entre las células de parénquima esponjoso; de 46.9 a 50.1  $\mu\text{m}$  de diámetro (cuadro 9), variando su frecuencia entre las razas (cuadro 8) (Figs. 9, 10).

#### TEJIDO VASCULAR

*Vista superficial.* Se observa un patrón de venación eucantódromo, con una vena primaria en posición central y venas secundarias y terciarias muy conspicuas, las venas finales originan areolas de forma poligonal en las que se observan idioblastos con cristales de oxalato de calcio en forma de drusas o arena (Figs. 9, 10). Elementos de conducción de las venas finales generalmente con engrosamientos espiralados.

*Sección transversal.* Todas las venas de órdenes mayores están rodeadas por una vaina parenquimática uniestratificada completa; en las venas de órdenes menores es incompleta. Con células de forma cúbica o rectangular, de 27.6 a 40  $\mu\text{m}$  de largo por 25.5 a 39.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 9); de paredes delgadas, con abundantes cloroplastos de mayor tamaño que los de las células parenquimáticas del mesofilo, teñidos más densamente y ubicados centripetamente, hacia el tejido vascular (Figs. 6, 7 y 8).

Haces vasculares colaterales, de tamaños variados, siendo más frecuentes los de órdenes mayores; constituidos por floema y xilema. Floema, un paquete por haz vascular formado por miembros del tubo criboso, células acompañantes y células parenquimáticas. Xilema formado por traqueidas y vasos como elementos de conducción y células parenquimáticas, cada haz con dos a seis elementos de conducción (cuadro 9).

**Cuadro 6. Valores cualitativos para la lámina superficie adaxial**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Frecuencia de tricomas	Frecuentes	Abundantes	Frecuentes
Forma de células intercostales	Rectangulares y poligonales	Irregulares	Rectangulares y poligonales
Frecuencia de pliegues estomáticos	Escasos	Escasos	Frecuentes

**Cuadro 7. Valores cuantitativos para la lámina superficie adaxial**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Número de células de los tricomas	3 a 6	3 a 8	5 a 8
Largo de células costales ( $\mu\text{m}$ )	$81.8 \pm 15.3$ (50.0 - 107.5)	$84.3 \pm 23.5$ (52.5 - 140.0)	$89.8 \pm 23.9$ (50.0 - 140.0)
Ancho de células costales ( $\mu\text{m}$ )	$16.3 \pm 4.3$ (10.0 - 25.0)	$15.8 \pm 3.9$ (7.5 - 25.0)	$20.0 \pm 4.1$ (15.0 - 29.5)
Grosor de pared anticlinal de células costales ( $\mu\text{m}$ )	2.5 a 5.0	2.5 a 5.0	1.3 a 3.8
Largo de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	$31.5 \pm 7.7$ (17.5 - 52.5)	$30.3 \pm 6.1$ (17.5 - 37.5)	$37.7 \pm 8.5$ (26.3 - 55.0)
Ancho de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	$52.9 \pm 11.9$ (25.0 - 70.0)	$51.6 \pm 9.8$ (31.3 - 70.0)	$78.8 \pm 17.4$ (52.5 - 117.5)
Grosor de pared anticlinal de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	2.5	2.5	1.2 a 3.7
Índice estomático	$11.2 \pm 1.8$ (6.3 - 13.2)	$17.0 \pm 2.8$ (13.1 - 21.7)	$21.6 \pm 3.3$ (16.9 - 28.6)
Largo de células oclusivas ( $\mu\text{m}$ )	$23.9 \pm 3.6$ (20.0 - 35.0)	$29.0 \pm 3.0$ (25.0 - 35.0)	$23.0 \pm 3.7$ (17.5 - 30.0)

**Cuadro 8. Valores cualitativos para la lámina en sección transversal**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Cámara subestomática adaxial	Grande	Pequeña	Grande
Distribución del tejido parenquimático	Radial poco evidente	Radial evidente	Radial evidente
Forma de células del parénquima esponjoso	Alargadas cortas	Alargadas cortas e isodiamétricas	Alargadas cortas e isodiamétricas
Frecuencia de drusas	Escasas	Frecuentes	Frecuentes

**Cuadro 9. Valores cuantitativos para la lámina en sección transversal**

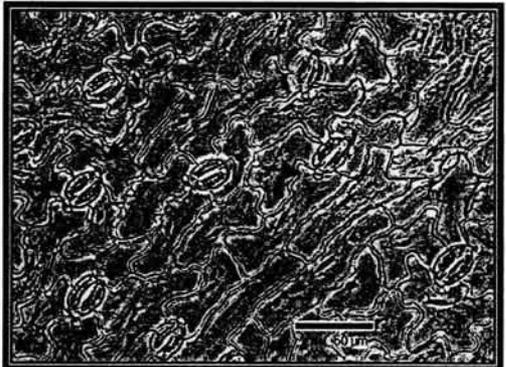
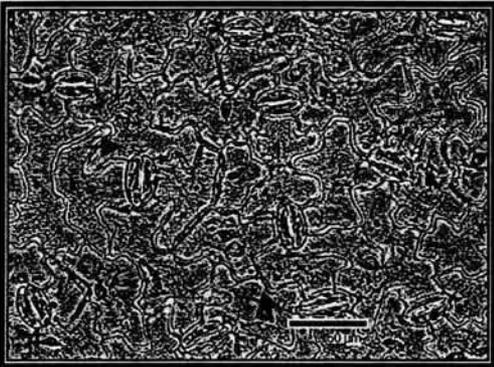
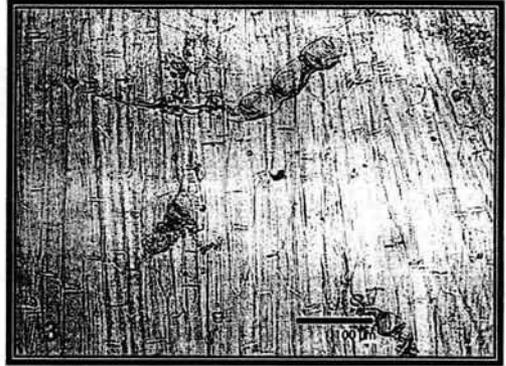
Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Largo de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	20.3 $\pm$ 6.1 (12.5 - 32.5)	22.6 $\pm$ 3.6 (17.5 - 30.0)	16.5 $\pm$ 5.0 (8.8 - 25.0)
Ancho de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	32.3 $\pm$ 7.1 (16.3 - 42.5)	35.8 $\pm$ 7.3 (20.0 - 50.0)	32.4 $\pm$ 7.7 (17.5 - 50.0)
Largo de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	23.4 $\pm$ 3.8 (15.0 - 30.0)	17.3 $\pm$ 2.7 (12.5 - 22.5)	17.1 $\pm$ 4.7 (10.0 - 25.0)
Ancho de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	25.3 $\pm$ 4.7 (15.0 - 32.5)	25.0 $\pm$ 6.0 (15.0 - 40.0)	25.0 $\pm$ 7.5 (12.5 - 35.0)
Diámetro de drusas ( $\mu\text{m}$ )	46.9 $\pm$ 10.8 (25.0 - 65.0)	50.1 $\pm$ 17.3 (25.0 - 87.5)	48.9 $\pm$ 15.8 (22.5 - 75.0)
Largo de células de la vaina ( $\mu\text{m}$ )	40.0 $\pm$ 6.5 (25.0 - 52.5)	36.0 $\pm$ 5.5 (23.8 - 48.8)	27.6 $\pm$ 4.9 (22.5 - 37.5)
Ancho de células de la vaina ( $\mu\text{m}$ )	39.8 $\pm$ 9.8 (22.5 - 60.0)	31.0 $\pm$ 6.0 (22.5 - 42.5)	25.5 $\pm$ 5.7 (17.5 - 37.5)
Número de vasos por haz vascular	3 a 5	2 a 4	4 a 6

**Cuadro 10. Valores cualitativos para la lámina superficie abaxial**

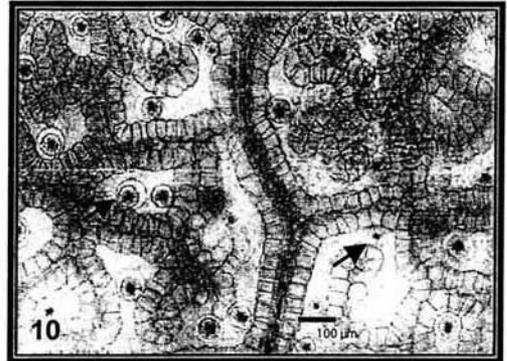
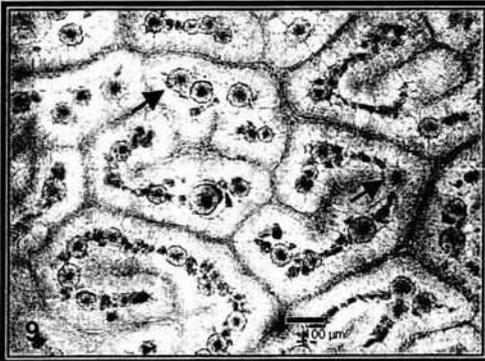
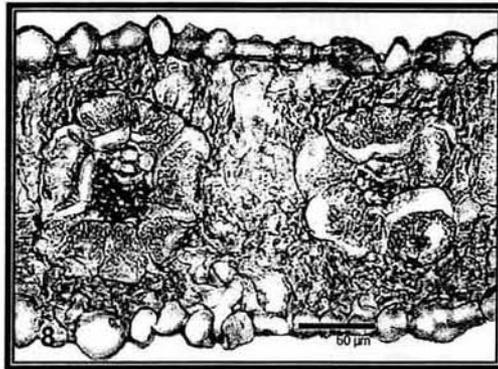
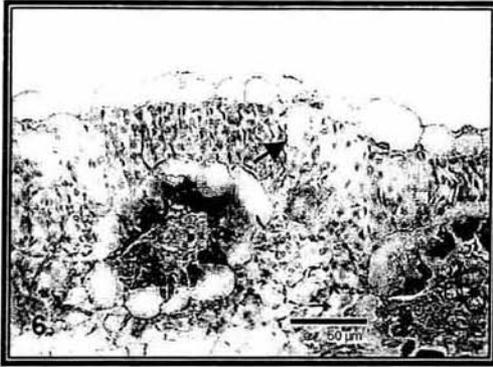
Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Frecuencia de tricomas	Frecuentes	Frecuentes	Escasos
Frecuencia de pliegues estomáticos	Frecuentes	Frecuentes	Escasos
Tamaño de pliegues estomáticos	Grandes	Grandes	Medianos

**Cuadro 11. Valores cuantitativos para la lámina superficie abaxial**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Largo de células costales ( $\mu\text{m}$ )	95.6 $\pm$ 18.2 (65.0 - 150.0)	139.5 $\pm$ 33.3 (85.0 - 220.0)	123.5 $\pm$ 28.6 (67.5 - 180.0)
Ancho de células costales ( $\mu\text{m}$ )	22.9 $\pm$ 3.6 (15.0 - 30.0)	19.5 $\pm$ 3.6 (15.0 - 25.0)	18.3 $\pm$ 4.1 (10.0 - 25.0)
Grosor de pared anticlinal de células costales ( $\mu\text{m}$ )	2.5 a 3.7	2.5 a 3.7	2.5 a 5.0
Grosor de pared anticlinal de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	2.5 a 3.7	2.5 a 3.7	2.0 a 3.7
Índice estomático	15.8 $\pm$ 2.1 (12.5 - 19.1)	22.0 $\pm$ 2.1 (18.0 - 26.8)	24.1 $\pm$ 2.4 (19.7 - 29.5)
Largo de células oclusivas ( $\mu\text{m}$ )	27.6 $\pm$ 3.0 (25.0 - 35.0)	32.8 $\pm$ 8.9 (25.0 - 40.0)	26.6 $\pm$ 3.9 (17.5 - 35.0)



**Figuras 2-5.** *A. cruentus*. Vista superficial de lámina. Fig. 2. Mayor número de tricomas en Guatemalteco. Fig. 3. Menor número de tricomas en Africano. Fig. 4. Índice estomático mayor y células adyacentes a los estomas con pliegues pequeños frecuentes (flechas) en Mexicano. Fig. 5. Índice estomático menor y células adyacentes a los estomas con pliegues grandes escasos (flechas) en Africano.



**Figuras 6-10.** *A. cruentus*. Sección transversal de lámina (6-8). Fig. 6. Células epidérmicas adaxiales grandes, cámara subestomática poco evidente (flecha) en Guatemalteco. Fig. 7. Células epidérmicas adaxiales y células de la vaina pequeñas, arreglo radial evidente de las células del mesofilo alrededor de las células de la vaina y cámara subestomática adaxial conspicua (flecha) en Mexicano. Fig. 8. Arreglo radial poco evidente y células de la vaina grandes en Africano. Vista superficial de lámina (9-10). Fig. 9. Cristales de oxalato de calcio en forma de drusas (flechas) abundantes en Guatemalteco. Fig. 10. Cristales de oxalato de calcio en forma de drusas (flechas) escasos en Africano.

## II. VENA MEDIA

### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial. *Vista superficial.* Tricomos más abundantes y del mismo tipo que los observados en la lámina, con cinco a nueve células (cuadro 13), en la raza Mexicano con tricomas biseriados más frecuentes que en las otras razas. Células epidérmicas poligonales y obloides alargadas en dirección tangencial (cuadro 12), de paredes engrosadas; no se observaron estomas.

Epidermis abaxial. *Vista superficial.* Tricomos escasos, similares a los observados en la lámina para la raza Africano, en las razas Guatemalteco y Mexicano sólo se observaron no glandulares. Células epidérmicas de forma rectangular o poligonal, de paredes ligeramente menos engrosadas que las de la epidermis adaxial.

*Sección transversal.* Grosor de cutícula de 2 a 4  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada, con células epidérmicas de forma cúbica u obloide y alargadas en dirección tangencial; en el extremo adaxial de 19.9 a 21.8  $\mu\text{m}$  de largo por 20.8 a 24  $\mu\text{m}$  de ancho y en la superficie abaxial de 15.4 a 18.1  $\mu\text{m}$  de largo por 22.3 a 23.7  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 13), para ambos casos con paredes periclinales externas engrosadas.

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Colénquima. Angular; discontinuo excepto en la raza Mexicano (cuadro 12) (Figs. 11, 12); para las tres razas, en el extremo adaxial con cuatro a ocho estratos celulares, células de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 20.9 a 25.4  $\mu\text{m}$  de largo por 19.8 a 22.5  $\mu\text{m}$  de ancho; en el extremo abaxial con dos a cuatro estratos celulares (Fig. 13), con células de 24.1 a 29.6  $\mu\text{m}$  de largo por 20.1 a 25.4  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 13).

Parénquima. De tipo esponjoso, ocupa la mayor parte de la vena central, se puede diferenciar una zona externa o periférica y una zona interna o medular; parénquima periférico con células de forma obloide, de 73.9 a 99.1  $\mu\text{m}$  de largo por 71.1 a 85.9  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 13), de paredes delgadas (Figs. 11, 12); parénquima medular con

células de forma obloide de 75.8 a 105  $\mu\text{m}$  de largo por 51 a 87.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 13).

Contenidos celulares. Se observan cristales de oxalato de calcio en forma de arena, abundantes en el parénquima periférico y escasos en el medular (Fig. 15).

#### TEJIDO VASCULAR

Haces vasculares generalmente colaterales, en la raza Africano algunos haces invierten la posición del xilema y del floema; en la raza Mexicano algunos haces son anficribales; para las tres razas los haces son de tamaño y número variable, desde seis hasta 18 haces (cuadro 13); organizados para formar una "u" en la raza Mexicano o un anillo para las otras razas (cuadro 12) (Figs. 14, 15); cada uno con una vaina de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Floema generalmente un paquete por haz vascular, formado por protofloema, miembros del tubo criboso, células acompañantes y células parenquimáticas de mayor tamaño. Xilema formado por protoxilema, traqueidas y vasos como elementos de conducción, células parenquimáticas y fibras; haces vasculares con 21.2 a 28.3 vasos de 35.7 a 57.6  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial, grosor de pared de cuatro  $\mu\text{m}$  y de 147.1 a 170  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 13); los elementos más frecuentes con punteaduras pseudoescalariformes (cuadro 12); con placa terminal con perforación simple y ángulo de inclinación menor a 45°; fibras libriformes, generalmente escasas, de tamaño variado (cuadro 12), con protoplasma y núcleo presente.

**Cuadro 12. Valores cualitativos de la vena media**

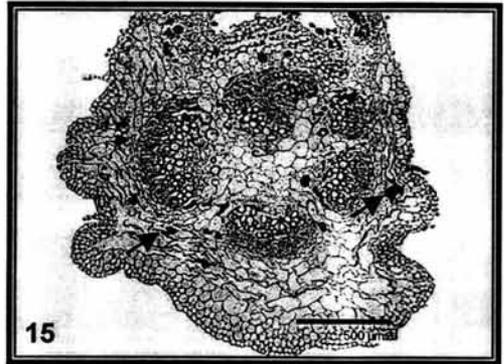
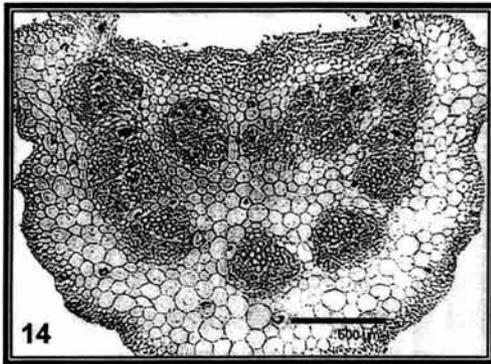
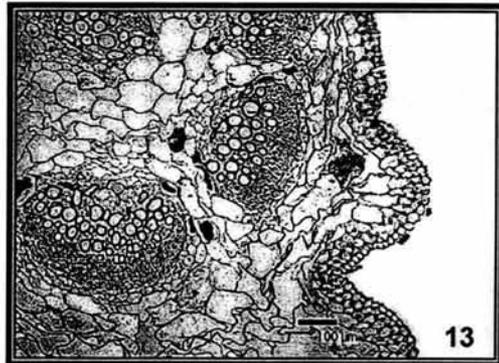
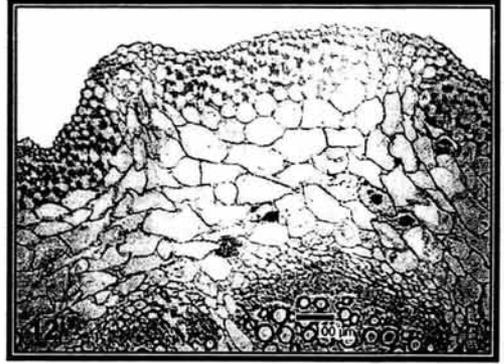
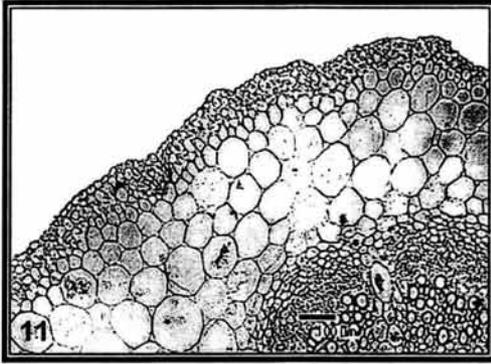
<b>Carácter</b>	<b>Africano</b>	<b>Guatemalteco</b>	<b>Mexicano</b>
Frecuencia de tricomas biseriados adaxiales	Escasos	Escasos	Frecuentes
Forma de células de la epidermis	Poligonales	Poligonales	Poligonales y obloides
Tipo de tricomas abaxiales	Glandulares y no glandulares	No glandulares	No glandulares
Colénquima	Discontinuo	Discontinuo	Continuo
Tipo de haces vasculares	Colaterales	Colaterales	Colaterales y anficribales
Posición de xilema y floema en haces adaxiales	Floema endarca xilema exarca	Floema exarca xilema endarca	Floema exarca xilema endarca
Organización de los haces vasculares	Anillo	Anillo	"U"
Tipo de engrosamientos de los elementos de vaso	Espiralados bordeados	Pseudoescalariformes	Pseudoescalariformes
Tamaño de fibras	Cortas	Largas	Cortas

**Cuadro 13. Valores cuantitativos de la vena media**

<b>Carácter</b>	<b>Africano</b>	<b>Guatemalteco</b>	<b>Mexicano</b>
Número de células de los tricomas	5 a 9	5 a 8	6 a 9
Largo de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	21.8 $\pm$ 3.4 (17.5 - 27.5)	21.5 $\pm$ 3.9 (15.0 - 30.0)	19.9 $\pm$ 4.3 (13.8 - 28.8)
Ancho de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	21.8 $\pm$ 4.7 (12.5 - 32.5)	24.0 $\pm$ 5.8 (12.5 - 38.8)	20.8 $\pm$ 6.1 (12.5 - 32.5)
Largo de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	18.1 $\pm$ 2.9 (12.5 - 22.5)	16.7 $\pm$ 2.8 (12.5 - 25.0)	15.4 $\pm$ 2.5 (11.3 - 20.0)
Ancho de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	23.0 $\pm$ 7.9 (12.5 - 25.0)	23.7 $\pm$ 7.0 (15.0 - 35.0)	22.3 $\pm$ 3.1 (17.5 - 27.5)
Número de estratos del colénquima adaxial	8.3 $\pm$ 0.9 (7 - 10)	4.4 $\pm$ 0.6 (3 - 5)	5.7 $\pm$ 1.4 (4 - 8)
Largo de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	25.4 $\pm$ 4.1 (20.0 - 32.5)	20.9 $\pm$ 4.2 (12.5 - 25.0)	21.6 $\pm$ 4.2 (15.0 - 30.0)
Ancho de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	22.5 $\pm$ 5.3 (15.0 - 35.0)	20.6 $\pm$ 5.2 (10.0 - 30.0)	19.8 $\pm$ 3.2 (15.0 - 25.0)
Número de estratos del colénquima abaxial	3.9 $\pm$ 1.0 (2 - 6)	2.5 $\pm$ 0.5 (2 - 3)	2.7 $\pm$ 0.7 (2 - 4)
Largo de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	29.1 $\pm$ 9.4 (15.0 - 45.0)	29.6 $\pm$ 9.9 (20.0 - 55.0)	24.1 $\pm$ 3.8 (17.5 - 35.0)
Ancho de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	24.4 $\pm$ 6.5 (15.0 - 42.5)	25.4 $\pm$ 6.5 (15.0 - 45.0)	20.1 $\pm$ 3.9 (15.0 - 25.0)
Largo de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	76.9 $\pm$ 22.6 (40.0 - 120.0)	73.9 $\pm$ 23.2 (37.5 - 125.0)	99.1 $\pm$ 21.1 (70.0 - 145.0)

Continúa cuadro 13. Valores cuantitativos de la vena media

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Ancho de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	80.3 $\pm$ 25.5 (40.0 - 145.0)	71.1 $\pm$ 23.4 (37.5 - 125.0)	85.9 $\pm$ 20.8 (52.5 - 125.0)
Largo de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	105.0 $\pm$ 41.0 (45.0 - 195.0)	75.9 $\pm$ 17.3 (40.0 - 105.0)	75.8 $\pm$ 12.1 (57.5 - 97.5)
Ancho de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	78.6 $\pm$ 27.2 (45.0 - 145.0)	51.0 $\pm$ 9.9 (32.5 - 77.5)	87.8 $\pm$ 15.4 (55.0 - 120.0)
Número de haces vasculares	16	6	18
Número de vasos por haz vascular	25.6 $\pm$ 11.3 (9 - 43)	28.3 $\pm$ 9.2 (17 - 39)	21.2 $\pm$ 12.3 (2 - 41)
Diámetro tangencial de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	42.3 $\pm$ 9.4 (30.0 - 58.8)	35.7 $\pm$ 4.4 (27.5 - 43.8)	57.6 $\pm$ 18.2 (36.3 - 95.0)
Grosor de pared de los elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	4.7 $\pm$ 0.5 (3.8 - 5.0)	4.6 $\pm$ 0.6 (3.8 - 5.0)	4.3 $\pm$ 0.6 (3.8 - 5.0)
Largo de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	170.0 $\pm$ 37.2 (100.0 - 230.0)	147.1 $\pm$ 37.2 (100.0 - 226.3)	163.6 $\pm$ 34.7 (102.5 - 212.5)



**Figuras 11-15.** *A. cruentus*. Sección transversal de vena media. Fig. 11 Colénquima continuo en Mexicano. Fig. 12. Colénquima discontinuo con el mayor número de estratos celulares en Africano. Fig. 13. Colénquima con el menor número de estratos celulares en Guatemalteco. Fig. 14. Arreglo de los haces vasculares en forma de U, con el mayor número de haces vasculares en Mexicano. Fig. 15. Arreglo de los haces en forma de anillo, con un número menor de haces vasculares en Guatemalteco y abundantes cristales en forma de arena en el córtex.

### III. PECIOLLO

#### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial y abaxial. *Vista superficial.* Los tricomas varían en frecuencia en la epidermis adaxial (cuadro 14) y son generalmente escasos en la epidermis abaxial; en todos los casos son similares a los observados en la lámina con 4 a 11 células (cuadro 15). Células epidérmicas rectangulares o poligonales de paredes engrosadas; estomas generalmente anomocíticos, en general más abundantes en la epidermis abaxial.

*Sección transversal.* Contorno irregular, sinuoso (Figs. 18, 19). Grosor de cutícula 2  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada con células epidérmicas de tres formas: cónicas, obloides y rectangulares alargadas en dirección tangencial; las dos primeras de paredes ligeramente engrosadas y rebordes curvados, ubicadas sobre el colénquima; células rectangulares con paredes delgadas; en todos los casos el tamaño de las células varía de 14 a 20.1  $\mu\text{m}$  de largo por 14.8 a 24.5  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 15).

#### TEJIDO FUNDAMENTAL

Colénquima. Angular; discontinuo, con cuatro ó cinco estratos celulares (cuadro 15); en el extremo adaxial; con células de forma rectangular y obloide de 17.2 a 32.8  $\mu\text{m}$  de largo por 16.2 a 35  $\mu\text{m}$  de ancho; en el extremo abaxial con células de 23.8 a 32.8  $\mu\text{m}$  de largo por 19.8 a 31.1  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 15) (Figs. 16, 17).

Parénquima. De tipo esponjoso, excepto en las zonas donde el colénquima se interrumpe por células de forma obloide o lobuladas, similares a las del extremo abaxial de la lámina, visiblemente más pequeñas que el resto de las células parenquimáticas, de paredes delgadas, con numerosos cloroplastos, espacios intercelulares conspicuos. El resto del tejido parenquimático con grandes células de forma obloide o isodiamétrica, algunas de forma irregular; se puede diferenciar una zona externa o parénquima periférico con células de 48 a 107.4  $\mu\text{m}$  de largo por 67.1 a 123.1  $\mu\text{m}$  de ancho (Figs. 16, 17) y una zona interna o parénquima medular, con células de 86.4 a 153  $\mu\text{m}$  de largo por 63.1 a 134.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 15).

Contenidos celulares. Se observan cristales de oxalato de calcio en forma de arena, en general escasos en el parénquima periférico, en el parénquima asociado a los haces vasculares, en el tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas y en el parénquima medular, más abundantes en la raza Guatemalteco (cuadro 14).

#### **TEJIDO VASCULAR**

Conformado por 13 a 16 haces vasculares (cuadro 15) generalmente colaterales (Figs. 18, 19), en el extremo adaxial algunos haces son anficribales, dispuestos a manera de "u"; cada haz vascular con una vaina de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Floema un paquete por haz vascular, formado por protofloema, miembros de tubos cribosos, células acompañantes y células parenquimáticas de mayor tamaño. Xilema con protoxilema, traqueidas y vasos como elementos de conducción, inmersos en una matriz parenquimática y fibras; cada haz con 15.7 a 29 vasos (Figs. 20, 21) de 34.1 a 43.9  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial, grosor de pared de 4 a 5  $\mu\text{m}$  y de 166.1 a 196.8  $\mu\text{m}$  de largo, (cuadro 15), elementos de vaso más frecuentes con punteaduras pseudoescalariformes (cuadro 14), con placa terminal con perforación simple y ángulo de inclinación menor a 45°, fibras de tipo libriforme escasas, excepto en la raza Mexicano donde son frecuentes y largas, con contenidos celulares y núcleo.

**Cuadro 14. Valores cualitativos del peciolo**

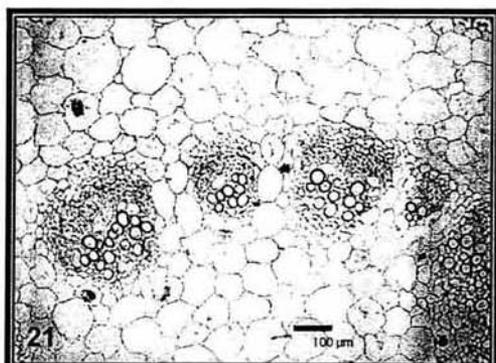
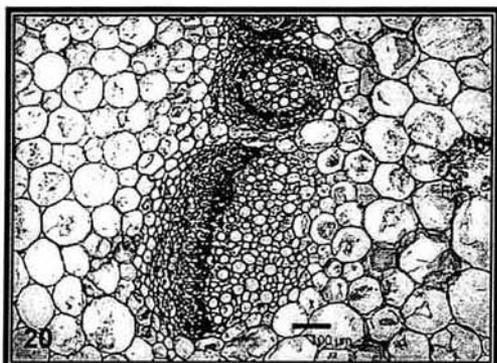
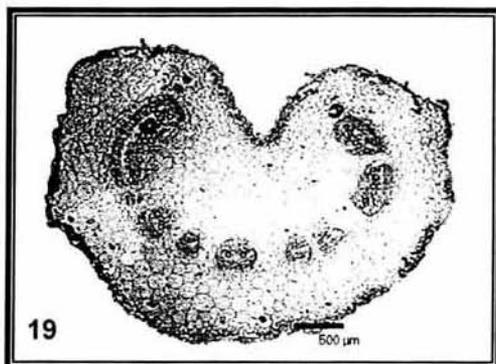
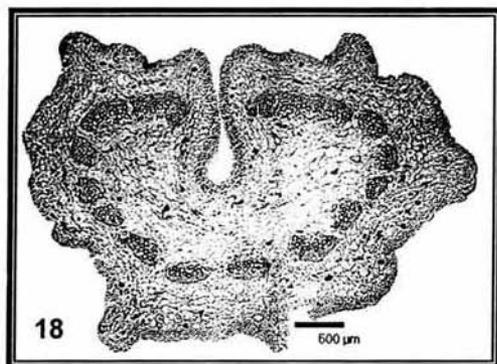
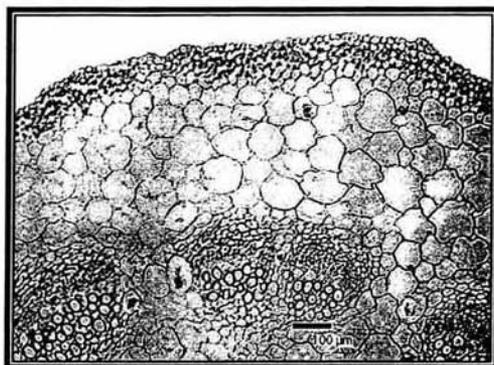
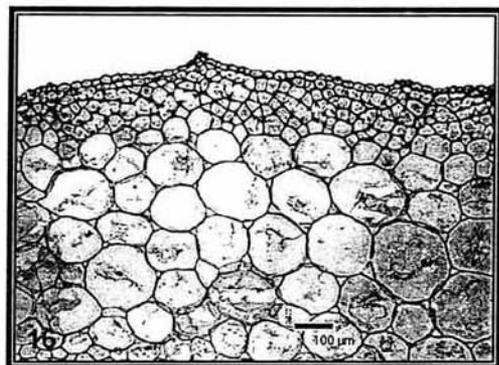
Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Frecuencia de tricomas adaxiales	Frecuentes	Frecuentes	Abundantes
Frecuencia de los cristales	Escasos	Abundantes	Escasos
Tipo de engrosamiento de los elementos de vaso	Pseudoescalariformes y espiralados	Pseudoescalariformes y espiralados	Pseudoescalariformes
Frecuencia de fibras	Escasas	Escasas	Frecuentes
Tamaño de fibras	Cortas	Cortas	Largas

**Cuadro 15. Valores cuantitativos del peciolo**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Número de células de los tricomas	6 a 11	4 a 6	5 a 11
Largo de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	20.1 $\pm$ 3.8 (15.0 - 25.0)	16.1 $\pm$ 4.9 (10.0 - 25.0)	14.0 $\pm$ 3.2 (7.5 - 20.0)
Ancho de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	24.5 $\pm$ 5.5 (15.0 - 35.0)	18.8 $\pm$ 5.16 (10.0 - 30.0)	14.8 $\pm$ 2.7 (10.0 - 20.0)
Número de estratos del colénquima adaxial	4.6 $\pm$ 0.7 (3 - 6)	4.3 $\pm$ 0.7 (3 - 6)	3.7 $\pm$ 0.7 (3 - 5)
Largo de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	32.8 $\pm$ 10.6 (18.8 - 57.5)	20.7 $\pm$ 5.8 (11.3 - 37.5)	17.2 $\pm$ 4.6 (10.0 - 27.5)
Ancho de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	35.0 $\pm$ 11.7 (20.0 - 66.3)	23.4 $\pm$ 7.9 (17.5 - 42.5)	16.2 $\pm$ 4.8 (10.0 - 26.3)
Número de estratos del colénquima abaxial	4.6 $\pm$ 0.8 (3 - 6)	4.7 $\pm$ 0.7 (3 - 6)	3.6 $\pm$ 0.5 (3 - 4)
Largo de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	32.8 $\pm$ 8.4 (22.5 - 52.5)	26.1 $\pm$ 4.5 (18.8 - 36.3)	23.8 $\pm$ 5.2 (13.8 - 31.3)
Ancho de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	31.1 $\pm$ 6.9 (17.5 - 42.5)	25.9 $\pm$ 4.4 (17.5 - 35.0)	19.8 $\pm$ 3.1 (13.8 - 27.5)
Largo de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	107.4 $\pm$ 26.0 (60.0 - 155.0)	48.0 $\pm$ 15.5 (25.0 - 90.0)	81.9 $\pm$ 19.0 (57.5 - 125.0)
Ancho de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	123.1 $\pm$ 33.0 (67.5 - 190.0)	67.1 $\pm$ 19.1 (30.0 - 100.0)	94.0 $\pm$ 17.4 (65.0 - 125.0)
Largo de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	153.0 $\pm$ 58.9 (90.0 - 275.0)	92.0 $\pm$ 32.8 (40.0 - 150.0)	86.4 $\pm$ 15.7 (52.5 - 120.0)
Ancho de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	134.8 $\pm$ 46.6 (60.0 - 210.0)	63.1 $\pm$ 21.8 (25.0 - 107.5)	107.8 $\pm$ 27.5 (67.5 - 195.0)

**Continúa cuadro 15. Valores cuantitativos del peciolo**

<b>Carácter</b>	<b>Africano</b>	<b>Guatemalteco</b>	<b>Mexicano</b>
Número de haces vasculares	14	16	13
Número de vasos por haz vascular	29.0 ± 14.9 (8 - 60)	27.1 ± 11.4 (14 - 59)	15.7 ± 9.4 (2 - 37)
Diámetro tangencial de elementos de vaso (µm)	42.4 ± 6.0 (35.0 - 52.5)	34.1 ± 5.4 (22.5 - 45.0)	43.9 ± 8.4 (32.5 - 62.5)
Grosor de pared de elementos de vaso (µm)	4.2 ± 0.6 (3.8 - 5.0)	4.9 ± 0.5 (3.8 - 6.3)	5.0 ± 0 (5.0 - 5.0)
Largo de elementos de vaso (µm)	196.8 ± 60.5 (125.0 - 297.5)	166.1 ± 37.7 (117.5 - 253.8)	176.8 ± 52.4 (115.0 - 332.5)



**Figuras 16-21.** *A. cruentus*. Sección transversal de peciolo. Fig. 16. Colénquima con el mayor número de estratos y células grandes en Africano. Fig. 17. Colénquima con el menor número de estratos y células pequeñas en Mexicano. Fig. 18. Mayor número de haces vasculares en Guatemalteco. Fig. 19. Menor número de haces vasculares en Mexicano. Fig. 20. Haces vasculares con el mayor número de vasos de diámetro pequeño en Africano. Fig. 21. Haces vasculares con el menor número de vasos de diámetro grande en Mexicano.

## TALLO

### TEJIDO DÉRMICO

*Sección transversal.* Contorno irregular o sinuoso; tricomas glandulares escasos, similares a los observados en la lámina; cutícula inconspicua perceptible sólo en algunas regiones del tallo. Epidermis uniestratificada con células de tres formas: isodiamétricas, rectangulares y alargadas en dirección tangencial sobre las células del parénquima, de 15.6 a 21.6  $\mu\text{m}$  de largo por 32 a 35.9  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 17) (Figs. 22, 23) y cúbicas sobre las células del colénquima subyacente, para los tres tipos celulares paredes periclinales externas engrosadas proyectadas semejando una macropapila epidérmica de mayor grosor en las razas Africano y Guatemalteco y más delgadas en la raza Mexicano (cuadro 16). En algunas regiones del tallo se observa una peridermis delgada de dos o tres estratos celulares.

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Córtex. De 403.3 a 527.8  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 17) (Figs. 24, 25); diferenciado en dos zonas, córtex externo y córtex interno. Córtex externo formado por una banda de tejido colenquimático de tipo angular, discontinuo; con 143.3 a 196.3  $\mu\text{m}$  de grosor, y ocho a nueve estratos celulares, células de forma cúbica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 17.6 a 34.8  $\mu\text{m}$  de largo por 23.1 a 50.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 17) (Figs. 22, 23); en las regiones donde el colénquima se interrumpe se observan células parenquimáticas pequeñas similares a las células del parénquima lobulado de la lámina, con abundantes cloroplastos y espacios intercelulares amplios. Córtex interno constituido por células parenquimáticas de forma obloide y alargadas en dirección tangencial, de mayor tamaño que las del córtex externo.

Zona medular. Con grandes células de parénquima esponjoso de forma obloide o isodiamétrica, con 172.5 a 242.5  $\mu\text{m}$  de largo por 144.1 a 198.1  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 17).

Contenidos celulares. Con cristales de oxalato de calcio en forma de arena, en general escasos, aún cuando en la raza Guatemalteco son frecuentes (cuadro 16), para las tres

razas localizados principalmente en el córtex interno, en la región interfascicular y en el parénquima medular.

#### TEJIDO VASCULAR

Derivado a partir de una variante del crecimiento secundario, que origina un patrón de de anillos o bandas cambiales sucesivas, por lo que el tallo está constituido de cuatro a siete bandas (cuadro 17) alternantes de xilema y floema que no son muy claras. Cada banda está separada de la siguiente por tejido conjuntivo tangencial parenquimático, que tiende a lignificarse hacia la periferia en las dos bandas externas, las cuales generalmente se anastomosan.

Cada banda está integrada por regiones interfasciculares constituidas de tejido conjuntivo radial y de regiones fasciculares compuestas por paquetes de haces vasculares colaterales (Figs. 24, 25). Región interfascicular generalmente parenquimática, que se lignifica en el anillo cambial más reciente, donde la banda tiene un grosor de 182 a 390.3  $\mu\text{m}$ , con 7.7 a 23.3 estratos (cuadro 17) con células de forma obloide radialmente alargadas de 19.8 a 22.8  $\mu\text{m}$  de largo por 11.3 a 16.5  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 17). Este cámbium interfascicular puede continuar su división celular varios estratos dentro del córtex. Región fascicular, con haces vasculares colaterales; en el anillo cambial más reciente los haces vasculares están inmersos en una matriz completamente lignificada. Floema formado por miembros de tubo criboso, células acompañantes y células parenquimáticas de mayor tamaño que las anteriores. Xilema con traqueidas y vasos como elementos de conducción, parénquima paratraqueal vasicéntrico y fibras; cada haz vascular con un promedio de 5 vasos, solitarios o agrupados y dispuestos radialmente; de 58.1 a 68.6  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial, 5  $\mu\text{m}$  de grosor de pared y de 154.9 a 218.5  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 17), elementos de vaso generalmente con punteaduras pseudoescalariformes y bordeadas tanto alternas como opuestas (cuadro 16) (Figs. 26, 27), en ambos casos con placa de perforación terminal simple y ángulo de inclinación menor a 45°; fibras libriformes, de 626.5 a 726.5  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 17) (Figs. 28, 29), con contenido celular y núcleo fusiforme, más abundantes que en vena media y peciolo.

En las bandas internas cada haz vascular está inmerso en una matriz parenquimática que tiende a lignificarse hacia el floema, más evidente en la raza Africano (cuadro 17) (Figs. 30, 31); en las tres razas cada haz tiene de dos a cinco estratos de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Floema formado por miembros de tubos cribosos, células acompañantes y células parenquimáticas de mayor tamaño que las anteriores, los estratos más externos del floema están colapsados. Xilema con traqueidas y vasos como elementos de conducción, parénquima paratraqueal vasicéntrico y fibras; con 13.6 a 47.5 vasos por haz vascular (cuadro 17), solitarios o en grupos de hasta cuatro, cada vaso con 51.4 a 55.3  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 17).

**Cuadro 16. Valores cualitativos del tallo**

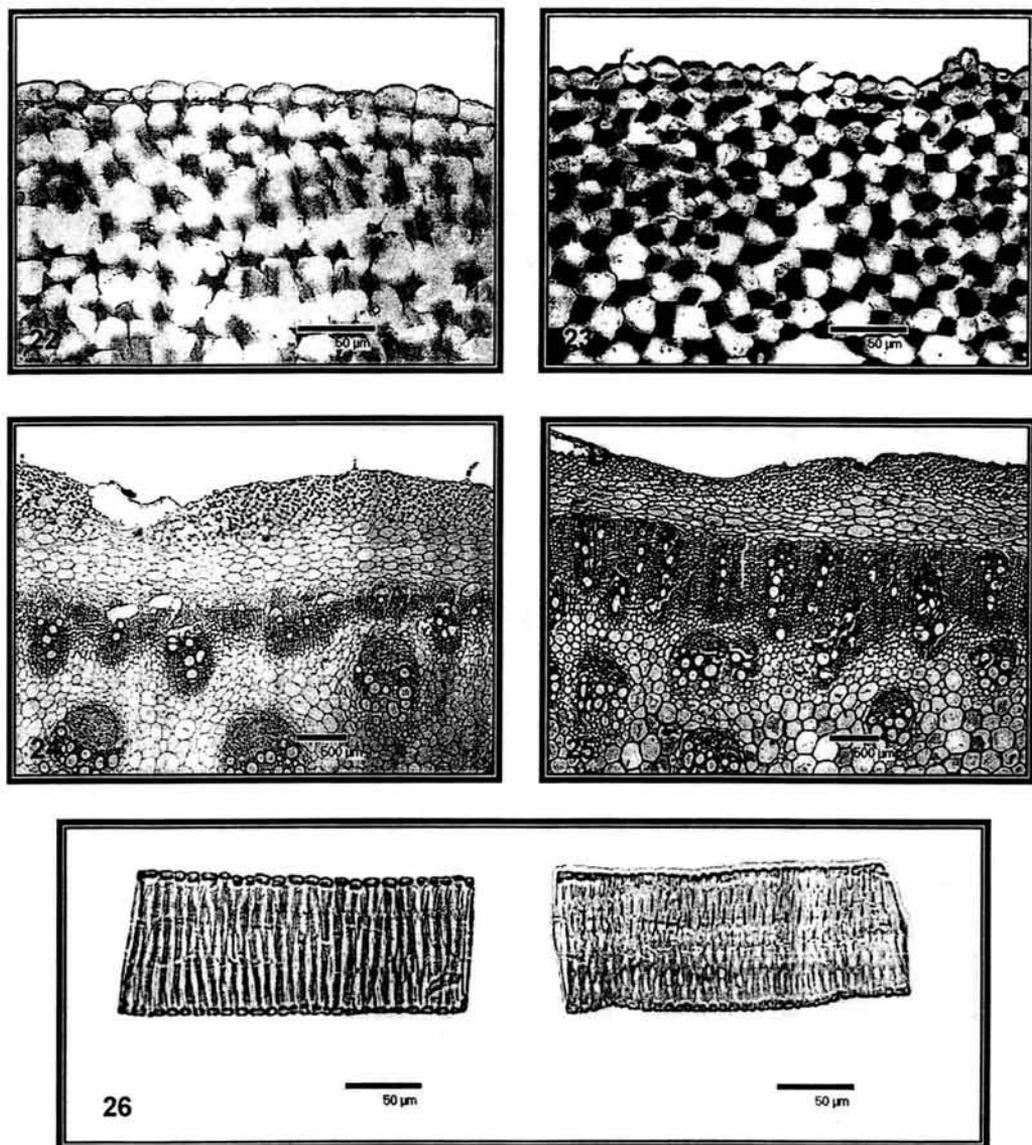
Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Grosor de pared periclinal de las células epidérmicas	Gruesa	Gruesa	Delgada
Frecuencia de cristales	Escasos	Frecuentes	Escasos
Tipo de engrosamiento de los elementos de vaso del anillo cambial externo	Pseudoescalariformes	Bordeadas	Pseudoescalariformes
Lignificación de la región fascicular de las bandas internas	Lignificada	Poco lignificada	Poco lignificada

**Cuadro 17. Valores cuantitativos del tallo**

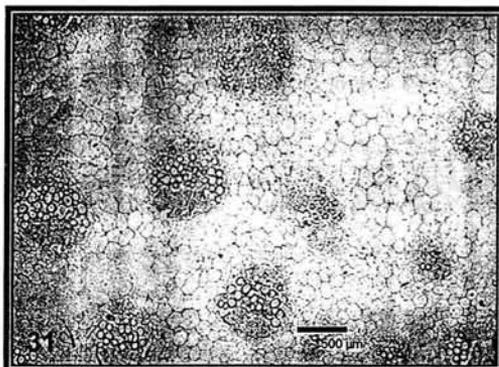
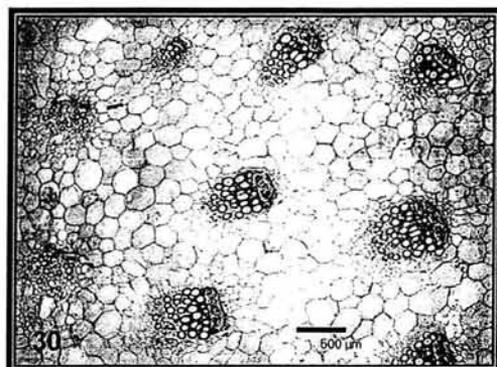
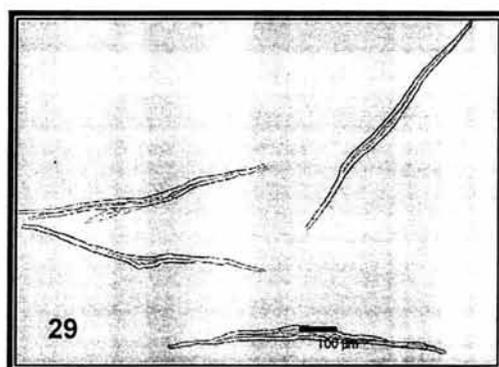
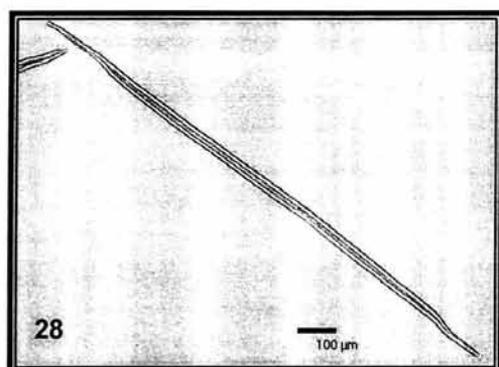
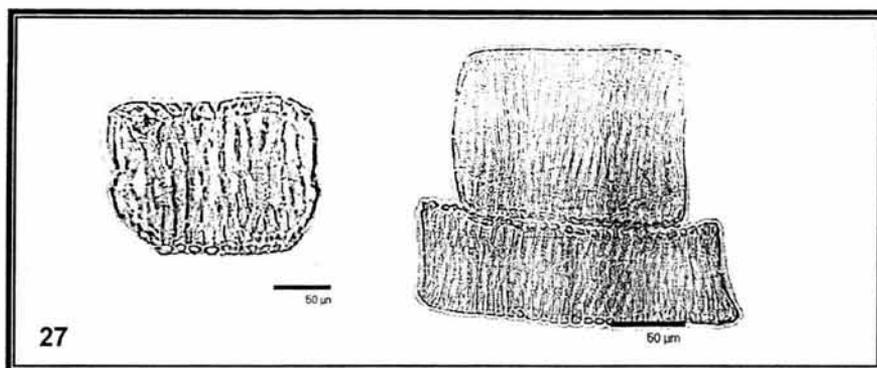
Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Largo de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	18.4 $\pm$ 5.1 (10.0 - 30.0)	15.6 $\pm$ 2.7 (10.0 - 20.0)	21.6 $\pm$ 3.6 (15.0 - 27.5)
Ancho de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	35.9 $\pm$ 10.0 (20.0 - 65.0)	32.5 $\pm$ 5.4 (25.0 - 42.5)	32.0 $\pm$ 6.3 (20.0 - 45.0)
Grosor total del córtex ( $\mu\text{m}$ )	419.5 $\pm$ 166.8 (215.0 - 825.0)	403.3 $\pm$ 114.1 (250.0 - 665.0)	527.8 $\pm$ 88.2 (270.0 - 715.0)
Grosor del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	190.3 $\pm$ 70.0 (100.0 - 400.0)	143.3 $\pm$ 52.5 (70.0 - 220.0)	196.3 $\pm$ 43.2 (90.0 - 280.0)
Número de estratos del colénquima	9 $\pm$ 1.4 (7 - 11)	8.4 $\pm$ 1.1 (6 - 11)	8 $\pm$ 1.2 (6 - 10)
Largo de células del colénquima ( $\mu\text{m}$ )	17.6 $\pm$ 3.0 (12.5 - 25.0)	23.8 $\pm$ 5.0 (15.0 - 35.0)	34.8 $\pm$ 8.0 (25.0 - 55.0)

Continúa cuadro 17. Valores cuantitativos del tallo

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Ancho de células del colénquima ( $\mu\text{m}$ )	23.1 $\pm$ 5.6 (15.0 - 35.0)	24.6 $\pm$ 5.3 (15.0 - 35.0)	50.6 $\pm$ 17.3 (25.0 - 85.0)
Largo de células parenquimáticas medulares ( $\mu\text{m}$ )	242.5 $\pm$ 54.2 (150.0 - 335.0)	187.8 $\pm$ 28.1 (145.0 - 245.0)	172.5 $\pm$ 21.4 (135.0 - 220.0)
Ancho de células parenquimáticas medulares ( $\mu\text{m}$ )	198.1 $\pm$ 44.0 (115.0 - 310.0)	144.1 $\pm$ 21.0 (110.0 - 200.0)	195.9 $\pm$ 28.8 (145.0 - 257.5)
Número de anillos cambiales	4 a 7	5 a 7	4 a 6
Grosor de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	371.7 $\pm$ 103.4 (200.0 - 600.0)	390.3 $\pm$ 79.8 (250.0 - 520.0)	182.0 $\pm$ 43.3 (105.0 - 250.0)
Número de estratos de la zona interfascicular	23.3 $\pm$ 5.3 (12 - 31)	16.1 $\pm$ 3.8 (10 - 23)	7.7 $\pm$ 2.0 (5 - 11)
Largo de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	19.8 $\pm$ 3.8 (10.0 - 25.0)	21.5 $\pm$ 3.9 (15.0 - 30.0)	22.8 $\pm$ 7.2 (10.0 - 35.0)
Ancho de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	11.3 $\pm$ 2.2 (7.5 - 15.0)	16.0 $\pm$ 4.2 (12.5 - 25.0)	16.5 $\pm$ 3.1 (10.0 - 20.0)
Número de vasos por haz vascular de la zona externa	5.3 $\pm$ 2.9 (1 - 12)	5.0 $\pm$ 2.0 (2 - 9)	5.3 $\pm$ 2.2 (2 - 10)
Diámetro tangencial de elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	58.1 $\pm$ 16.5 (20.0 - 90.0)	68.6 $\pm$ 15.7 (45.0 - 95.0)	64.5 $\pm$ 22.1 (30.0 - 115.0)
Grosor de pared de los elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	4.9 $\pm$ 0.8 (3.8 - 6.3)	4.6 $\pm$ 0.8 (3.8 - 6.3)	4.8 $\pm$ 0.5 (3.8 - 5.0)
Largo de elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	154.9 $\pm$ 54.8 (75.0 - 250.0)	218.5 $\pm$ 51.5 (135.0 - 320.0)	209.5 $\pm$ 57.0 (125.0 - 290.0)
Largo de fibras de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	626.5 $\pm$ 90.0 (510.0 - 890.0)	726.5 $\pm$ 144.0 (520.0 - 950.0)	665.3 $\pm$ 106.4 (500.0 - 900.0)
Número de vasos por haz vascular medular	29.3 $\pm$ 9.2 (14 - 43)	13.6 $\pm$ 6 (7 - 31)	47.5 $\pm$ 18.0 (16 - 84)
Diámetro tangencial de elementos de vaso de la zona medular ( $\mu\text{m}$ )	53.6 $\pm$ 13.6 (30.0 - 75.0)	51.4 $\pm$ 15.9 (25.0 - 90.0)	55.3 $\pm$ 18.0 (30.0 - 90.0)



**Figuras 22-26.** *A. cruentus*. Sección transversal de tallo (22-25). Fig. 22. Células epidérmicas de mayor tamaño en Mexicano. Fig. 23. Células epidérmicas pequeñas en Guatemalteco. Fig. 24. Córtez grueso con células de tamaño intermedio a grande y anillo cambial externo delgado en Mexicano. Fig. 25. Córtez delgado con células de tamaño intermedio a pequeño y anillo cambial externo grueso en Guatemalteco. Disociados de anillos cambiales externos. Fig. 26. Elementos de vaso largos con engrosamientos pseudoescalariformes y bordeados en Guatemalteco.



**Figuras 27-31.** *A. cruentus*. Disociados de anillos cambiales externos (27-29). Fig. 27. Elementos de vaso con engrosamientos simples y pseudoescalariformes en Africano. Fig. 28. Fibra larga en Guatemalteco. Fig. 29. Fibras pequeñas en Africano. Sección transversal de tallo (30-31). Fig. 30. Zona fascicular interna con haces vasculares inmersos en una matriz lignificada en Africano. Fig. 31. Zona fascicular interna con haces vasculares inmersos en una matriz poco lignificada y el mayor número de vasos por haz en Mexicano.

## RAÍZ

### TEJIDO DÉRMICO

*Sección transversal.* Contorno regular ligeramente sinuoso; sin tricomas.

Peridermis. Con 1 a 6 estratos celulares (cuadro 19), células de forma cúbica o rectangular y alargadas en dirección tangencial, con paredes poco engrosadas; sin contenidos celulares; en la raza Guatemalteco las células de los estratos más externos se observan colapsadas (Figs. 32, 34).

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Córtex. De 300 a 477  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 19) (Figs. 33, 34). Diferenciado en dos zonas, córtex externo y córtex interno. Córtex externo formado por una banda de tejido parenquimático, discontinuo en la raza Mexicano (cuadro 18); para las tres razas con 170.3 a 217.5  $\mu\text{m}$  de grosor y tres a nueve estratos celulares, células de forma obloide y alargadas en dirección tangencial, de 28 a 33.7  $\mu\text{m}$  de largo por 56.2 a 87.9  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 19), de paredes ligeramente engrosadas y sinuosas; en la raza Mexicano esta banda está interrumpida por tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas de 90 a 260  $\mu\text{m}$  de grosor con cuatro a ocho estratos celulares (cuadro 19) (Fig. 34). Córtex interno de 125.8 a 146  $\mu\text{m}$  de grosor, con tres a ocho estratos; formado por células parenquimáticas obloides y alargadas en dirección tangencial, generalmente de menor tamaño que las del córtex externo.

Zona medular. Con células parenquimáticas, en general de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial de paredes delgadas, el tamaño de las células varía siendo más grandes hacia la médula y más pequeñas hacia el córtex.

Contenidos celulares. Se observan cristales de oxalato de calcio en forma de arena en el córtex interno y en el parénquima medular, varían en frecuencia entre las razas (cuadro 18).

## TEJIDO VASCULAR

Derivado a partir de una variante del crecimiento secundario, que origina un patrón de cinco a ocho anillos o bandas cambiales sucesivas (cuadro 19), en general poco definidas entre las razas (cuadro 18) (Figs. 32, 33). Cada anillo está separado del siguiente por tejido conjuntivo tangencial parenquimático, que tiende a lignificarse hacia el córtex, anastomosándose en los anillos más externos.

Cada anillo está integrado por regiones interfasciculares, continuas o no, de tejido conjuntivo radial y de regiones fasciculares compuestas por paquetes de haces vasculares. Región interfascicular generalmente parenquimática, pero tiende a lignificarse hacia los anillos vasculares más externos, el anillo más reciente tiene un grosor de 238.7 a 330  $\mu\text{m}$ , con 8 a 21 estratos celulares (cuadro 19), con células organizadas en hileras radiales, muy compactas entre sí, de forma obloide y alargadas en dirección tangencial o isodiamétricas, de 15 a 20.9  $\mu\text{m}$  de largo por 9.4 a 12.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 19), de paredes lignificadas de 2.4  $\mu\text{m}$  de grosor, sin espacios intercelulares ni contenidos celulares. Región fascicular, con haces vasculares colaterales; inmersos en una matriz de tejido lignificado, ligeramente menos engrosado en la raza Mexicano (cuadro 18) (Fig. 34). Los haces más externos con floema en un paquete por haz vascular, formado por miembros de tubo criboso, células acompañantes y grandes células parenquimáticas, los estratos más externos están colapsados. Xilema formado por traqueidas y vasos como elementos de conducción, fibras y células parenquimáticas, cada haz vascular con 7.7 a 10.7 vasos (cuadro 19), solitarios o en grupos de cuatro, dispuestos radialmente, con 26.3 a 51.5  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial y pared de 3.5 a 4  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 19).

Las regiones fasciculares más internas con floema similar al observado en el anillo cambial más externo y xilema formado por vasos como elementos de conducción, células parenquimáticas y fibras. Cada haz con 15 a 39.5 vasos (Figs. 35, 36), solitarios o en grupos de hasta cinco vasos generalmente dispuestos radialmente, con 65.8 a 84  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 19).

**Zona medular.** Haces vasculares organizados en dos arcos principales, cada arco a su vez se subdivide en paquetes, de una a tres hileras de tejido parenquimático; con células de forma rectangular, la mayoría alargadas en dirección tangencial, aún cuando algunas se disponen radialmente, en ambos casos, de paredes delgadas y sinuosas. Floema organizado en un paquete, con miembros de tubos cribosos, células acompañantes, y células parenquimáticas; en algunos haces el floema se observa colapsado. Xilema formado por vasos como elementos de conducción y parénquima, vasos solitarios o en grupos de hasta cuatro, dispuestos radialmente, cada haz con 31.8 a 45.8 vasos; con 58.9 a 81.8  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 19).

**Cuadro 18. Valores cualitativos de la raíz**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Córtex externo	Continuo	Continuo	Discontinuo
Frecuencia de los cristales de oxalato de calcio	Abundantes	Escasos	Escasos
Anillos cambiales	Definidos	Poco definidos	Poco definidos
Grado de lignificación de la región fascicular	Lignificado	Lignificado	Poco lignificado

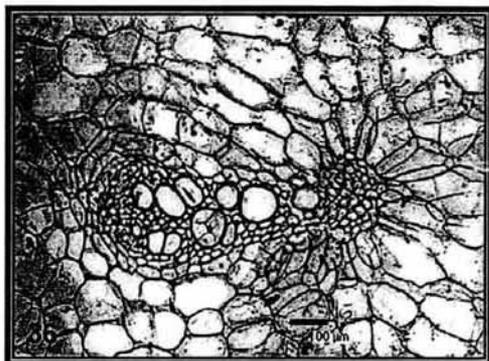
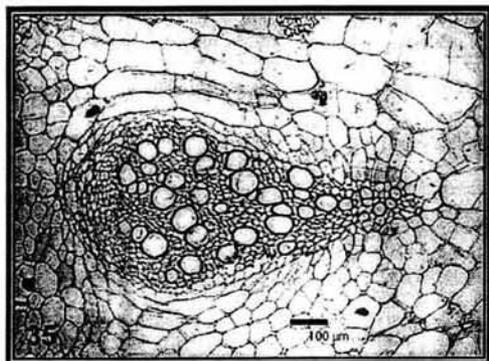
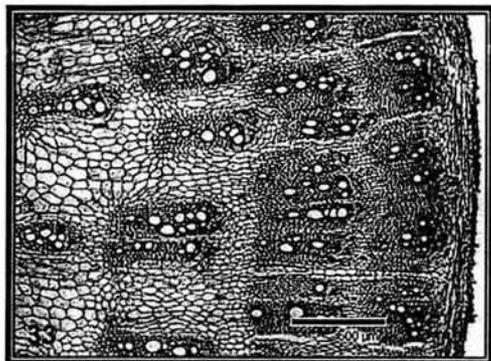
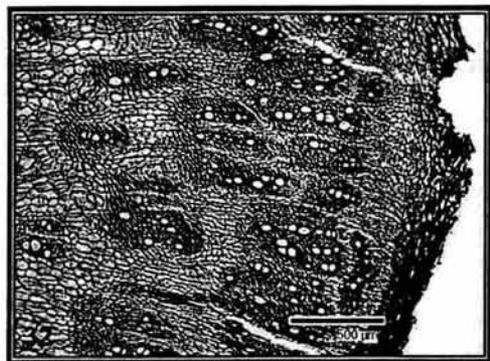
**Cuadro 19. Valores cuantitativos de la raíz**

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Número de estratos de la Peridermis	3 a 6	2 a 6	1 a 3
Grosor total del córtex ( $\mu\text{m}$ )	300.0 $\pm$ 99.4 (135.0 - 480.0)	311.8 $\pm$ 51.0 (200.0 - 400.0)	477.0 $\pm$ 103.2 (300.0 - 660.0)
Grosor del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	170.3 $\pm$ 54.3 (115.0-300.0)	193.8 $\pm$ 26.6 (130.0 - 250.0)	217.5 $\pm$ 50.0 (150.0 - 260.0)
Número de estratos del córtex externo	4 a 7	6 a 9	3 a 7
Largo de células parenquimáticas del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	28.0 $\pm$ 9.0 (15.0 - 50.0)	33.7 $\pm$ 6.8 (20.0 - 43.8)	33.1 $\pm$ 7.1 (18.8 - 45.0)
Ancho de células parenquimáticas del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	78.5 $\pm$ 15.2 (50.0 - 107.5)	87.9 $\pm$ 18.4 (47.5 - 117.5)	56.2 $\pm$ 15.9 (37.5 - 100.0)
Grosor del parénquima de paredes engrosadas ( $\mu\text{m}$ )	*	*	183.3 $\pm$ 45.3 (142.5 - 282.5)

\* Carácter ausente en estas razas

Continúa cuadro 19. Valores cuantitativos de la raíz

Carácter	Africano	Guatemalteco	Mexicano
Número de estratos del parénquima de paredes engrosadas	*	*	4 a 8
Grosor del córtex interno ( $\mu\text{m}$ )	$125.8 \pm 52.4$ (60.0 - 210.0)	$143.0 \pm 64.8$ (55.0 - 210.0)	$141.5 \pm 20.4$ (110.0 - 162.5)
Número de estratos del córtex interno	4 a 8	3 a 8	3 a 7
Número de anillos cambiales	5 a 7	5 a 8	5 a 7
Grosor de la zona interfascicular externa ( $\mu\text{m}$ )	$330.0 \pm 91.9$ (160.0 - 500.0)	$238.7 \pm 85.8$ (145.0 - 400.0)	$317.1 \pm 84.3$ (221.0 - 450.0)
Número de estratos de la zona interfascicular externa	11 a 21	8 a 15	9 a 15
Largo de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	$20.9 \pm 6.2$ (10.0 - 35.0)	$15.3 \pm 5.3$ (5.0 - 25.0)	$15.0 \pm 2.8$ (10.0 - 20.0)
Ancho de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	$12.6 \pm 2.1$ (10.0 - 15.0)	$9.4 \pm 2.0$ (5.0 - 15.0)	$10.3 \pm 3.0$ (5.0 - 15.0)
Número de vasos por haz vascular periférico	$7.7 \pm 4.4$ (2 - 19)	$10.7 \pm 7.0$ (4 - 33)	$10.4 \pm 6.8$ (2 - 24)
Diámetro tangencial de elementos de vaso periféricos ( $\mu\text{m}$ )	$26.3 \pm 5.0$ (17.5 - 35.0)	$47.5 \pm 13.3$ (20.0 - 75.0)	$51.5 \pm 16.7$ (25.0 - 95.0)
Grosor de pared de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	$3.7 \pm 0.9$ (2.5 - 5.0)	$3.5 \pm 0.8$ (2.5 - 5.0)	$4.0 \pm 0.9$ (2.5 - 5.0)
Número de vasos por haz vascular intermedio	$15.0 \pm 6.1$ (8 - 33)	$24.1 \pm 6.1$ (15 - 36)	$39.5 \pm 17.9$ (11 - 81)
Diámetro tangencial de elementos de vaso intermedio ( $\mu\text{m}$ )	$65.8 \pm 14.5$ (42.5 - 92.5)	$84.0 \pm 12.4$ (13.0 - 22.0)	$65.9 \pm 14.8$ (40.0 - 90.0)
Número de vasos por haz vascular medular	$31.8 \pm 29.3$ (7 - 108)	$41.4 \pm 22.0$ (13 - 74)	$45.8 \pm 28.4$ (8 - 95)
Diámetro tangencial de elementos de vaso medulares ( $\mu\text{m}$ )	$70.6 \pm 25.5$ (30.0 - 115.0)	$81.8 \pm 23.2$ (35.0 - 125.0)	$58.9 \pm 21.6$ (25.0 - 105.0)



**Figuras 32-36.** *A. cruentus*. Sección transversal de raíz. Fig. 32. Peridermis con un mayor número de estratos celulares y anillos cambiales poco definidos en Guatemalteco. Fig. 33. Córtez delgado, anillos cambiales definidos en Africano. Fig. 34. Peridermis con pocos estratos celulares, córtez grueso, presencia de parénquima de paredes engrosadas en el córtez externo en Mexicano. Fig. 35. Haz vascular intermedio con el mayor número de vasos en Mexicano. Fig. 36. Haz vascular intermedio con el menor número de vasos en Africano.

## V.II. Descripción anatómica de *Amaranthus hypochondriacus* L., razas Azteca, Mercado, Mixteco y Nepal.

### HOJA

#### I. LÁMINA

##### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial. *Vista superficial*. Tricomas de dos tipos: glandulares y no glandulares, en ambos casos varían en frecuencia entre las razas (cuadro 20), distribuidos principalmente sobre las células costales; multicelulares (cuadro 21), uniseriados, con células de forma isodiamétrica a cúbica y de paredes engrosadas (Figs. 37, 38), con abundantes contenidos celulares de color ámbar y apariencia granulosa, no determinados; cuando se observa la célula apical con frecuencia es de mayor tamaño que el resto, de forma más bien isodiamétrica; el pie de los tricomas está formado por tres o cuatro células, se observaron escasos tricomas biseriados no glandulares.

Células epidérmicas diferenciadas en costales e intercostales. Células costales de forma rectangular u obloide; de 77 a 182.8  $\mu\text{m}$  de largo por 18.9 a 27.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 21); paredes anticlinales rectas, rebordes angulares o curvados; grosor de la pared de 2.5 a 6.3  $\mu\text{m}$  (cuadro 21). Células intercostales de forma rectangular o poligonal de 25.5 a 39.2  $\mu\text{m}$  de largo por 60.4 a 75.4  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 21); paredes anticlinales rectas, rebordes frecuentemente curvados, angulares sólo en la raza Azteca (cuadro 20); grosor de pared de 2 a 3.7  $\mu\text{m}$  (cuadro 21).

Estomas frecuentemente de tipo anomocítico y en menor proporción de tipo anisocítico, en ambos casos sin una distribución particular, índice estomático de 13.9 a 20.2, longitud de células oclusivas de 20.3 a 29.8  $\mu\text{m}$  (cuadro 21) porciones de la pared de las células epidérmicas contiguas a las oclusivas originan nódulos o pliegues en los extremos polares de las células oclusivas, el tamaño y la frecuencia varían entre las razas (cuadro 20).

*Sección transversal.* Grosor de cutícula menor a 3  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada, con células epidérmicas de forma obloide y alargadas en dirección tangencial o isodiamétricas (cuadro 22); de 20.3 a 29.3  $\mu\text{m}$  de largo por 29.9 a 42.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 23); de paredes delgadas, núcleo en general en posición basal. Las células que se encuentran alrededor de los estomas se observan ligeramente por encima del nivel de las demás células epidérmicas, mientras que las células oclusivas permanecen al nivel de éstas; células oclusivas con contenidos densos de aspecto granular, no determinados y cloroplastos; cámaras subestomáticas frecuentes, conspicuas y de tamaños variados (cuadro 22) (Figs. 41, 42).

Epidermis abaxial. *Vista superficial.* Tricomas varían en frecuencia entre las razas (cuadro 24), distribuidos principalmente sobre las células costales, similares a los de la epidermis adaxial, multicelulares, uniseriados con 5 a 10 células (cuadro 25), la mayoría colapsadas.

Células epidérmicas diferenciadas en costales e intercostales. Células costales de forma rectangular u obloide; de 116.8 a 278.5  $\mu\text{m}$  de largo por 25.1 a 37.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 25); paredes anticlinales por lo general rectas, ocasionalmente también sinuosas; rebordes frecuentemente curvados, angulares en las razas Azteca y Mercado (cuadro 24); el grosor de la pared varía poco entre las razas de 2.5 a 3.7  $\mu\text{m}$  (cuadro 25). Células intercostales de forma irregular, con paredes anticlinales sinuosas, rebordes curvados o angulares (cuadro 24); grosor de pared de 1.2 a 3.7  $\mu\text{m}$  (cuadro 25).

Estomas frecuentemente de tipo anomocítico y en menor proporción de tipo anisocítico; sin una distribución particular, índice estomático de 22.7 a 28.7; longitud de células oclusivas de 23.5 a 33  $\mu\text{m}$ , (cuadro 25), porciones de la pared de las células epidérmicas adyacentes a los estomas originan nódulos o pliegues en los extremos polares de las células oclusivas, en general más grandes y frecuentes que en la epidermis adaxial (cuadro 24) (Figs. 39, 40).

*Sección transversal.* Grosor de cutícula menor a 2.5  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada, con células epidérmicas de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 15 a 24.3  $\mu\text{m}$  de largo por 18.1 a 29.1  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 23); de paredes delgadas, núcleo en general en posición basal. Las células epidérmicas que se localizan por debajo de los haces vasculares mayores con una pared periclinal externa ligeramente más gruesa. Estomas al nivel de las células epidérmicas, células oclusivas con contenidos celulares no determinados; cámaras subestomáticas conspicuas, la raza Azteca tiene cámaras subestomáticas de mayor tamaño que en las otras razas (cuadro 22).

#### **TEJIDO FUNDAMENTAL**

Parénquima. Este tejido puede o no tener un arreglo radial hacia los haces vasculares, el cual es más marcado en las venas de órdenes superiores y más evidente en el mesofilo en empalizada de la raza Nepal, mientras que en las otras razas este arreglo no es evidente (cuadro 22) (Figs. 43, 44). Se pueden diferenciar tres formas celulares: en empalizada, esponjosas y lobuladas.

Parénquima en empalizada: ubicado en el extremo adaxial de la lámina uni o biestratificada con células de forma rectangular, en posición perpendicular al eje longitudinal de la hoja, de paredes delgadas ligeramente sinuosas; cloroplastos más pequeños y menos numerosos que los de las células de la vaina; espacios intercelulares inconspicuos.

Parénquima esponjoso: ubicado en la zona media de la lámina, se pueden diferenciar dos tipos celulares: células de forma más o menos isodiamétrica y células de forma alargada más cortas que las del mesofilo en empalizada; ambos tipos celulares pueden tener o no contacto directo con las células de la vaina de los haces; de paredes delgadas; cloroplastos similares a los del parénquima en empalizada y tejido más laxo que el parénquima en empalizada, con espacios intercelulares conspicuos.

Parénquima lobulado: ubicado en el extremo abaxial de la lámina, en un sólo estrato, con células de forma irregular, de paredes delgadas; sin cloroplastos o muy escasos; lóbulos muy marcados que se unen con los de otras células de este mismo tipo originando una cadena, con grandes espacios intercelulares muy abundantes.

Contenidos celulares. Con dos formas de cristales de oxalato de calcio: arena y drusas; arena poco abundante localizada dentro de las células del parénquima esponjoso y a nivel del parénquima lobulado; las drusas se localizan dentro de idioblastos entre las células del parénquima esponjoso, de 52.3 a 58.5  $\mu\text{m}$  de diámetro (cuadro 23), variando en frecuencia entre las razas (cuadro 22).

#### TEJIDO VASCULAR

*Vista superficial.* Se observa un patrón de venación de tipo eucantódromo, con una vena primaria en posición central y venas secundarias y terciarias muy conspicuas, las venas finales originan areolas de forma poligonal en las que se observan idioblastos con cristales de oxalato de calcio en forma de drusas o arena. Elementos de conducción de las venas terminales con engrosamientos espiralados.

*Sección transversal.* todas las venas de órdenes mayores están rodeadas por una vaina parenquimática uniestratificada en general completa aunque en las venas de órdenes menores es incompleta; con células de forma cúbica o rectangular, de 31.6 a 39.6  $\mu\text{m}$  de largo por 31.6 a 40.9  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 23); de paredes delgadas, con abundantes cloroplastos de mayor tamaño que los de las células parenquimáticas, teñidos más densamente y orientados centripetamente hacia el tejido vascular (Figs. 46, 47).

Haces vasculares colaterales de tamaños variados, siendo más frecuentes los de órdenes mayores; constituidos por células parenquimáticas vasculares, floema y xilema. Floema un paquete por haz vascular, con miembros del tubo criboso y células acompañantes; en ocasiones poco evidente. Xilema formado por traqueidas y vasos

como elementos de conducción, cada haz con dos a siete elementos de conducción (cuadro 23).

**Cuadro 20. Valores cualitativos para la lámina superficie adaxial**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Frecuencia de tricomas	Frecuentes	Frecuentes	Escasos	Escasos
Rebordes de las paredes anticlinales de las células intercostales	Curvados o angulares	Curvados	Curvados	Curvados
Tamaño de pliegues estomáticos	Pequeños	Grandes	Pequeños	Pequeños y grandes
Frecuencia de pliegues estomáticos	Escasos	Frecuentes	Frecuentes	Frecuentes

**Cuadro 21. Valores cuantitativos para la lámina superficie adaxial**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Número de células de los tricomas	*	*	6 a 13	5 a 8
Largo de células costales ( $\mu\text{m}$ )	$77.0 \pm 14.5$ (42.5 - 100.0)	$100.9 \pm 45.7$ (62.5 - 200.0)	$182.8 \pm 60.0$ (100.0 - 325.0)	$83.0 \pm 17.1$ (54.3 - 125.0)
Ancho de células costales ( $\mu\text{m}$ )	$27.6 \pm 7.5$ (15.0 - 40.0)	$18.9 \pm 6.0$ (10.0 - 30.0)	$26.6 \pm 7.2$ (15.0 - 40.0)	$21.5 \pm 4.3$ (15.0 - 30.0)
Grosor de pared anticlinal de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	2.5 a 6.3	2.5 a 5.0	2.5 a 3.8	2.5 a 5.0
Largo de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	$25.5 \pm 6.2$ (20.0 - 46.3)	$34.5 \pm 5.4$ (25.0 - 47.5)	$28.8 \pm 5.0$ (20.0 - 37.5)	$39.2 \pm 10.3$ (20.0 - 60.0)
Ancho de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	$60.8 \pm 10.6$ (42.5 - 77.5)	$60.4 \pm 10.5$ (37.5 - 75.0)	$62.8 \pm 11.5$ (42.5 - 80.0)	$75.4 \pm 14.1$ (57.5 - 100.0)
Grosor de pared anticlinal de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	2.5	2.5 a 3.7	2.5 a 3.7	2
Índice estomático	$17.6 \pm 2.0$ (13.4 - 21.2)	$17.8 \pm 2.4$ (13.7 - 23.7)	$13.9 \pm 2.7$ (8.7 - 19.0)	$20.2 \pm 2.6$ (14.5 - 24.7)
Largo de células oclusivas ( $\mu\text{m}$ )	$22.4 \pm 2.2$ (20.0 - 25.0)	$20.3 \pm 3.1$ (15.0 - 25.0)	$29.8 \pm 8.3$ (22.5 - 35.0)	$25.0 \pm 3.5$ (20.0 - 30.0)

\*No se cuenta con información para este carácter

**Cuadro 22. Valores cualitativos para la lámina en sección transversal**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Forma de las células epidérmicas adaxiales	Isodiamétricas y obloides	Isodiamétricas y obloides	Obloides	Obloides
Cámara subestomática adaxial	Grande	Pequeña	Pequeña	Pequeña
Forma de las células epidérmicas abaxiales	Cúbicas a obloides	Cúbicas a obloides	Cúbicas a obloides	Obloides
Cámara subestomática abaxial	Grande	Pequeña	Pequeña	Pequeña
Distribución del tejido parenquimático	Radial poco evidente	Radial poco evidente	Radial poco evidente	Radial evidente
Frecuencia de drusas	Abundantes	Abundantes	Frecuentes	Abundantes

**Cuadro 23. Valores cuantitativos para la lámina en sección transversal**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Largo de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$21.6 \pm 6.1$ (15.0 - 32.5)	$29.3 \pm 5.3$ (22.5 - 42.5)	$28.0 \pm 6.6$ (17.5 - 43.8)	$20.3 \pm 3.0$ (15.0 - 27.0)
Ancho de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$41.5 \pm 18.4$ (22.5 - 100.0)	$42.8 \pm 10.0$ (21.3 - 67.5)	$37.8 \pm 10.7$ (23.8 - 66.3)	$29.9 \pm 7.3$ (21.3 - 50.0)
Largo de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$15.0 \pm 4.1$ (10.0 - 22.5)	$24.3 \pm 5.3$ (15.0 - 32.5)	$19.9 \pm 3.3$ (15.0 - 25.0)	$15.4 \pm 1.9$ (12.5 - 20.0)
Ancho de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$18.1 \pm 6.3$ (10.0 - 35.0)	$29.1 \pm 6.9$ (17.5 - 45.0)	$22.3 \pm 6.2$ (15.0 - 35.0)	$23.3 \pm 7.2$ (15.0 - 45.0)
Diámetro de drusas ( $\mu\text{m}$ )	$52.3 \pm 14.3$ (25.0 - 75.0)	$55.5 \pm 13.1$ (27.5 - 75.0)	$58.5 \pm 13.7$ (35.0 - 75.0)	$56.0 \pm 16.3$ (30.0 - 80.0)
Largo de células de la vaina ( $\mu\text{m}$ )	$39.6 \pm 6.2$ (27.5 - 52.5)	$31.6 \pm 5.3$ (22.5 - 42.5)	$36.8 \pm 4.8$ (28.8 - 46.3)	$32.4 \pm 4.2$ (20.0 - 37.5)
Ancho de células de la vaina ( $\mu\text{m}$ )	$38.8 \pm 7.3$ (25.0 - 55.0)	$31.6 \pm 7.5$ (20.0 - 47.5)	$40.9 \pm 7.7$ (27.5 - 62.5)	$34.6 \pm 8.3$ (18.8 - 50.0)
Número de vasos por haz vascular	3 a 7	2 a 4	2 a 4	2 a 5

**Cuadro 24. Valores cualitativos para la lámina superficie abaxial**

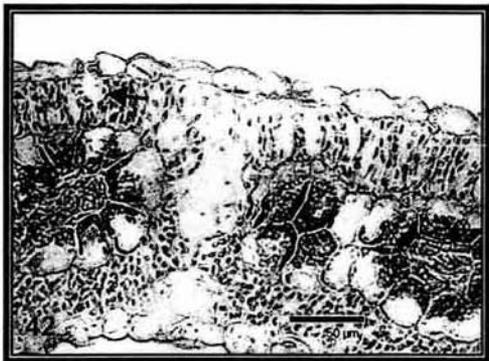
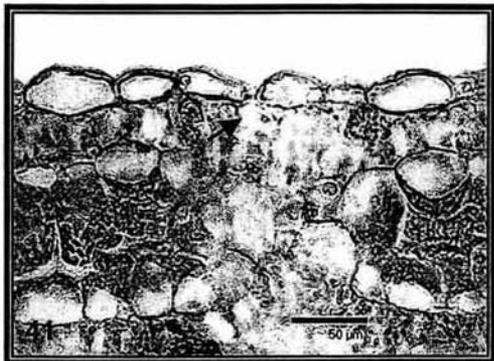
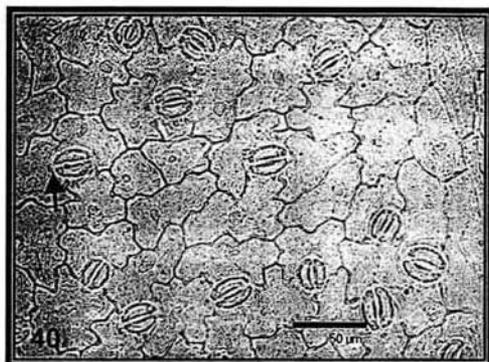
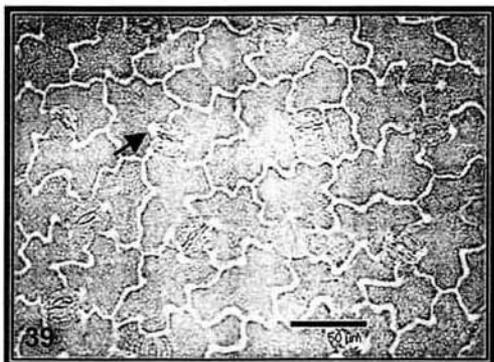
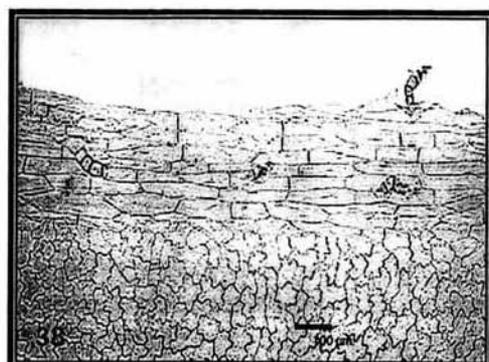
Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Frecuencia de tricomas	Frecuentes	Frecuentes	Escasos	*
Paredes anticlinales de las células costales	Rectas	Rectas	Rectas	Rectas o sinuosas
Rebordes de las paredes anticlinales de las células intercostales	Curvados o angulares	Curvados o angulares	Curvados	Curvados
Frecuencia de pliegues estomáticos	Escasos	Frecuentes	Escasos	Frecuentes
Tamaño de pliegues estomáticos	Pequeños	Grandes	Pequeños	Grandes

\* No se cuenta con información para este carácter

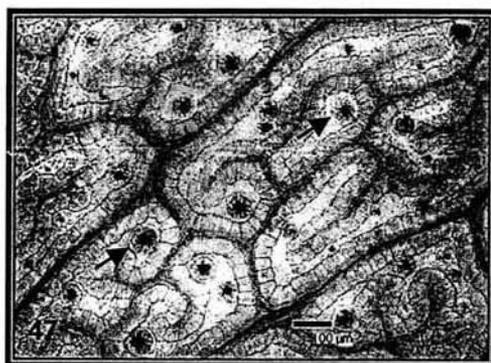
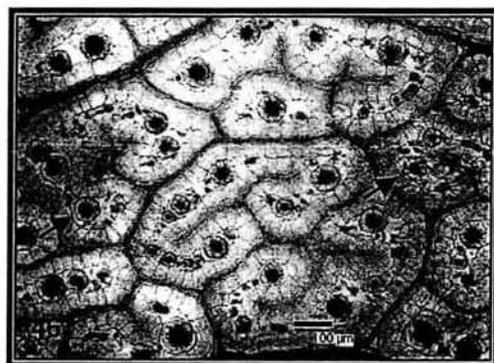
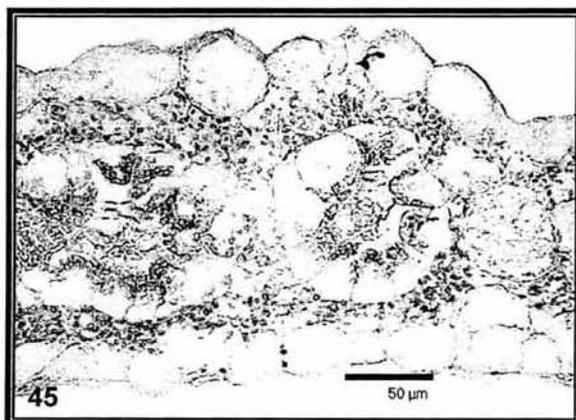
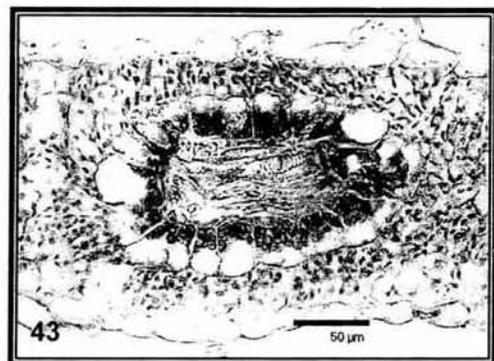
**Cuadro 25. Valores cuantitativos para la lámina superficie abaxial**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Número de células de los tricomas	5 a 6	5 a 10	*	*
Largo de células costales ( $\mu\text{m}$ )	116.8 $\pm$ 31.3 (60.0 - 170.0)	152.6 $\pm$ 39.3 (67.5 - 225.0)	278.5 $\pm$ 106.1 (150.0 - 500.0)	168.8 $\pm$ 53.5 (90.0 - 270.0)
Ancho de células costales ( $\mu\text{m}$ )	30.3 $\pm$ 7.2 (20.0 - 45.0)	29.3 $\pm$ 5.4 (20.0 - 40.0)	37.8 $\pm$ 8.9 (17.5 - 55.0)	25.1 $\pm$ 5.2 (20.0 - 40.0)
Grosor de pared anticlinal de células costales ( $\mu\text{m}$ )	2.5	2.5 a 3.7	2.5	2.5 a 3.7
Grosor de pared anticlinal de células intercostales ( $\mu\text{m}$ )	2.5	2.5 a 3.7	1.2 a 3.7	2
Índice estomático	24.1 $\pm$ 2.5 (19.6 - 28.7)	28.0 $\pm$ 2.8 (21.7 - 35.4)	22.7 $\pm$ 3.4 (15.8 - 28.1)	28.7 $\pm$ 3.0 (24.1 - 33.3)
Largo de células oclusivas ( $\mu\text{m}$ )	23.5 $\pm$ 2.4 (20.0 - 27.5)	24.8 $\pm$ 3.9 (20.0 - 30.0)	33.0 $\pm$ 5.9 (25.0 - 50.0)	24.4 $\pm$ 2.1 (20.0 - 30.0)

\* No se cuenta con información para este carácter



**Figuras 37-42.** *A. hypochondriacus*. Vista superficial de lámina (37-40). Fig. 37. Mayor número de tricomas en Mercado. Fig. 38. Menor número de tricomas en Nepal. Fig. 39. Índice estomático mayor y células adyacentes a los estomas con pliegues de tamaño pequeño (flecha) en Mercado. Fig. 40. Índice estomático menor y células adyacentes a los estomas con pliegues escasos de tamaño pequeño (flecha) en Mixteco. Sección transversal de lámina (41-42). Fig. 41. Cámara subestomática adaxial evidente (flecha) en Azteca. Fig. 42. Cámara subestomática poco evidente (flecha) en Nepal



**Figuras 43-47.** *A. hypochondriacus*. Sección transversal de lámina (43-45). Fig. 43. Arreglo radial evidente de las células del mesofilo alrededor de las células de la vaina en Nepal. Fig. 44. Arreglo radial poco evidente de las células del mesofilo alrededor de células de la vaina de mayor tamaño en Mixteco. Fig. 45. Células de la vaina de tamaño pequeño en Mercado. Vista superficial de lámina (46-47). Fig. 46. Cristales de oxalato de calcio en forma de drusas abundantes (flechas) en Nepal. Fig. 47. Cristales de oxalato de calcio en forma de drusas escasos (flechas) en Mixteco.

## II. VENA MEDIA

### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial. *Vista superficial.* Tricomas del mismo tipo que los observados en la lámina, varían en frecuencia entre las razas (cuadro 26), con 3 a 14 células (cuadro 27), todas ellas de paredes poco engrosadas, excepto en la raza Azteca donde la pared es más gruesa, la cantidad de contenidos celulares varía entre las razas (cuadro 26), la mayoría de los tricomas con células colapsadas, el pie de los tricomas es más evidente en la raza Mixteco (cuadro 26). Tricomas biseriados observados sólo en la raza Azteca (cuadro 26). Células epidérmicas de forma cúbica a obloide y alargadas en dirección tangencial, de paredes engrosadas (cuadro 26). Estomas escasos generalmente anomocíticos.

Epidermis abaxial. *Vista superficial.* Tricomas, en general más escasos y del mismo tipo que en la epidermis adaxial (cuadro 26), en la mayoría de los tricomas las células están colapsadas. Células epidérmicas de forma cúbica a obloide de paredes poco engrosadas o engrosadas (cuadro 26) se observaron escasos estomas anomocíticos.

*Sección transversal.* Grosor de cutícula de 2 a 4  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada. Células epidérmicas de forma cúbica a obloide y alargadas en dirección tangencial (cuadro 26); para las cuatro razas, células en el extremo adaxial de 31.6 a 39.6  $\mu\text{m}$  de largo por 31.6 a 40.9  $\mu\text{m}$  de ancho y para el extremo abaxial de 17.5 a 21.2  $\mu\text{m}$  de largo por 16.8 a 23.4  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 27); en ambos casos con paredes periclinales externas engrosadas. En la raza Nepal las células epidérmicas abaxiales subyacentes al colénquima son más grandes (cuadro 26).

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Colénquima. Angular; continuo en el extremo adaxial, y discontinuo en el extremo abaxial (cuadro 26); con células de forma isodiamétrica o rectangular y alargadas en dirección tangencial; en la superficie adaxial con 2.9 a 8.5 estratos celulares, células de 19 a 22.3  $\mu\text{m}$  de largo por 20.5 a 23.5  $\mu\text{m}$  de ancho; en la superficie abaxial con 1.7 a

3.3 estratos celulares y células de 20.8 a 31.5  $\mu\text{m}$  de largo por 20.8 a 25.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 27) (Figs. 48, 49 y 50).

Parénquima. De tipo esponjoso, ocupa la mayor parte de la vena central, se pueden diferenciar una zona externa o periférica y una zona interna o medular; parénquima periférico con células de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial, de 61.5 a 83.9  $\mu\text{m}$  de largo por 64.5 a 127.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 27), de paredes delgadas (Figs. 48, 49); parénquima medular con células de forma obloide, de 37.9 a 133.4  $\mu\text{m}$  de largo por 47.9 a 100.8  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 27).

Contenidos celulares. El tejido parenquimático tanto de la zona externa como la interna contiene abundantes cristales de oxalato de calcio en forma de arena.

#### **TEJIDO VASCULAR**

Haces vasculares colaterales, de tamaño y número variable, de 5 a 15 haces (cuadro 27) (Figs. 52, 53); organizados para conformar una "u" o un anillo (cuadro 26) (Figs. 51, 52); cada uno con una vaina de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Floema un paquete por haz vascular, formado por protofloema, miembros del tubo criboso y células acompañantes. Xilema formado por protoxilema, traqueidas y vasos como elementos de conducción y fibras; con 29.6 a 60.4 elementos por haz vascular, elementos de vaso de 36.3 a 42.4  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial y de 4.5 a 5.3  $\mu\text{m}$  de grosor de pared, con 146.8 a 181.1  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 27) los elementos de vaso más frecuentes con engrosamientos espiralados y placa de perforación terminal simple con ángulo de inclinación menor a 30°; fibras libriformes de lumen amplio, en general escasas, excepto en la raza Azteca en donde son frecuentes (cuadro 26).

**Cuadro 26. Valores cualitativos de la vena media**

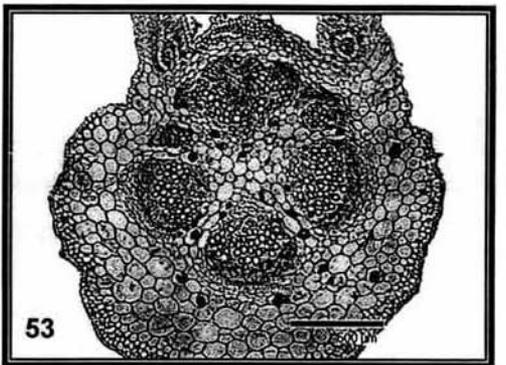
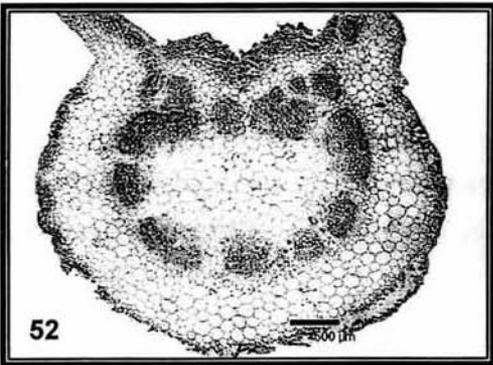
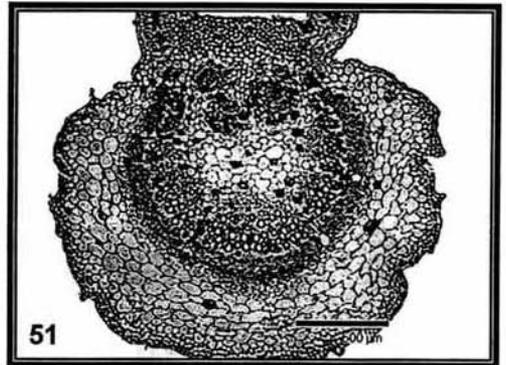
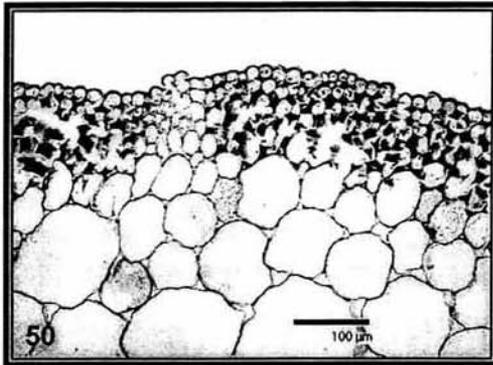
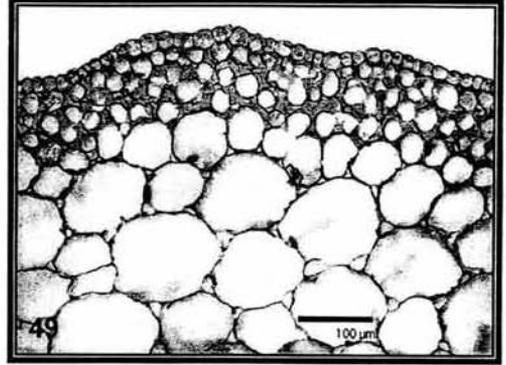
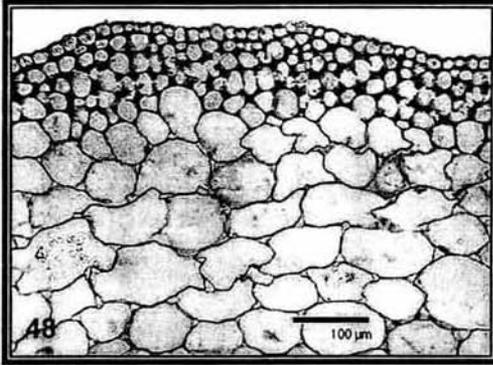
<b>Carácter</b>	<b>Azteca</b>	<b>Mercado</b>	<b>Mixteco</b>	<b>Nepal</b>
Frecuencia de tricomas adaxiales	Frecuentes	Abundantes	Escasos	*
Grosor de la pared de los tricomas	Gruesa	Delgada	Delgada	Delgada
Contenidos celulares de los tricomas	Escasos	Frecuentes	Escasos	*
Pie de los tricomas	Poco evidente	Poco evidente	Evidente	Poco evidente
Tricomas biseriados	Presentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Forma de células epidérmicas adaxiales	Cúbicas y obloides	Cúbicas	Cúbicas y obloides	Cúbicas y obloides
Grosor de pared de células epidérmicas adaxiales	Poco engrosadas	Engrosadas	Engrosadas	Engrosadas
Frecuencia de tricomas abaxiales	Escasos	Escasos	Frecuentes	*
Forma de células epidérmicas abaxiales	Cúbicas	Cúbicas a obloides	Cúbicas a obloides	Cúbicas a obloides
Grosor de pared de células epidérmicas abaxiales	Poco engrosadas	Poco engrosadas	Engrosadas	Engrosadas
Células epidérmicas abaxiales subyacentes al colénquima	Pequeñas	Pequeñas	Pequeñas y medianas	Grandes
Colénquima abaxial	Continuo	Continuo	Continuo	Discontinuo en la epidermis abaxial
Organización de los haces vasculares	Anillo	"U"	"U"	Anillo
Frecuencia de fibras	Frecuentes	Escasas	Escasas	Escasas

\* No se cuenta con información para este carácter

**Cuadro 27. Valores cuantitativos de la vena media**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Número de células de los tricomas	3 a 14	3 a 12	4 a 14	*
Largo de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$39.6 \pm 6.2$ (27.5 - 52.5)	$31.6 \pm 5.3$ (22.5 - 42.5)	$36.8 \pm 4.8$ (28.8 - 46.3)	$32.4 \pm 4.2$ (20.0 - 37.5)
Ancho de células epidérmicas adaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$38.8 \pm 7.3$ (25.0 - 55.0)	$31.6 \pm 7.5$ (20.0 - 47.5)	$40.9 \pm 7.7$ (27.5 - 62.5)	$34.6 \pm 8.3$ (20.0 - 37.5)
Largo de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$17.5 \pm 2.4$ (12.5 - 20.0)	$21.1 \pm 4.0$ (12.5 - 27.5)	$18.2 \pm 2.4$ (12.5 - 22.5)	$21.2 \pm 4.4$ (15.0 - 32.5)
Ancho de células epidérmicas abaxiales ( $\mu\text{m}$ )	$16.8 \pm 3.7$ (10.0 - 21.3)	$22.4 \pm 4.2$ (12.5 - 30.0)	$17.4 \pm 3.6$ (12.5 - 25.0)	$23.4 \pm 6.1$ (10.0 - 35.0)
Número de estratos del colénquima adaxial	$3.4 \pm 0.5$ (3 - 4)	$4.7 \pm 0.9$ (3 - 6)	$8.5 \pm 1.0$ (7 - 10)	$2.9 \pm 0.7$ (2 - 4)
Largo de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	$21.6 \pm 4.2$ (12.5 - 30.0)	$22.3 \pm 3.7$ (15.0 - 30.0)	$20.0 \pm 2.9$ (15.0 - 25.0)	$19.0 \pm 3.3$ (15.0 - 27.5)
Ancho de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	$23.4 \pm 3.5$ (17.5 - 30.0)	$23.5 \pm 3.8$ (17.5 - 30.0)	$20.5 \pm 3.4$ (15.0 - 25.0)	$21.0 \pm 3.8$ (15.0 - 27.5)
Número de estratos del colénquima abaxial	$2.6 \pm 0.6$ (2 - 4)	$2.3 \pm 0.7$ (1 - 3)	$3.3 \pm 0.8$ (2 - 5)	$1.7 \pm 0.6$ (1 - 3)
Largo de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	$26.0 \pm 4.9$ (20.0 - 35.0)	$31.5 \pm 6.6$ (25.0 - 50.0)	$20.8 \pm 4.5$ (12.5 - 30.0)	$22.5 \pm 4.7$ (15.0 - 32.5)
Ancho de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	$23.4 \pm 4.8$ (15.0 - 30.0)	$25.6 \pm 4.9$ (17.5 - 35.0)	$21.8 \pm 3.6$ (15.0 - 30.0)	$20.8 \pm 4.7$ (15.0 - 30.0)
Largo de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	$81.9 \pm 18.9$ (25.0 - 107.5)	$62.6 \pm 18.6$ (37.5 - 105.0)	$61.5 \pm 8.4$ (50.0 - 82.5)	$83.9 \pm 23.4$ (45.0 - 135.0)
Ancho de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	$127.8 \pm 27.5$ (80.0 - 180.0)	$64.5 \pm 20.5$ (40.0 - 105.0)	$84.4 \pm 23.3$ (50.0 - 120.0)	$68.0 \pm 25.6$ (35.0 - 140.0)
Largo de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	$49.9 \pm 9.7$ (30.0 - 72.5)	$49.4 \pm 10.7$ (32.5 - 72.5)	$37.9 \pm 8.2$ (25.0 - 55.0)	$133.4 \pm 26.3$ (90.0 - 182.5)
Ancho de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	$67.5 \pm 10.8$ (50.0 - 92.5)	$71.3 \pm 15.1$ (47.5 - 110.0)	$47.9 \pm 9.3$ (32.5 - 75.0)	$100.8 \pm 20.9$ (65.0 - 135.0)
Número de haces vasculares	5	6	11	15
Número de vasos por haz vascular	$60.4 \pm 58.1$ (28 - 164)	$36.8 \pm 16.7$ (20 - 60)	$29.6 \pm 23.1$ (5 - 67)	$38.2 \pm 24.7$ (5 - 82)
Diámetro tangencial de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	$42.4 \pm 7.1$ (31.3 - 55.0)	$37.4 \pm 5.3$ (27.6 - 47.5)	$36.3 \pm 5.6$ (25.0 - 47.5)	$36.5 \pm 9.8$ (22.5 - 50.0)
Grosor de pared de los elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	$5.3 \pm 1.1$ (3.8 - 7.5)	$4.6 \pm 0.6$ (2.0 - 5.0)	$4.8 \pm 0.8$ (2.5 - 6.5)	$4.5 \pm 1.0$ (2.5 - 6.3)
Largo de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	$166.8 \pm 41.6$ (100.0 - 226.3)	$181.1 \pm 43.1$ (110.0 - 256.3)	$146.8 \pm 38.1$ (82.5 - 228.8)	$174.6 \pm 57.8$ (82.5 - 263.8)

\* No se cuenta con información para este carácter



**Figuras 48-53.** *A. hypochondriacus*. Sección transversal de vena media. Fig. 48. Colênquima continuo con un mayor número de estratos celulares en Mixteco. Fig. 49. Colênquima continuo con un menor número de estratos celulares en Azteca. Fig. 50. Colênquima discontinuo en Nepal. Fig. 51. Arreglo de los haces vasculares en forma de U en Mixteco. Fig. 52. Arreglo de los haces en forma de anillo, con el mayor número de haces vasculares en Nepal. Fig. 53. Menor número de haces vasculares en Azteca.

### III. PECÍOLO

#### TEJIDO DÉRMICO

Epidermis adaxial y abaxial. *Vista superficial.* Tricomas menos abundantes que en la lámina y vena media, y son generalmente escasos en la epidermis abaxial, en todos los casos son similares a los observados en la lámina (cuadro 28), con 5 a 14 células (cuadro 29) la mayoría colapsadas, no se observaron tricomas biseriados. Células epidérmicas rectangulares, cónicas o fusiformes (cuadro 28), de paredes engrosadas. Estomas escasos, generalmente anomocíticos. No se cuenta con información para las razas Mixteco y Nepal.

Epidermis: *Vista superficial.* Tricomas menos abundantes que los de la epidermis adaxial, principalmente de tipo no glandular (cuadro 28).

*Sección transversal.* Contorno irregular, sinuoso. Grosor de cutícula de dos a cuatro  $\mu\text{m}$ . Epidermis uniestratificada; células epidérmicas de tres formas: rectangulares de paredes delgadas sobre las células parenquimáticas, cónicas y obloides alargadas en dirección tangencial de paredes gruesas sobre el colénquima, para los tres casos de 16.1 a 24.4  $\mu\text{m}$  de largo por 19.6 a 29  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 29).

#### TEJIDO FUNDAMENTAL

Colénquima. Angular, discontinuo, en el extremo adaxial con 3.5 a 6 estratos celulares (cuadro 29); con células de forma isodiamétrica a obloide de 15.8 a 23  $\mu\text{m}$  de largo por 15.9 a 24  $\mu\text{m}$  de ancho; en el extremo abaxial con 3.7 a 4.4 estratos celulares, con células de 25.3 a 40  $\mu\text{m}$  de largo por 23.6 a 42.1  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 29) (Figs. 54, 55).

Parénquima. De tipo esponjoso, excepto en las zonas donde el colénquima se interrumpe por células de forma obloide o lobuladas, similares a las de la lámina, visiblemente más pequeñas que el resto de las células parenquimáticas; espacios intercelulares conspicuos, de tamaño variable (cuadro 28). El resto del tejido parenquimático con grandes células de forma obloide, isodiamétrica, o irregular; se

puede diferenciar una zona externa o parénquima periférico y una zona interna o parénquima medular. Parénquima periférico con células de 89.3 a 119.9  $\mu\text{m}$  de largo por 90.5 a 109.4  $\mu\text{m}$  de ancho (Figs. 54, 55); parénquima medular con células de 105.6 a 169.6  $\mu\text{m}$  de largo por 108.6 a 149  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 29); espacios intercelulares reducidos.

Contenidos celulares. Se observan cristales de oxalato de calcio en forma de arena, en general escasos, principalmente entre los haces vasculares y en el parénquima medular.

#### **TEJIDO VASCULAR**

Conformado por 13 a 20 haces vasculares (cuadro 29) (Figs. 56, 57) generalmente colaterales, de tamaño variable, dispuestos a manera de "u" o en forma de anillo (cuadro 28), cada haz vascular con una vaina de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Algunos haces adaxiales son anficribales. Floema generalmente un paquete por haz vascular, formado por protofloema, miembros de tubos cribosos, células acompañantes y parénquima vascular. Xilema con protoxilema, traqueidas y vasos como elementos de conducción; inmersos en una matriz parenquimática; con 18.7 a 35.7 vasos por haz vascular (Figs. 58, 59), de 21.5 a 34.8  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial, grosor de pared de 3.5 a 5.8  $\mu\text{m}$  y de 169.5 a 217.6  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 29), los más frecuentes con punteaduras pseudoescalariformes (cuadro 28) en todos los casos con placa de perforación terminal simple y ángulo de inclinación menor a 30°, las fibras varían en frecuencia entre las razas (cuadro 28).

**Cuadro 28. Valores cualitativos del peciolo**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Frecuencia de tricomas adaxiales	Abundantes	Frecuentes	Escasos	Escasos
Forma de las células epidérmicas adaxiales	Rectangulares y cónicas	Rectangulares y cónicas	Rectangulares y cónicas	Rectangulares
Frecuencia de estomas	Escasos	Escasos	*	*
Tipo de tricomas abaxiales	No glandulares	Glandulares y no glandulares	Glandulares y no glandulares	Glandulares y no glandulares
Tamaño de espacios intercelulares	Pequeños	Pequeños	Grandes	Pequeños
Organización de los haces vasculares	Anillo	"U"	Anillo	"U"
Tipo de engrosamiento de los elementos de vaso	Pseudoescalariformes	Espiralados	Espiralados	Espiralados
Frecuencia de fibras	Frecuentes	Frecuentes	Escasas	Escasas

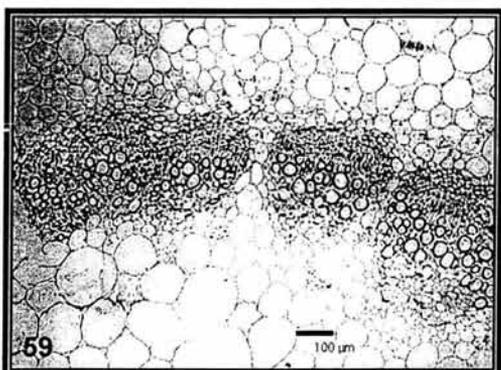
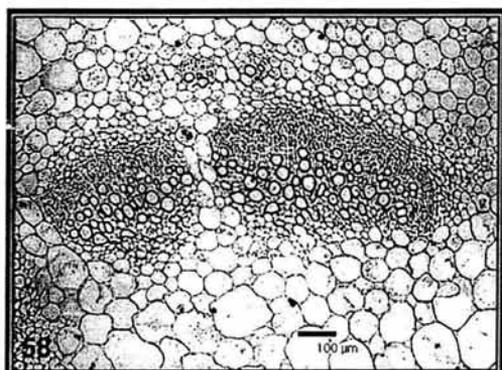
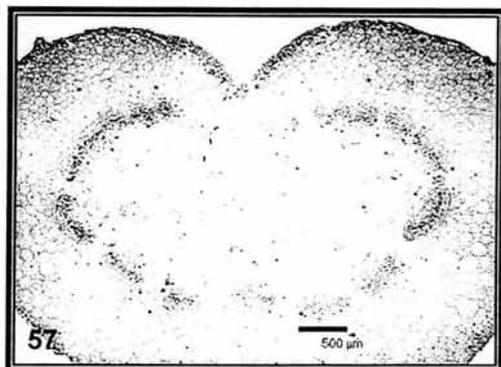
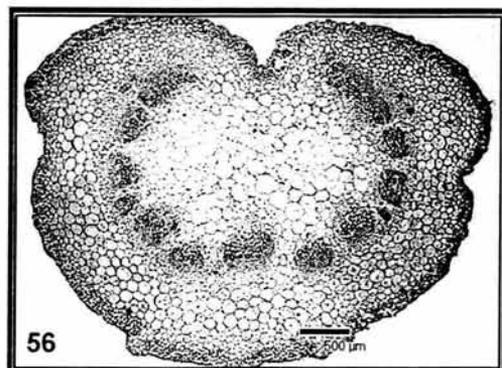
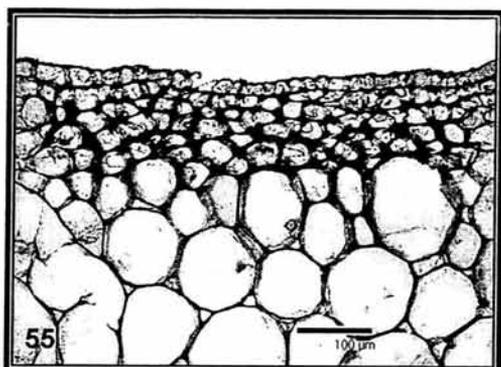
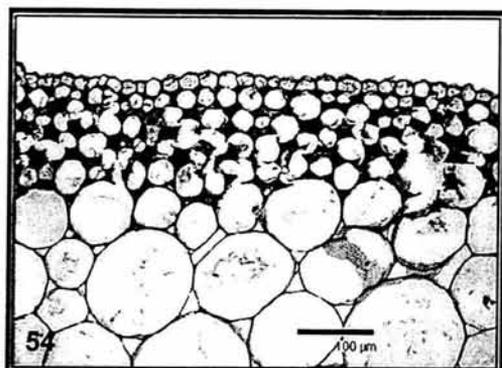
\* No se cuenta con información para este carácter

**Cuadro 29. Valores cuantitativos del peciolo**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Número de células de los tricomas	6 a 12	5 a 14	6 a 10	*
Largo de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	$20.6 \pm 4.2$ (15.0 - 30.0)	$24.4 \pm 4.2$ (15.0 - 37.5)	$17.6 \pm 2.1$ (15.0 - 20.0)	$16.1 \pm 4.3$ (5.0 - 25.0)
Ancho de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	$20.6 \pm 4.3$ (12.5 - 27.5)	$29.0 \pm 6.3$ (15.0 - 35.0)	$19.8 \pm 3.0$ (15.0 - 25.0)	$19.6 \pm 5.7$ (5.0 - 30.0)
Número de estratos del colénquima adaxial	$4 \pm 0.8$ (3 - 5)	$3.5 \pm 0.5$ (3 - 4)	$6 \pm 0.8$ (5 - 7)	$3.8 \pm 0.7$ (3 - 5)
Largo de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	$23.0 \pm 3.8$ (15.0 - 31.0)	$15.8 \pm 3.2$ (11.3 - 22.5)	$21.8 \pm 8.3$ (11.3 - 41.3)	$16.6 \pm 4.1$ (10.0 - 27.5)
Ancho de células del colénquima adaxial ( $\mu\text{m}$ )	$20.6 \pm 4.1$ (11.3 - 37.5)	$15.9 \pm 7.1$ (10.0 - 20.0)	$24.0 \pm 2.8$ (15.0 - 42.5)	$21.2 \pm 5.8$ (12.5 - 28.8)
Número de estratos del colénquima abaxial	$3.8 \pm 0.7$ (3 - 5)	$4.1 \pm 0.7$ (3 - 5)	$4.4 \pm 0.6$ (3 - 5)	$3.7 \pm 0.6$ (3 - 5)
Largo de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	$25.3 \pm 5.4$ (15.0 - 45.0)	$40.0 \pm 14.2$ (18.8 - 45.0)	$31.9 \pm 7.7$ (22.5 - 70.0)	$27.6 \pm 7.7$ (15.0 - 35.0)
Ancho de células del colénquima abaxial ( $\mu\text{m}$ )	$26.5 \pm 5.5$ (16.3 - 33.8)	$29.6 \pm 5.6$ (22.5 - 45.0)	$42.1 \pm 11.1$ (25.0 - 65.0)	$23.6 \pm 4.0$ (17.5 - 32.5)
Largo de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	$89.8 \pm 32.2$ (45.0 - 140.0)	$89.3 \pm 12.7$ (65.0 - 120.0)	$119.9 \pm 50.2$ (45.0 - 205.0)	$109.0 \pm 45.3$ (55.0 - 195.0)

Continúa cuadro 29. Valores cuantitativos del peciolo

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Ancho de células del parénquima periférico ( $\mu\text{m}$ )	104.5 $\pm$ 32.0 (65.0 - 170.0)	90.5 $\pm$ 17.0 (50.0 - 120.0)	109.4 $\pm$ 42.7 (50.0 - 185.0)	106.1 $\pm$ 50.0 (50.0 - 217.5)
Largo de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	105.6 $\pm$ 23.9 (55.0 - 150.0)	132.8 $\pm$ 30.1 (85.0 - 195.0)	148.9 $\pm$ 46.7 (67.5 - 220.0)	169.6 $\pm$ 44.6 (100.0 - 247.5)
Ancho de células del parénquima medular ( $\mu\text{m}$ )	149.0 $\pm$ 30.8 (100.0 - 210.0)	108.6 $\pm$ 25.4 (70.0 - 175.0)	134.3 $\pm$ 36.5 (62.5 - 185.0)	127.6 $\pm$ 26.0 (85.0 - 170.0)
Número de haces vasculares	13	14	14	20
Número de vasos por haz vascular	35.7 $\pm$ 19.3 (8 - 60)	29.4 $\pm$ 13.4 (10 - 64)	31.4 $\pm$ 11.4 (7 - 51)	18.7 $\pm$ 12.4 (5 - 61)
Diámetro tangencial de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	28.1 $\pm$ 3.2 (22.5 - 33.8)	34.3 $\pm$ 8.5 (23.8 - 48.8)	34.8 $\pm$ 5.5 (25.0 - 45.0)	21.5 $\pm$ 4.4 (15.0 - 31.3)
Grosor de pared de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	5.3 $\pm$ 0.5 (5.0 - 6.3)	3.5 $\pm$ 0.7 (2.5 - 5.0)	5.8 $\pm$ 0.9 (5.0 - 7.5)	4.8 $\pm$ 0.4 (3.8 - 5.0)
Largo de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	216.6 $\pm$ 50.6 (125.0 - 320.0)	169.5 $\pm$ 34.9 (117.5 - 255.0)	217.6 $\pm$ 54.9 (121.3 - 315.0)	170.9 $\pm$ 51.9 (121.3 - 310.0)



**Figuras 54-59.** *A. hypochondriacus*. Sección transversal de peciolo. Fig. 54. Colénquima con el mayor número de estratos y células grandes en Mixteco. Fig. 55. Colénquima con el menor número de estratos y células pequeñas en Mercado. Fig. 56. Mayor número de haces vasculares en Nepal. Fig. 57. Menor número de haces vasculares en Azteca. Fig. 58. Haces vasculares con el mayor número de vasos en Azteca. Fig. 59. Haces vasculares con el menor número de vasos en Nepal.

## TALLO

### TEJIDO DÉRMICO

*Sección transversal.* Contorno irregular o sinuoso; tricomas en general escasos, similares a los observados en la lámina, con células colapsadas; cutícula inconspicua perceptible sólo en algunas regiones del tallo, con 2  $\mu\text{m}$  de grosor. Epidermis uniestratificada, con células de dos formas: rectangulares y alargadas en dirección tangencial, de paredes delgadas sobre las células del parénquima y cúbicas, de paredes ligeramente engrosadas sobre las células del colénquima subyacente; para ambos casos el tamaño varía de 21.3 a 34.3  $\mu\text{m}$  de largo por 31.9 a 44.9  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 31); con paredes periclinales externas muy engrosadas, de 3 a 4  $\mu\text{m}$  de grosor, proyectadas semejando una macropapila epidérmica (Figs. 60, 61).

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Córtex. De 429 a 654.8  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 31); diferenciado en dos zonas; córtex externo y córtex interno. Córtex externo formado por una banda de tejido colenquimático de tipo angular, discontinuo, con 134.3 a 210.5  $\mu\text{m}$  de grosor y 7.8 a 8.5 estratos celulares (cuadro 31); células de forma cúbica u obloide y alargadas en dirección tangencial, con 16.8 a 33.9  $\mu\text{m}$  de largo por 23.8 a 40.1  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 31); en las regiones donde el colénquima se interrumpe se observan células parenquimáticas pequeñas, de paredes delgadas similares a las células del parénquima lobulados de la lámina, con abundantes cloroplastos y espacios intercelulares amplios. Córtex interno con células parenquimáticas de forma obloide y alargadas en dirección tangencial, de menor tamaño que las del córtex externo (Figs. 62, 63 y 64).

Zona medular. Con grandes células de parénquima esponjoso de forma obloide, con 102.3 a 204  $\mu\text{m}$  de largo por 115.4 a 157.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 31).

Contenidos celulares. Con cristales de oxalato de calcio en forma de arena, en general escasos, localizados en el parénquima interfascicular y en el medular; en la raza Nepal localizados en el córtex externo, en las razas Mixteco y Azteca en el córtex interno, en la raza Mercado no se observan (cuadro 30).

## TEJIDO VASCULAR

Derivado a partir de una variante del crecimiento secundario, que origina un patrón de anillos o bandas cambiales sucesivas, por lo que el tallo está constituido de cinco a nueve bandas (cuadro 31) alternantes de xilema y floema, no bien definidas (Figs. 62, 64). Cada banda está separada de la siguiente por tejido conjuntivo tangencial parenquimático con grandes células de forma isodiamétrica a obloide y alargadas en dirección tangencial, que tienden a disminuir de tamaño, lignificarse y anastomosarse en las bandas más externas.

Cada banda está integrada por regiones interfasciculares constituidas de tejido conjuntivo radial y de regiones fasciculares compuestas por paquetes de haces vasculares. Región interfascicular generalmente parenquimática, que se lignifica en el anillo cambial más reciente y donde la banda tiene un grosor de 426.3 a 689.5  $\mu\text{m}$ , con 20 a 38.7 estratos (cuadro 31), con células de forma rectangular y alargadas en dirección tangencial, de 14 a 21.6  $\mu\text{m}$  de largo por 13.3 a 16.3  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 31), estas células frecuentemente tienen paredes fuertemente lignificadas y lumen reducido. Este cámbium interfascicular puede continuar su división celular varios estratos dentro del córtex interno. Región fascicular, con haces vasculares colaterales muy dispersos inmersos en una matriz parenquimática que se va lignificando hacia el floema; en el anillo cambial más reciente los haces vasculares están inmersos en una matriz completamente lignificada. Floema formado por miembros de tubo criboso, células acompañantes y células parenquimáticas de mayor tamaño que las anteriores. Xilema con traqueidas y vasos como elementos de conducción, parénquima paratraqueal vasicéntrico y fibras; cada haz vascular con 5.2 a 9.1 vasos (cuadro 31), solitarios o agrupados, hasta con cuatro elementos, dispuestos radialmente, con 54.4 a 75.5  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (Figs. 62, 63 y 64), 4.4 a 5.3  $\mu\text{m}$  de grosor de pared y 167.3 a 233.6  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 31), elementos de vaso frecuentes generalmente con punteaduras bordeadas y en menor proporción pseudoescalariformes (Fig. 65), la raza Nepal tiene elementos de vaso con punteaduras simples, (cuadro 30) (Fig. 66, 67), en todos los casos con placa de perforación terminal simple y ángulo de inclinación menor a 45°, fibras de tipo libriforme de 387.3 a 760.3  $\mu\text{m}$  de largo (cuadro 31), en

general son abundantes (cuadro 30), algunas fibras son septadas y su frecuencia varía entre las razas (cuadro 30); con contenido celular granuloso y núcleo evidente (Figs. 68, 69).

En las bandas internas cada haz vascular está inmerso en una matriz principalmente parenquimática que tiende o no a lignificarse hacia el floema (cuadro 30) (Figs. 70, 71), para todas las razas cada haz tiene de dos a cinco estratos de tejido parenquimático de paredes ligeramente engrosadas. Floema, similar al del anillo externo, los estratos más externos del floema están colapsados. Xilema con traqueidas y vasos como elementos de conducción, parénquima paratraqueal vasicéntrico y fibras; con 15.2 a 64.2 vasos por haz vascular (cuadro 31), solitarios o en grupos de cuatro, cada vaso con 38.5 a 65.4  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 31).

**Cuadro 30. Valores cualitativos del tallo**

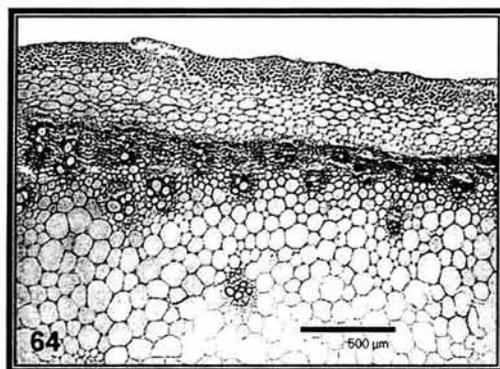
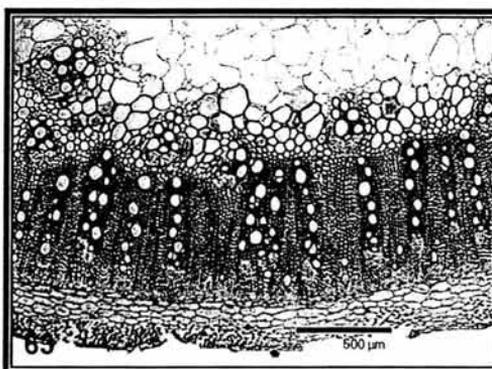
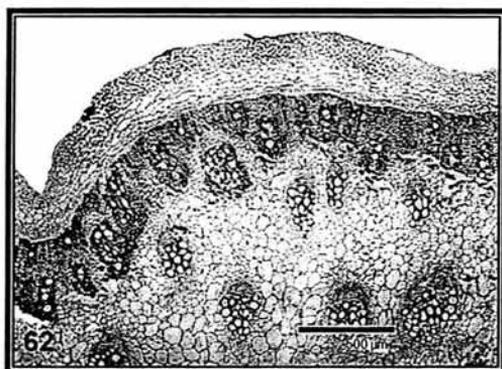
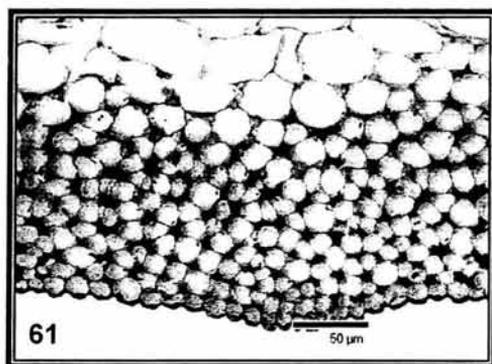
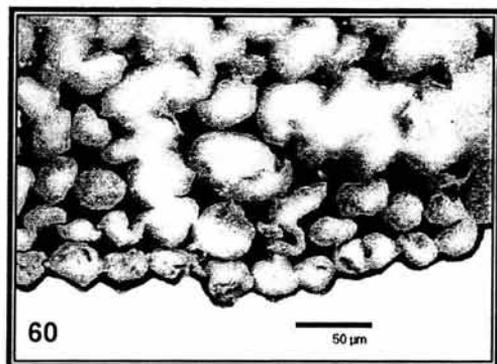
<b>Carácter</b>	<b>Azteca</b>	<b>Mercado</b>	<b>Mixteco</b>	<b>Nepal</b>
Ubicación de los cristales de oxalato de calcio	Córtex interno	Ausentes	Córtex interno	Córtex externo
Tipo de engrosamiento de los elementos de vaso	Bordeados	Bordeados y pseudoescalariformes	Bordeados y Pseudoescalariformes	Simples y pseudoescalariformes
Frecuencia de fibras	Frecuentes	Abundantes	Abundantes	Frecuentes
Frecuencia de fibras septadas	Escasas	Escasas	Escasas	Frecuentes
Contenidos celulares de las fibras	Poco evidentes	Evidentes	Evidentes	Poco evidentes
Lignificación de la región fascicular de las bandas internas	Lignificada	Poco lignificada	Poco lignificada	Lignificada

**Cuadro 31. Valores cuantitativos del tallo**

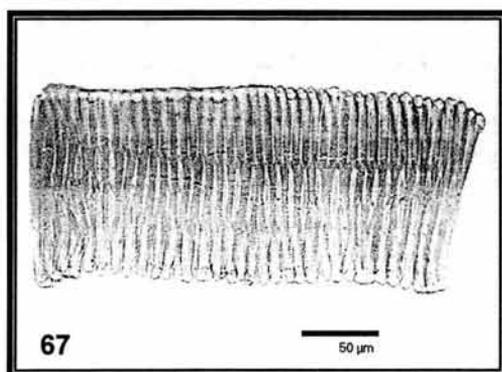
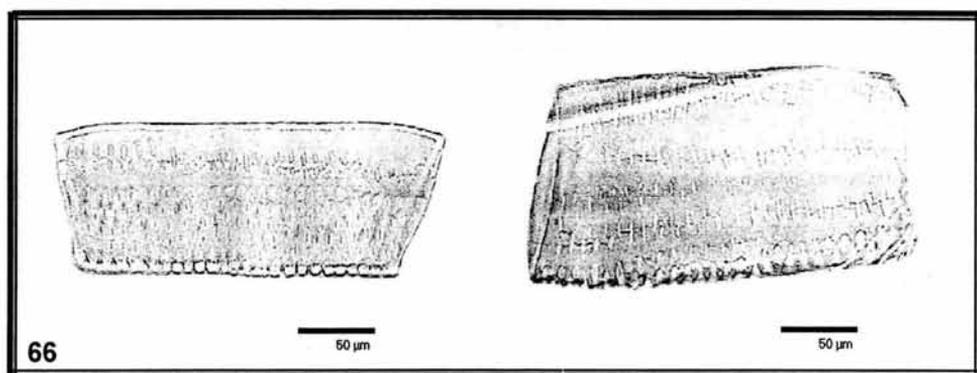
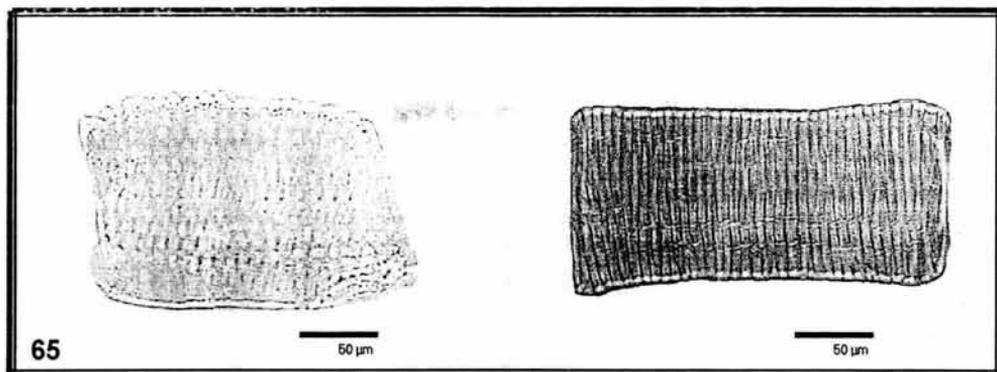
Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Largo de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	23.6 $\pm$ 5.7 (15.0 - 35.0)	34.3 $\pm$ 7.1 (25.0 - 50.0)	23.1 $\pm$ 4.0 (15.0 - 30.0)	21.3 $\pm$ 4.6 (15.0 - 30.0)
Ancho de células epidérmicas ( $\mu\text{m}$ )	44.9 $\pm$ 14.5 (25.0 - 82.5)	35.8 $\pm$ 10.9 (23.0 - 62.5)	31.9 $\pm$ 8.7 (20.0 - 50.0)	39.6 $\pm$ 10.9 (20.0 - 65.0)
Grosor total del córtex ( $\mu\text{m}$ )	654.8 $\pm$ 291.7 (265.0 - 1140.0)	433.0 $\pm$ 50.1 (345.0 - 515.0)	429.0 $\pm$ 144.1 (245.0 - 710.0)	609.0 $\pm$ 120.2 (460.0 - 850.0)
Grosor del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	189.8 $\pm$ 64.3 (70.0 - 295)	147.0 $\pm$ 48.5 (60.0 - 225.0)	134.3 $\pm$ 44.5 (75.0 - 245.0)	210.5 $\pm$ 51.0 (80.0 - 285.0)
Número de estratos del colénquima	8.4 $\pm$ 1.8 (6 - 13)	7.8 $\pm$ 1.1 (6 - 10)	8.5 $\pm$ 1.7 (6 - 12)	8.4 $\pm$ 1.6 (5 - 11)
Largo de células del colénquima ( $\mu\text{m}$ )	32.5 $\pm$ 7.3 (20.0 - 50.0)	21.6 $\pm$ 5.0 (10.0 - 32.5)	16.8 $\pm$ 5.7 (10.0 - 30.0)	33.9 $\pm$ 7.0 (22.5 - 50.0)
Ancho de células del colénquima ( $\mu\text{m}$ )	32.5 $\pm$ 7.4 (20.0 - 50.0)	23.8 $\pm$ 7.4 (12.5 - 40.0)	24.3 $\pm$ 4.5 (17.5 - 35.0)	40.1 $\pm$ 13.0 (25.0 - 72.5)
Largo de células parenquimáticas medulares ( $\mu\text{m}$ )	102.3 $\pm$ 31.1 (60.0 - 170.0)	170.3 $\pm$ 37.7 (100.0 - 240.0)	204.0 $\pm$ 59.9 (87.5 - 330.0)	201.6 $\pm$ 52.8 (135.0 - 310.0)
Ancho de células parenquimáticas medulares ( $\mu\text{m}$ )	157.6 $\pm$ 46.9 (85.0 - 230.0)	115.4 $\pm$ 22.9 (80.0 - 157.5)	149.3 $\pm$ 28.9 (100.0 - 200.0)	157.5 $\pm$ 43.8 (100.0 - 260.0)
Número de anillos cambiales	5 - 6	8 - 9	6 - 7	7 - 8
Grosor de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	473.8 $\pm$ 76.7 (325.0 - 660.0)	582.3 $\pm$ 153.3 (280.0 - 875.0)	689.5 $\pm$ 102.2 (425.0 - 850.0)	426.3 $\pm$ 70.8 (225.0 - 525.0)
Número de estratos de la zona interfascicular	20.0 $\pm$ 5.5 (12 - 30)	25.6 $\pm$ 6.4 (13 - 41)	38.7 $\pm$ 5.5 (23 - 49)	21.1 $\pm$ 2.9 (16 - 27)
Largo de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	20.1 $\pm$ 5.2 (10.0 - 30.0)	21.6 $\pm$ 6.8 (12.5 - 35.0)	17.1 $\pm$ 3.6 (10.0 - 25.0)	14.0 $\pm$ 3.0 (10.0 - 20.0)
Ancho de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	16.3 $\pm$ 3.4 (12.5 - 27.5)	14.5 $\pm$ 5.3 (7.5 - 25.0)	13.3 $\pm$ 5.7 (5.0 - 25.0)	14.9 $\pm$ 3.0 (10.0 - 20.0)
Número de vasos por haz vascular de la zona externa	5.2 $\pm$ 3.3 (2 - 13)	7.9 $\pm$ 3.2 (2 - 14)	9.1 $\pm$ 3.6 (4 - 18)	5.9 $\pm$ 3.2 (2 - 15)
Diámetro tangencial de elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	54.4 $\pm$ 11.9 (35.0 - 75.0)	55.3 $\pm$ 22.3 (20.0 - 110.0)	70.9 $\pm$ 19.1 (30.0 - 115.0)	75.5 $\pm$ 26.4 (25.0 - 125.0)
Grosor de pared de los elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	5.3 $\pm$ 0.7 (5.0 - 7.5)	5.2 $\pm$ 0.9 (3.8 - 7.5)	5.0 $\pm$ 0.4 (3.8 - 6.3)	4.4 $\pm$ 0.8 (2.5 - 6.3)
Largo de elementos de vaso de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	221.5 $\pm$ 85.8 (110.0 - 375.0)	169.5 $\pm$ 43.0 (115.0 - 255.0)	167.3 $\pm$ 63.6 (100.0 - 325.0)	233.6 $\pm$ 47.5 (155.0 - 360.0)

Continúa cuadro 31. Valores cuantitativos del tallo

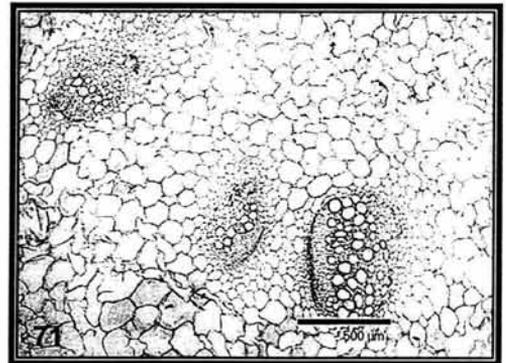
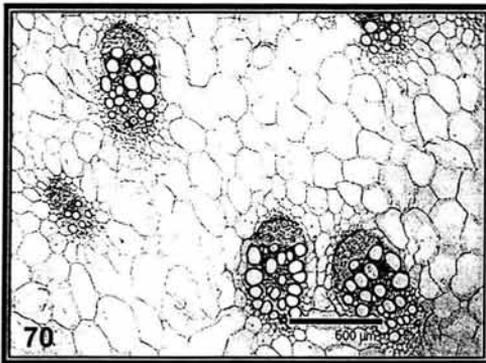
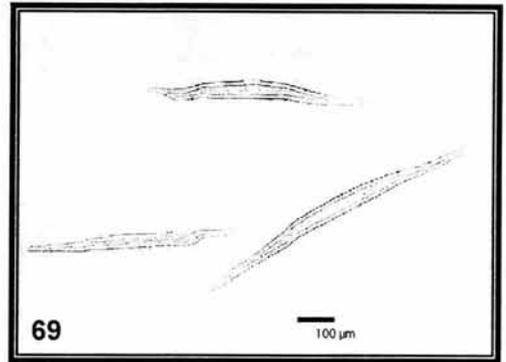
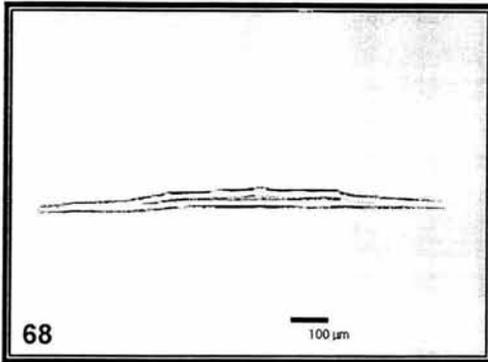
Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Largo de fibras de la zona externa ( $\mu\text{m}$ )	$760.3 \pm 150.6$ (470.0 - 995.0)	$387.3 \pm 63.2$ (310.0 - 550.0)	$730.8 \pm 110.7$ (590.0 - 1080.0)	$708.3 \pm 128.1$ (510.0 - 960.0)
Número de vasos por haz vascular medular	$64.2 \pm 38.3$ (22 - 151)	$36.0 \pm 14.8$ (8 - 66)	$22.1 \pm 5.3$ (11 - 33)	$15.2 \pm 5.9$ (7 - 29)
Diámetro tangencial de elementos de vaso de la zona medular ( $\mu\text{m}$ )	$38.5 \pm 14.2$ (15.0 - 65.0)	$57.0 \pm 19.9$ (27.5 - 92.5)	$65.4 \pm 23.5$ (27.5 - 110.0)	$45.8 \pm 14.3$ (20.0 - 72.5)



**Figuras 60-64.** *A. hypochondriacus*. Sección transversal de tallo. Fig. 60. Células epidérmicas de mayor tamaño en Azteca. Fig. 61. Células epidérmicas pequeñas en Nepal. Fig. 62. Córtex grueso, anillo cambial externo de tamaño intermedio, región fascicular con el menor número de vasos de diámetro pequeño por haz vascular en Azteca. Fig. 63. Córtex delgado, anillo cambial externo grueso, región fascicular con el mayor número de vasos por haz vascular en Mixteco. Fig. 64. Anillo cambial externo delgado, región fascicular con vasos de diámetro mayor en Nepal.



**Figuras 65-67.** *A. hypochondriacus*. Disociados de anillos cambiales externos. Fig. 65. Elementos de vaso con engrosamientos bordeados y pseudoescalariformes en Mixteco. Figs. 66 – 67. Elementos de vaso con engrosamientos bordeados, simples y pseudoescalariformes en Nepal.



**Figuras 68-71.** *A. hypochondriacus*. Disociados de anillos cambiales externos (68-69). Fig. 68. Fibra larga en Azteca. Fig. 69. Fibras pequeñas en Mixteco. Sección transversal de tallo (70-71) Fig. 70. Zona fascicular interna con haces vasculares inmersos en una matriz lignificada en Mixteco. Fig. 71. Zona fascicular interna con haces vasculares inmersos en una matriz poco lignificada en Mercado.

## RAÍZ

### TEJIDO DÉRMICO

*Sección transversal.* Contorno regular ligeramente sinuoso; sin tricomas.

Peridermis. con 1 a 13 estratos celulares (cuadro 33) (Figs. 72, 73), células de forma rectangular y alargadas en dirección tangencial, con paredes delgadas a ligeramente engrosadas (cuadro 32), sin contenidos celulares, las células de los estratos más externos se observan colapsadas.

### TEJIDO FUNDAMENTAL

Córtex: De 235 a 629.8  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 33) (Figs. 73, 74). Diferenciado en dos zonas, córtex externo y córtex interno. Córtex externo formado por una banda de tejido parenquimático de 154.3 a 351.5  $\mu\text{m}$  de grosor, con 4 a 13 estratos (cuadro 33); con células de forma obloide y alargadas en dirección tangencial de 37 a 59.1  $\mu\text{m}$  de largo por 101.1 a 139.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 33), de paredes delgadas. Córtex interno formado por tejido parenquimático de 94 a 180  $\mu\text{m}$  de grosor, con cuatro a nueve estratos (cuadro 33), con células obloides y alargadas en dirección tangencial, de menor tamaño que las del córtex externo, de paredes delgadas; sin espacios intercelulares.

Zona medular. Con células parenquimáticas, de forma isodiamétrica u obloide y alargadas en dirección tangencial, en la región interfascicular las células se disponen radialmente; en ambos casos el tamaño de las células varía siendo más grandes hacia la médula y más pequeñas hacia el córtex, todas ellas de paredes delgadas.

Contenidos celulares. Se observan cristales de oxalato de calcio en forma de arena en diferentes zonas. En el córtex externo e interno son escasos, en la médula son más frecuentes.

### TEJIDO VASCULAR

Derivado a partir de una variante del crecimiento secundario, que originan un patrón de tres a siete anillos o bandas cambiales sucesivas (cuadro 33), en general bien definidas

(cuadro 32) (Figs. 73, 74). Cada anillo esta separado del siguiente por tejido conjuntivo tangencial parenquimático, que generalmente tiende a disminuir y lignificarse hacia el córtex (cuadro 32), anastomosándose en los anillos más externos (Fig. 74).

Cada anillo está integrado por regiones interfasciculares, generalmente continuas (cuadro 32), de tejido conjuntivo radial y de regiones fasciculares compuestas por paquetes de haces vasculares. Región interfascicular en general mejor definida que en el tallo (cuadro 32), constituida principalmente de tejido parenquimático que tiende a lignificarse en los anillos vasculares más externos, el anillo más externo tiene un grosor de 209 a 417.5  $\mu\text{m}$  (cuadro 33), con células organizadas en hileras radiales, de forma obloide y alargadas en dirección tangencial o isodiamétricas de 11.2 a 18.8  $\mu\text{m}$  de largo por 6.8 a 11.6  $\mu\text{m}$  de ancho (cuadro 33), el grosor de la pared generalmente varía desde delgada hasta engrosada (cuadro 33) cuando se lignifican con un grosor de pared de 2.2 a 3.2  $\mu\text{m}$  (cuadro 33), muy compactas entre si, sin espacios intercelulares ni contenidos celulares. Región fascicular compuesta por paquetes de haces vasculares colaterales, inmersos en una matriz de tejido generalmente lignificado. Para la banda más externa, floema en un paquete por haz vascular, formado por miembros de tubos cribosos, células acompañantes y grandes células parenquimáticas, los estratos más externos del floema están colapsados. Xilema con traqueidas y vasos como elementos de conducción, parénquima paratraqueal vasicéntrico evidente o no (cuadro 32), con diferentes grados de lignificación y fibras; con 5.9 a 12.6 vasos por haz vascular, cada vaso con 39 a 61.6  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial y pared de 2.6 a 3.9  $\mu\text{m}$  de grosor (cuadro 33).

Bandas de la zona media región interfascicular mejor definidas que en el tallo, constituida principalmente de tejido parenquimático que varía en grosor entre las razas (Figs. 74, 75). Zona fascicular con un mayor número de vasos, con floema similar al observado en el anillo cambial externo, y xilema con vasos como elementos de conducción, células parenquimáticas y fibras. Cada haz con 17.6 a 31.9 vasos solitarios o en grupos de cuatro, generalmente dispuestos radialmente con 41.9 a 90  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 33).

Zona medular. Haces vasculares organizados en dos arcos principales, cada arco a su vez se subdivide en paquetes separados por una o dos hileras de tejido conjuntivo parenquimático, con células de forma rectangular, en general alargadas en dirección tangencial, aún cuando algunas células se disponen radialmente. Floema similar al observado en las otras bandas. Xilema con vasos como elementos de conducción y parénquima, vasos solitarios o en grupos de hasta cuatro, dispuestos radialmente, cada haz con 66.7 a 190.7 vasos, con 66.4 a 95.2  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial (cuadro 33).

**Cuadro 32. Valores cualitativos de la raíz**

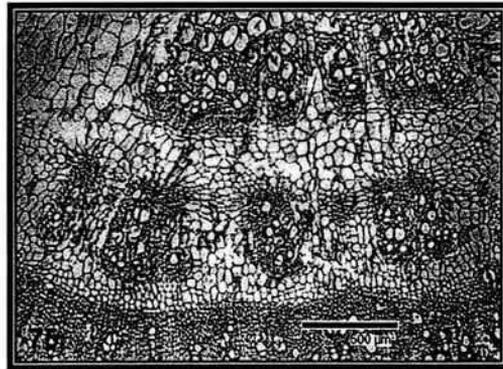
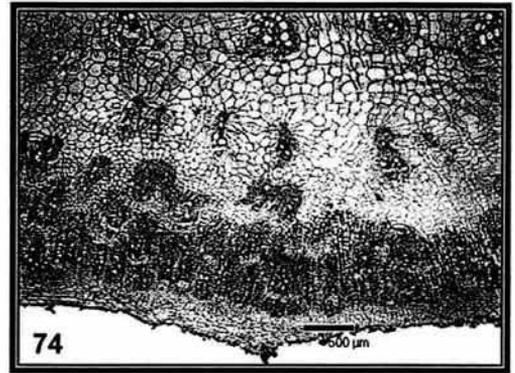
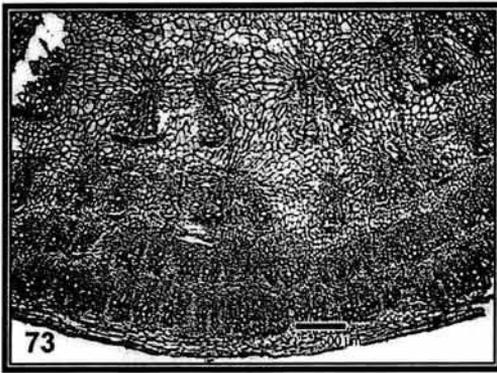
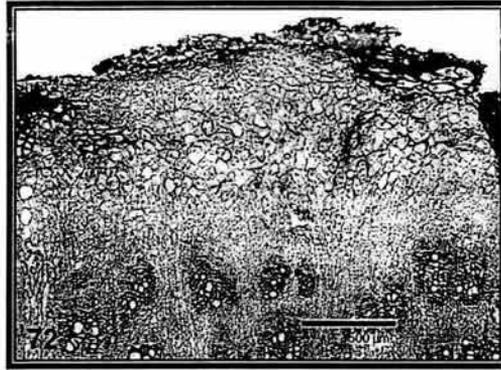
Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Grosor de pared de las células de la rizodermis	Poco engrosadas	Poco engrosadas	Gruesas	Poco engrosadas
Anillos cambiales	Definidos	Definidos	Poco definidos	Poco definidos
Tejido conjuntivo tangencial	Parenquimático y lignificado	Parenquimático y lignificado	Parenquimático	Parenquimático y lignificado
Región interfascicular	Poco definido	Definido	Poco definido	Poco definido
Grosor de pared de las células de la región interfascicular	Poco engrosada	Engrosada	Delgada	Engrosada
Parénquima paratraqueal vasicéntrico	Delgado, poco evidente	ligeramente engrosado, evidente	Delgado, evidente	Delgado, evidente

**Cuadro 33. Valores cuantitativos de la raíz**

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Número de estratos de la rizodermis	3 a 5	1 a 3	4 a 13	3 a 5
Grosor total del córtex ( $\mu\text{m}$ )	291.5 $\pm$ 52.2 (215.0 - 390.0)	238.5 $\pm$ 38.8 (175.0 - 320.0)	629.8 $\pm$ 118.7 (430.0 - 835.0)	235.0 $\pm$ 51.2 (130.0 - 310.0)
Grosor del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	212.8 $\pm$ 38.3 (150.0 - 310.0)	157.8 $\pm$ 28.0 (110.0 - 210.0)	351.5 $\pm$ 80.0 (240.0 - 510.0)	154.3 $\pm$ 35.0 (70.0 - 220.0)
Número de estratos del córtex externo	8	4 a 10	6 a 13	7 a 8
Largo de células parenquimáticas del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	49.5 $\pm$ 10.5 (25.0 - 65.0)	39.0 $\pm$ 9.6 (25.0 - 62.5)	59.1 $\pm$ 16.1 (30.0 - 105.0)	37.0 $\pm$ 6.3 (25.0 - 45.0)
Ancho de células parenquimáticas del córtex externo ( $\mu\text{m}$ )	139.6 $\pm$ 32.5 (76.3 - 197.5)	116.4 $\pm$ 23.8 (75.0 - 170.0)	105.3 $\pm$ 24.0 (77.5 - 156.3)	101.1 $\pm$ 26.4 (52.5 - 166.3)

Continúa cuadro 33. Valores cuantitativos de la raíz

Carácter	Azteca	Mercado	Mixteco	Nepal
Grosor del córtex interno ( $\mu\text{m}$ )	111.9 $\pm$ 45.1 (70.0 - 175.0)	95.0 $\pm$ 13.5 (75.0 - 105.0)	180.0 $\pm$ 42.4 (150.0 - 210.0)	94.0 $\pm$ 6.5 (85.0 - 100.0)
Número de estratos del córtex interno	4 a 7	4 a 5	5 a 7	4 a 9
Número de anillos cambiales	3 a 5	3 a 5	4 a 7	3 a 6
Grosor de la zona interfascicular externa ( $\mu\text{m}$ )	209.0 $\pm$ 65.6 (110.0 - 285.0)	411.6 $\pm$ 115.6 (260.0 - 730.0)	289.5 $\pm$ 96.5 (150.0 - 450.0)	417.5 $\pm$ 245.3 (180.0 - 970.0)
Largo de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	14.5 $\pm$ 2.7 (10.0 - 20.0)	11.2 $\pm$ 2.1 (7.5 - 15.0)	18.4 $\pm$ 3.7 (15.0 - 25.0)	18.8 $\pm$ 5.0 (15.0 - 30.0)
Ancho de células de la zona interfascicular ( $\mu\text{m}$ )	9.6 $\pm$ 1.9 (7.5 - 12.5)	6.8 $\pm$ 1.0 (5.0 - 8.8)	11.6 $\pm$ 3.0 (7.5 - 20.0)	9.6 $\pm$ 1.9 (5.0 - 15.0)
Grosor de pared de células del parénquima lignificado ( $\mu\text{m}$ )	3.2 $\pm$ 0.8 (2.5 - 5.0)	2.8 $\pm$ 0.6 (2.5 - 3.8)	3.0 $\pm$ 0.7 (2.5 - 3.8)	2.2 $\pm$ 0.5 (1 - 3)
Número de vasos por haz vascular periférico	5.9 $\pm$ 3.0 (2 - 12)	12.6 $\pm$ 6.8 (4 - 30)	10.2 $\pm$ 4.1 (4 - 17)	10.1 $\pm$ 6.5 (5 - 30)
Diámetro tangencial de elementos de vaso periféricos ( $\mu\text{m}$ )	53.1 $\pm$ 10.0 (35.0 - 72.0)	39.0 $\pm$ 5.8 (27.5 - 52.5)	61.6 $\pm$ 14.9 (35.0 - 87.5)	41.9 $\pm$ 7.9 (30.0 - 55.0)
Grosor de pared de elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	3.3 $\pm$ 0.7 (2.5 - 5.0)	2.6 $\pm$ 0.4 (2.5 - 3.8)	3.7 $\pm$ 1.0 (2.5 - 5.0)	3.9 $\pm$ 1.2 (2.5 - 7.5)
Número de vasos por haz vascular intermedio	17.6 $\pm$ 6.0 (11 - 28)	21.7 $\pm$ 6.5 (13 - 37)	31.9 $\pm$ 10.0 (20 - 54)	18.3 $\pm$ 7.6 (7 - 33)
Diámetro tangencial de elementos de vaso intermedio ( $\mu\text{m}$ )	90.0 $\pm$ 15.0 (75.0 - 125.0)	74.4 $\pm$ 9.1 (60.0 - 90.0)	61.6 $\pm$ 14.9 (35.0 - 87.5)	41.9 $\pm$ 7.9 (30.0 - 55.0)
Número de vasos por haz vascular medular	155 $\pm$ 17.0 (143 - 167)	66.7 $\pm$ 27.1 (35 - 112)	190.7 $\pm$ 82.7 (138 - 286)	78.0 $\pm$ 27.8 (44 - 113)
Diámetro tangencial de elementos de vaso medulares ( $\mu\text{m}$ )	95.2 $\pm$ 17.4 (58.8 - 125.0)	73.5 $\pm$ 13.9 (50.0 - 100.0)	83.1 $\pm$ 20.2 (45.0 - 120.0)	66.4 $\pm$ 23.6 (20.0 - 110.0)



**Figuras 72-75.** *A. hypochondriacus*. Sección transversal de raíz. Fig. 72. Peridermis con un mayor número de estratos celulares y córtex grueso en Mixteco. Fig. 73. Peridermis con pocos estratos celulares y anillos cambiales definidos en Mercado. Fig. 74. Córtex delgado, anillos cambiales poco definidos con regiones interfasciculares anchas en Nepal. Fig. 75. Anillos cambiales internos con regiones interfasciculares angostas en Azteca.

## VI. DISCUSIÓN

La discusión se basa en tres aspectos principales. En primer término se aborda el tema de las técnicas histológicas implementadas en el procesamiento de las estructuras vegetativas de las razas estudiadas. A continuación se compara la anatomía entre las razas de las dos especies y otros grupos relacionados y por último entre las dos especies analizadas.

### VI.I Técnicas histológicas

De acuerdo con las técnicas histológicas utilizadas para el proceso de inclusión de los diferentes materiales vegetativos:

- a) Parafina por el método directo de deshidratación con alcohol terbutílico (ATB);
- b) Parafina por el método indirecto de deshidratación con xileno; y
- c) Polietilenglicol (PEG).

Se puede establecer que:

#### *a) Inclusión en parafina por el método directo con alcohol terbutílico (ATB)*

El ATB tiene tres ventajas principales:

- Es soluble en agua de tal forma que los tejidos inicialmente hidratados no experimentan un cambio drástico al momento de entrar en contacto con el alcohol,
- Este alcohol garantiza un proceso de deshidratación confiable y absoluto sin causar daños a los tejidos, y
- La parafina histológica es soluble en este alcohol, por lo que una vez que los tejidos están completamente deshidratados se puede iniciar la infiltración de la parafina gradualmente.

Sin embargo el ATB tiene la desventaja de que cristaliza a temperaturas menores de 24° C lo que puede ocasionar daño celular o tisular.

#### *b) Inclusión en parafina por el método indirecto con xileno*

Este método es uno de los más conocidos y utilizados por los anatomistas. Sin embargo, tiene varias desventajas, una de ellas es que el xileno no es soluble en agua, por lo que previamente hay que eliminar toda el agua presente en los tejidos que se van

a incluir, esta deshidratación puede hacerse por medio cambios graduales de alcoholes y posteriormente se transfieren los tejidos a diluciones graduales de la mezcla de alcohol, xileno y parafina para que al final de este proceso todo el tejido quede embebido en parafina, lo que significa mayor tiempo de procesamiento del material. Por otra parte el xileno es tóxico y cancerígeno, por lo que debe ser usado con precaución tomando en cuenta todas las medidas de seguridad recomendadas.

Esta técnica de deshidratación fue propuesta por Johansen (1940). Sin embargo Bardales (1992), realizó algunas modificaciones de esta técnica; durante el procesamiento de las raza Guatemalteco de *Amaranthus cruentus* y Azteca de *A hypochondriacus*, después de los alcoholes graduales incluyó un cambio más de xileno, y posteriormente uno de aceite de clavo, previos a las diluciones graduales de xileno-parafina y finalizó colocando el material en parafina pura para su infiltración.

Con el propósito de confirmar si esta modificación representaba algún beneficio para el material procesado, en este trabajo se utilizaron los dos métodos, el propuesto por Johansen (1940) y la modificación propuesta por Bardales (1992). Se pudo establecer que colocar las muestras en aceite de clavo previo a la inclusión en parafina no representa ningún beneficio adicional al material una vez que ha sido cortado y teñido, mientras que, por el contrario sí implica un mayor gasto tanto en tiempo de procesamiento como en el consumo de este reactivo y por consiguiente un mayor costo económico, por lo que la metodología propuesta por Johansen (1940) resultó ser menos costosa, más rápida y por lo tanto más conveniente.

### c) *Inclusión con polietilenglicol (PEG)*

El polietilenglicol es un polímero soluble en agua lo que permite que después de lavar las muestras para la total eliminación del fijador, inmediatamente se pueda iniciar el proceso de infiltración, inclusión y cortes para la obtención de secciones; en este caso no será necesario un proceso tan largo y costoso de eliminación de este medio de inclusión como en el caso de la parafina, ya que al ser soluble en agua es suficiente un lavado previo de las secciones antes del uso de algún colorante acuoso como la

safranina. Por estas razones el uso de este medio de inclusión significa una ventaja en cuanto al ahorro de tiempo y recursos económicos. Sin embargo, entre sus desventajas podemos mencionar las siguientes:

- > Los tejidos incluidos en este medio difícilmente pueden ser cortados a menos de 15 micrómetros
- > Al realizar los cortes se obtienen listones de muy pocas secciones, debido a que se rompen fácilmente
- > Debido a que el PEG es soluble en agua no se recomienda el uso del baño de flotación porque al disolverse el PEG las secciones se hunden lo que hace más difícil colocarlas sobre los portaobjetos
- > Los cortes obtenidos deben colocarse en discos de Siracusa para continuar con la tinción, de esta forma sólo se puede procesar un pequeño número de secciones en por disco.

Tanto la inclusión en parafina como la inclusión en PEG tienen ventajas y desventajas dependiendo de los objetivos y de del material que se requiera trabajar. Sin embargo, para el caso de la lámina, vena media y pecíolo de *Amaranthus* se recomienda su inclusión en parafina debido a que tienen una mayor proporción de tejidos de tipo parenquimático, es decir, casi todos sus tejidos tienen paredes primarias, a excepción del tejido vascular que está lignificado. De esta forma la parafina proporciona suficiente soporte interno para realizar los cortes, facilitando además las siguientes etapas del procesamiento del material. Mientras que para estructuras como el tallo o la raíz, se encontró que tanto la parafina como el polietilenglicol proporcionan buenos resultados.

De acuerdo con los resultados obtenidos la inclusión en parafina por el método directo con alcohol terbutílico es el procedimiento más recomendable para el procesamiento anatómico de los diferentes órganos vegetativos de *Amaranthus*, debido a que permite una deshidratación e inclusión de los tejidos más gradual, además este alcohol es menos dañino que el xileno utilizado en el método indirecto.

## VI.II Comparación entre las razas y otros grupos relacionados

Como se mencionó en el capítulo IV de la metodología, el material biológico utilizado en este trabajo se cultivó bajo las mismas condiciones climáticas, en suelos similares y con técnicas de manejo de cultivo también similares. De acuerdo con Costea y DeMason (2001), aún cuando las diferencias observadas son principalmente de tipo cuantitativo, son comparables si las plantas crecen en las mismas condiciones ecológicas, situación que se cumple para todas las razas analizadas de ambas especies.

Debido a que en este trabajo no se realizó un muestreo múltiple y únicamente se utilizó un ejemplar de cada raza no fue posible aplicar análisis estadísticos inferenciales y únicamente se aplicó estadística descriptiva a los caracteres cuantitativos, correspondiente a la media, desviación estándar e intervalos mínimo y máximo. A partir de estos parámetros estadísticos se distinguen las diferencias cuantitativas entre las razas.

Las razas Africano y Mexicano de *Amaranthus cruentus* tienen un mayor número de diferencias tanto cuantitativas como cualitativas en todos los órganos analizados, observándose una mayor predominancia de células y tejidos de mayor tamaño en la raza Africano, en contraste con la raza Mexicano en la que predominan los tamaños celulares y tisulares más pequeños. Para la raza Guatemalteco los caracteres cuantitativos y cualitativos tienden a tener valores intermedios.

En las razas de *Amaranthus hypochondriacus* no se observa una tendencia tan marcada como en el caso de *A. cruentus*, en *A. hypochondriacus* las razas Azteca y Mercado tienen un mayor número de caracteres cuantitativos y cualitativos diferentes en las estructuras analizadas; la raza Mercado tiene las estructuras más pequeñas y las razas Nepal y Mixteco las más grandes.

Es así que este trabajo pretendía establecer la correlación entre los caracteres morfológicos con el uso que se les da a las plantas, su relación con el medio y los caracteres anatómicos evaluados para cada especie y las razas estudiadas.

### **Hoja**

*Tricomas.* De acuerdo con los resultados observados, se pudo establecer que en *Amaranthus cruentus* raza Guatemalteco hay una mayor abundancia de tricomas, aún cuando no se observan grandes diferencias con respecto a las razas Africano y Mexicano de esta misma especie, mientras que para *A. hypochondriacus* los tricomas de las razas Azteca y Mercado son frecuentes y para las razas Mixteco y Nepal son escasos. Es importante resaltar que para ninguna de las siete razas es fácil que los tricomas se conserven completos, debido a que generalmente se colapsan o fragmentan durante el procesamiento del material, por lo que es difícil obtener más información sobre su longitud o algunos otros aspectos, no obstante en la raza Azteca de *A. hypochondriacus* se observaron tricomas biseriados, sin embargo no se podría asegurar que sean exclusivos de ella. Wolpert (1962), citado por Johnson (1975), señala que cuando la proporción de tricomas en una planta es mayor, se favorece la conducción del calor hacia el exterior de la misma, esto significa que las altas temperaturas internas pueden ser disipadas mediante la convección y la conducción calórica, por lo que asigna a los tricomas un papel dentro del intercambio termodinámico. Por otra parte Wolley (1964), citado también por Johnson (1975), señala que en muchos casos los tricomas disminuyen el movimiento del aire cerca de la hoja y así crean una capa mayor de aire tranquilo, por la cual el vapor de agua tendría que difundirse desde el interior saturado de la hoja hacia el exterior más seco, lo que contribuye a disminuir la pérdida de agua por las hojas. De acuerdo con los cuadros 2 y 3, se puede observar que, en términos generales, el lugar de origen de las diferentes razas son zonas con un clima cálido, por lo que es probable que la presencia de tricomas en *Amaranthus* tenga una función similar a la reportada por estos autores para otras plantas. Además, esto pudiera propiciar que las razas con una mayor frecuencia de tricomas cuenten con una ventaja selectiva favorable para su permanencia en estos ambientes, a diferencia de las razas donde los tricomas son más escasos.

*Epidermis.* En la raza Africano de *Amaranthus cruentus* predominan las células epidérmicas grandes, en la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y en las razas Mercado, Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen un tamaño intermedio, en tanto que en

las razas Mexicano de *A. cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* las células son pequeñas. Aunado a esto, el mayor grosor de la pared anticlinal de las células epidérmicas corresponde a las razas Africano de *A. cruentus* y Nepal de *A. hypochondriacus*, las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Azteca, Mercado y Mixteco de *A. hypochondriacus* con un tamaño intermedio y la raza Mexicano de *A. cruentus* con una pared delgada. Cabe destacar que la raza Africano de *A. cruentus*, ha sido utilizada principalmente como verdura y tiene un mayor desarrollo de las hojas, lo que implica la necesidad de mayor soporte mecánico en estas estructuras; en cambio las demás razas tanto de *A. cruentus* como de *A. hypochondriacus* se utilizan principalmente como productoras de semillas, aún cuando la raza Guatemalteco de *A. cruentus* también es utilizada como verdura o como plantas ornamentales. Espitia (1992) observó que para *A. cruentus* la hoja de la raza Mexicano es más grande y las de la raza Africano más pequeña, mientras que para *A. hypochondriacus* la raza Azteca tiene la hoja más grande y la raza Nepal la más pequeña; por el contrario, Mapes (1996) encontró que las razas Africano de *A. cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* tienen las hojas más grandes, mientras que el tamaño más pequeño corresponde a las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mixteco de *A. hypochondriacus*. Puesto que los materiales utilizados durante este estudio fueron proporcionados por la Dra. Mapes, el tamaño de la hoja a considerar es el registrado por ella. De esta forma se puede observar una correlación positiva entre el tamaño de la hoja, el tamaño de las células epidérmicas y el grosor de la pared anticlinal de las mismas para las razas de *A. cruentus*, en cambio para las razas de *A. hypochondriacus* la correlación es negativa. Dickison (2000) señala que es posible encontrar células con paredes engrosadas en las hojas de plantas que crecen en zonas abiertas y su función principal es resistir la acción mecánica del viento y evitar que las hojas se doblen; en el caso de las razas analizadas, es posible que para la raza Africano las paredes engrosadas también puedan tener una utilidad similar, dado el mayor tamaño de las hojas respecto a las otras razas; sin embargo, esto no es tan evidente porque la raza Azteca tiene las hojas más grandes, aún más que la raza Africano y a pesar de esto tiene las células más pequeñas y paredes poco engrosadas.

*Estomas*. En la epidermis abaxial de la lámina el índice estomático es mayor con respecto a la epidermis adaxial para todas las razas de las dos especies; autores como Fisher y Evert (1982) analizando *Amaranthus retroflexus*; y Padmini y Shanmukha (1995) quienes analizaron 8 especies de *Amaranthus*, señalan que casi todas las especies estudiadas conservan la relación de tener una epidermis abaxial con un índice estomático mayor que en la epidermis adaxial; esta misma tendencia también se encontró en las razas analizadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, las razas Mercado y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen el mayor índice estomático de las demás razas de *A. hypochondriacus*, las de *A. cruentus* y de las otras especies analizadas tanto por Fisher y Evert (1982), como por Padmini y Shanmukha (1995), en tanto que la raza Africano de *A. cruentus* tiene el índice estomático menor con respecto a las otras razas tanto de *A. cruentus* como de *A. hypochondriacus* y las otras especies señaladas por estos mismos autores. Los resultados también indican que el índice estomático es un valor importante para poder separar entre razas, principalmente en *A. cruentus* tanto en la epidermis adaxial como en la abaxial correspondiendo el menor índice a la raza Africano, el intermedio a la raza Guatemalteco y el mayor valor a la raza Mexicano. En las razas de *A. hypochondriacus* el valor del índice estomático para ambas epidermis varían de la misma manera, las razas Azteca y Mercado tienen valores similares sobre todo en la epidermis adaxial, mientras que las razas Mixteco y Nepal pueden diferenciarse claramente. Como se puede observar, todas las razas de ambas especies y las estudiadas por los autores citados tienen la característica de ser anfiestomáticas (presencia de estomas por ambas epidermis), la mayor prevalencia de estomas en la epidermis abaxial posiblemente pudiera atribuirse a una tendencia de la planta para que la mayor parte de la función de evapotranspiración se lleve a cabo en la epidermis abaxial y a la vez disminuya el riesgo de una mayor pérdida de agua al ser menor el número de estomas de la epidermis adaxial; esto es mucho más evidente en las plantas hipostomáticas (presencia de estomas únicamente en la epidermis abaxial) en donde la especialización hacia el intercambio gaseoso y evapotranspiración es exclusivo de la epidermis abaxial y la captación de luz se lleva a cabo por la epidermis adaxial principalmente.

*Pliegues o engrosamientos polares de los estomas.* En la epidermis adaxial de la lámina de las razas Africano y Guatemalteco de *Amaranthus cruentus* y en la raza Azteca de *A. hypochondriacus* son escasos, mientras que en las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mercado, Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* son frecuentes y varían en tamaño, en la epidermis abaxial de las razas Africano y Guatemalteco de *A. cruentus* y en las razas Mercado y Nepal de *A. hypochondriacus* son frecuentes y grandes, mientras que en las razas Mexicano de *A. cruentus*, Azteca y Mixteco de *A. hypochondriacus* son escasos y en general de tamaño pequeño. Autores como Fisher y Evert (1982) y Bardales (1992) han observado la presencia de los pliegues en las células adyacentes a las células oclusivas, sin embargo ninguno de ellos discute sobre la posible función que pudieran tener en la hoja. Padmini y Shanmukha (1995) mencionan que estos engrosamientos polares son más frecuentes en la epidermis abaxial que en la adaxial, sin embargo, esto no siempre se cumple en las razas analizadas.

*Cámaras subestomáticas.* En la lámina de las razas Africano y Mexicano de *Amaranthus cruentus* y en la raza Azteca de *A. hypochondriacus* las cámaras subestomáticas son conspicuas, mientras que para las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Mercado, Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* son inconspicuas, no obstante estar presentes en todas las razas, no representan un espacio aéreo significativo. Aún cuando no hay referencias precisas sobre este carácter, posiblemente pudieran ser comparadas con los espacios aéreos observados en otras plantas. Byott (1976) encontró que las hojas de dicotiledóneas  $C_4$  como *Amaranthus sp.*, *A. melancholicus*, *A. tricolor splendens* o *Atriplex halimus*, tienen espacios aéreos más pequeños que los de las hojas de plantas  $C_3$ , como *Euphorbia pulcherrima*, *Nicotiana tabacum*, *Pisum sativa* o *Vicia faba*, esta reducción en los espacios aéreos implica que las especies  $C_4$  tienen una mayor densidad de tejido por unidad de volumen de la hoja, constituyéndose en un mecanismo más efectivo para atrapar el  $CO_2$ , lo que favorece una mayor eficiencia fotosintética, debido a que el  $CO_2$  es incorporado dentro de las células del mesofilo directamente, esto representa una ventaja adaptativa para las plantas, como en este caso, *Amaranthus* que es resistente al estrés hídrico y también es una planta con alta productividad.

*Colénquima*. Se localiza en la vena media y pecíolo, sus estratos pueden ser continuos o discontinuos. En la vena media de la raza Africano de *Amaranthus cruentus* es discontinuo y tiene el mayor número de estratos y sus células son de tamaño intermedio; en la raza Mexicano de *A. cruentus* y en las razas Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* es continuo, con un número de estratos intermedio y células que varían en tamaño, generalmente grandes; en la raza Mixteco también de *A. hypochondriacus* es continuo con el mayor número de estratos y células pequeñas, por último en la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y en la raza Nepal de *A. hypochondriacus* es discontinuo con el menor número de estratos y células que varían de tamaño. En el pecíolo, el colénquima tiene el mayor número de estratos y las células más grandes en la raza Africano de *A. cruentus* y en la raza Mixteco de *A. hypochondriacus*, en la raza Guatemalteco de *A. cruentus* también tiene el mayor número de estratos pero las células son de tamaño intermedio, para las razas Azteca, Mercado y Nepal de *A. hypochondriacus* con un número intermedio de estratos y con células que varían de tamaño, por último la raza Mexicano de *A. cruentus* tiene un menor número de estratos y células pequeñas. De acuerdo con Mauseth (1988) el colénquima es uno de los dos tejidos mecánicos especializados en brindar reforzamiento o soporte mecánico pero sobre todo flexibilidad a las estructuras en donde se le encuentra sobre todo en estructuras en crecimiento, de esta forma, la presencia de este tejido responde a las necesidades particulares de cada estructura. Así, la presencia de colénquima tanto en la vena media como en el pecíolo de las razas analizadas, es una estrategia para proporcionar el soporte mecánico que la hoja requiere, es decir las hojas más grandes de la raza Africano de *A. cruentus* necesitan de un mayor soporte y flexibilidad proporcionado por un mayor número de estratos del colénquima con células en general de mayor tamaño, por otra parte, en la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* también se observa el mayor número de estratos del colénquima con células que varían de tamaño; sin embargo, esta raza tiene las hojas más pequeñas por lo que en este caso se observa una correlación negativa entre estos caracteres, la raza Mexicano de *A. cruentus* también tiene hojas pequeñas pero tiene el menor número de estratos y las células del colénquima más pequeñas por lo que la

correlación es positiva, es posible que estas plantas cuenten con alguna o algunas otras características que contribuyan con el soporte y flexibilidad que necesitan.

*Mesofilo*. De acuerdo con Rathnam *et al.*, (1976) el tipo de anatomía foliar Kranz está invariablemente asociado con la fotosíntesis C<sub>4</sub> y generalmente se le ha descrito como una vaina de células Kranz rodeando haces vasculares con una capa más externa de células del mesofilo arregladas radialmente. Brown (1975) observó que en las hojas de las plantas Kranz la mayor parte del arreglo celular de tipo Kranz está asociado a las venas pequeñas que son más abundantes y es en donde se lleva a cabo la fotosíntesis C<sub>4</sub>, favoreciendo así altas tasas fotosintéticas; por otra parte es importante resaltar que las células de la vaina de los haces son más evidentes en las venas pequeñas o de órdenes altos que en las venas primaria y secundarias; sin embargo, Banerjee (1980) menciona que tanto en las venas mayores como en las menores se puede observar una vaina de los haces bien desarrollada, lo que se corroboró mediante la transparentación de la hoja de todas las razas estudiadas.

Para todas las razas analizadas el tejido en empalizada y el esponjoso se disponen radialmente a las células de la vaina de los haces vasculares, lo cual es evidente en la mayoría de los haces de las razas Guatemalteco y Mexicano de *Amaranthus cruentus* y en la raza Nepal de *A. hypochondriacus*, mientras que en las razas Africano de *A. cruentus* y Azteca, Mercado y Mixteco de *A. hypochondriacus* no lo es tanto. Algunos autores como Laetsch (1968), Usuda *et al.*, (1971), Gallahear *et al.*, (1975) y Rathnam *et al.*, (1975) mencionan que entre más cercanas se encuentren las células del mesofilo entre sí y más cercanas a las células de la vaina de los haces, la conducción de carbono entre estas células es más rápida. Es por ello que la presencia de este tipo de arreglo celular favorece una mejor conducción de CO<sub>2</sub> entre las células del mesofilo y las células de la vaina.

Con respecto al tamaño de las células de la vaina, se encontró que las razas Africano de *Amaranthus cruentus* y Azteca y Mixteco de *A. hypochondriacus* tienen las más grandes, seguido de las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Nepal de *A.*

*hypochondriacus*, finalmente las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus* tienen las células más pequeñas. Laetsch (1968) reporta para otras especies C<sub>4</sub>, células de la vaina con una gran cantidad de cloroplastos de mayor tamaño que los de las células del parénquima en empalizada, por lo que tienen un mejor desempeño en el almacenamiento de almidón; probablemente las razas con células de la vaina de mayor tamaño pudieran propiciar una mayor cantidad de cloroplastos de gran tamaño y por consiguiente, una mayor cantidad de sustancias de reserva almacenadas, a diferencia de las otras razas lo que pudiera significar una ventaja adaptativa para ellas.

*Contenidos celulares.* La lámina cuenta con oxalatos de calcio en forma de drusas, escasos en la raza Africano y frecuentes en las razas Guatemalteco y Mexicano de *Amaranthus cruentus* así como en la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* y abundantes en las razas Azteca, Mercado y Nepal de *A. hypochondriacus*. Autores como Zindler (1976) y Metcalfe y Chalk (1979) consideran que cuando algunas plantas habitan en suelos con altas concentraciones de oxalatos evitan la contaminación de sus tejidos al precipitarlos con sales de calcio para acumularlos dentro de vacuolas en forma de cristales de oxalato de calcio. Es posible que entre los motivos por los cuales el hombre haya seleccionado la raza Africano como verdura es que al tener una menor cantidad de cristales en sus hojas, los hace más fácilmente aceptables para ser consumidas como alimento. Alternativamente también puede ser que debido a que esta raza es utilizada como verdura no se le dé el tiempo suficiente para almacenar más cristales en sus tejidos, en comparación con las otras razas que no tienen este uso y las plantas alcanzan su completo estado de madurez. Sin embargo, es importante recordar que para este trabajo se utilizaron únicamente plantas completamente desarrolladas para todas las razas de ambas especies, por lo que este último argumento posiblemente no tenga tanto peso como el primero de ellos.

*Tejido vascular.* En la lámina predominan los haces vasculares de órdenes altos (es decir, a partir del tercer orden de venación) con un menor número de vasos cada uno; en las razas Mexicano de *Amaranthus cruentus*, y Azteca de *A. hypochondriacus* se

observa el mayor número de vasos por haz vascular, mientras que en las razas Africano de *A. cruentus* y Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen un número intermedio de vasos por haz, para las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus* el número de vasos es el menor. Esau (1977) y Mauseth (1988) refieren que las plantas resuelven la capacidad de conducción, entendida como eficiencia y cantidad de agua conducida de dos maneras: contar con vasos de diámetro amplio y/o con un mayor número de vasos de diámetro pequeño por haz. Aunado a lo anterior, a este tejido también se le puede atribuir parte del soporte mecánico de las estructuras vegetativas que lo contienen; para las razas Mexicano de *A. cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* en las que aún cuando no son las razas más altas si corresponden a una envergadura considerable, por ello es posible que el mayor número de vasos por haz vascular esté contribuyendo al soporte de estas plantas, debido a que como se mencionó en párrafos anteriores estas razas tienen en general poco colénquima, en contraste la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* alcanza la mayor altura pero tiene un número de vasos intermedio y presenta el colénquima más grueso.

La vena media en las razas Mexicano de *Amaranthus cruentus* y Mercado y Mixteco de *A. hypochondriacus* tiene un arreglo de los haces en forma de U, mientras que para las razas Africano y Guatemalteco de *A. cruentus* y Azteca y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen forma de anillo. De acuerdo con Fisher y Evert (1982) en *A. retroflexus* la disposición de los haces a lo largo del pecíolo y de la vena media se va modificando desde un arreglo en forma de anillo en la región basal de la hoja, hasta un arreglo en arco y aún más abierto, hacia el ápice, por ello, es posible que la disposición de los haces vasculares encontrados en las diferentes razas de *A. cruentus* y de *A. hypochondriacus*, deben tener un arreglo similar, variando desde un arreglo en anillo hasta uno en arco dependiendo del nivel de donde se obtuvo la muestra en cada hoja. Por ello, cabe la posibilidad de que aun cuando la zona donde se obtuvo la sección del material estudiado estaba estandarizada, es probable observar un comportamiento similar al de *A. retroflexus* a lo largo del tejido vascular del pecíolo y de la vena media. En este estudio este arreglo no fue constatado.

La vena media de la raza Mexicano de *Amaranthus cruentus* tiene el mayor número de haces vasculares, cada uno con pocos vasos de diámetro grande, la raza Nepal de *A. hypochondriacus* también tiene el mayor número de haces vasculares pero con vasos de diámetro intermedio, las razas Africano de *A. cruentus* y Mercado y Mixteco de *A. hypochondriacus* tiene valores intermedios para el número de haces vasculares y número de vasos por haz vascular, excepto en la raza Mixteco en el que el número de vasos por haz vascular es el menor, en tanto que la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y la raza Azteca de *A. hypochondriacus* tiene el menor número de haces vasculares pero con el mayor número de vasos por haz vascular. En el pecíolo, el número de haces vasculares varía poco entre las razas. Para la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y para la raza Nepal de *A. hypochondriacus* se observa el mayor número de haces pero con un número intermedio de vasos de diámetro pequeño para la primera raza y con el menor número de vasos de diámetro pequeño por haz vascular para la segunda. La raza Africano de *A. cruentus* tiene un número de haces intermedio pero con el mayor número de vasos por haz con un diámetro intermedio, mientras que para las razas Mercado y Mixteco de *A. hypochondriacus* el número de haces vasculares y el diámetro tangencial de los vasos es intermedio, aun cuando en la raza Mixteco se observan vasos con el mayor diámetro tangencial. A la raza Mexicano de *A. cruentus* corresponde el menor número de haces vasculares con el menor número de vasos pero de diámetro mayor, mientras que en la raza Azteca de *A. hypochondriacus* también se observa el menor número de haces vasculares pero con el mayor número de vasos de diámetro tangencial intermedio. Fisher y Evert (1982) señalan que los haces vasculares de *A. retroflexus* tienden a fusionarse unos con otros, formando haces con un mayor número de vasos. Probablemente este mismo efecto también se encuentre en las razas analizadas. Por otra parte, aun cuando la raza Africano de *A. cruentus* tiene las hojas más grandes, tanto el número de haces como de vasos y su diámetro tangencial tienen valores intermedios mientras que para la raza Azteca de *A. hypochondriacus* tiene la hoja más grande, en general con un menor número de haces vasculares cada uno con el mayor número de vasos de diámetro intermedio. Para la raza Guatemalteco de *A. cruentus* se observa un tamaño de hoja intermedio; sin embargo, no siempre se cumple que tenga un mayor número de vasos, el diámetro de los mismos siempre es el más

pequeño. En la raza Mercado de *A. hypochondriacus* la hoja tiene un tamaño intermedio y valores también intermedios para el número de haces vasculares, el número de vasos por haz y el diámetro tangencial de los vasos, y para las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mixteco de *A. hypochondriacus* con hojas pequeñas tiene pocos vasos de diámetro mayor. De acuerdo con esto, únicamente las razas Mexicano y Mixteco tienen una correlación positiva con respecto a estos caracteres, mientras que en las otras razas la correlación entre el tamaño de la hoja y el tejido vascular no es muy clara.

### **Tallo**

*Epidermis.* Las razas Guatemalteco de *Amaranthus cruentus* y Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen células epidérmicas pequeñas, la raza Africano de *A. cruentus* tiene células de tamaño intermedio, las razas Mexicano de *A. cruentus* y Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* tienen células epidérmicas grandes. Costea y DeMason (2001) señalan que la epidermis del tallo en *Amaranthus* no tiene un arreglo uniforme de las células; sin embargo, se pueden distinguir crestas y valles; las crestas son generalmente angostas, con estomas y células epidérmicas más o menos isodiamétricas con paredes delgadas y contienen cloroplastos; en los valles, que son regiones generalmente más anchas carecen de estomas, con células epidérmicas de paredes engrosadas, de tamaños variados y sin cloroplastos. Para las razas analizadas no se estableció si la epidermis del tallo tenía estomas. Por otra parte, se observó una correlación positiva entre el tamaño de las células y la altura de la planta, principalmente en las razas Mexicano de *A. cruentus* y en Azteca de *A. hypochondriacus*, mientras que para la raza Mixteco la correlación es negativa.

*Córtex.* En la raza Guatemalteco de *Amaranthus cruentus* y en la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* el córtex es delgado y está formado por células de tamaño intermedio a pequeño, en la raza Africano de *A. cruentus* y en las razas Mercado y Nepal de *A. hypochondriacus* el grosor del córtex tiene valores intermedios y células pequeñas, excepto en la raza Nepal donde las células son grandes, para las razas Mexicano de *A.*

*cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* el córtex es ancho, formado por células de tamaño intermedio a grandes. Fahn y Zimmermann (1982) encontraron que en *Atriplex halimus* el córtex tiene una región externa de colénquima, la cual está especialmente bien desarrollada en los ángulos del tallo; y una región más interna, de células parenquimáticas relativamente largas; esta especie pertenece a la familia Chenopodiaceae; no obstante, tiene un arreglo similar al observado en las razas de ambas especies de *Amaranthus*. Metcalfe y Chalk (1979) mencionan que el córtex está constituido principalmente de colénquima y puede formar un anillo o sólo estar presente en algunas regiones alrededor del tallo. Por otra parte, Dickison (2000) menciona que en las plantas que tienen crecimiento secundario, el colénquima proporciona únicamente soporte temporal al tallo. De acuerdo con la función principal del colénquima, la cual es proporcionar flexibilidad y soporte a la región donde se encuentre, resulta evidente que la raza Mexicana de *A. cruentus*, tiene una correlación positiva entre la altura de la planta, el grosor del córtex y el tamaño de las células colenquimáticas, esto es, que al tener mayor altura, necesita de mayor soporte, por tanto, el córtex y el tamaño de sus células es mayor que en las otras dos razas, sin embargo en las razas de *A. hypochondriacus* la correlación es negativa, debido a que la planta con el mayor tamaño tiene tamaños más pequeños en el córtex y el colénquima, en términos generales esta misma situación se presenta, en las otras razas. De esta forma, la presencia de este tejido responde a las necesidades particulares que cada planta tiene, en este caso contribuye al soporte mecánico que el tallo requiere, y que, de acuerdo con Dickison (2000) se hace más eficiente al tener además otras estructuras como las fibras o el tejido vascular, en particular los vasos, que contribuyen al soporte total de la planta.

*Parénquima*. Células parenquimáticas medulares grandes en la raza Africana de *Amaranthus cruentus* y en las razas Azteca y Mixteca de *A. hypochondriacus*; de tamaño intermedio en la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y en la raza Nepal de *A. hypochondriacus* y pequeñas en las razas Mexicana de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus*. Carlquist (1988) señala que una mayor cantidad de parénquima proporciona mayor cantidad de espacio para el almacenamiento de agua en la planta.

Es posible que en las razas analizadas, en particular en las razas de *A. hypochondriacus* donde las células grandes corresponden con las plantas más grandes, el parénquima desempeñe una función similar y al tener mayor tamaño las células parenquimáticas pueden almacenar una mayor cantidad de agua y por consiguiente estas razas tienen una mayor disponibilidad de agua de reserva en sus tejidos y por tanto, mayor resistencia al estrés hídrico a diferencia de las otras razas.

*Contenidos celulares.* Los cristales de oxalato de calcio son escasos en las razas Africano y Mexicano y frecuentes en la raza Guatemalteco de *Amaranthus cruentus*; para las razas de *A. hypochondriacus* se encontraron principalmente en diferentes regiones del córtex, aun cuando en la raza Mercado no fue posible observarlos, sin embargo, eso no significa necesariamente que no estén presentes en alguna otra región del tallo. Carlquist (1988), menciona que la presencia de cristales de oxalato de calcio impide la predación de las plantas, en particular de las estructuras donde se encuentran; Metcalfe y Chalk (1989), mencionan que la producción de oxalatos de calcio neutraliza algunas sustancias no deseadas en la planta, también mencionan que los cristales pueden ser sustancias de reserva, los cuales son reintroducidos en el metabolismo cuando son necesarios, pueden ser utilizados por las plantas contra los herbívoros o bien pueden brindar soporte mecánico a los tejidos en tiempo de sequía. No obstante la presencia de los cristales de oxalato, *Amaranthus* es una planta que es susceptible de ser consumida por animales, por lo que es posible suponer que la presencia de los cristales no esté proporcionando alguna ventaja con respecto a la herbivoría; sin embargo, no se cuenta con suficiente información para poder asegurar este aspecto. Por otra parte, de acuerdo con lo que señalan Metcalfe y Chalk (1989) de una de las posibles funciones de los cristales de oxalato en plantas resistentes a las sequías, la presencia de los cristales estén contribuyendo al soporte mecánico de los tejidos, principalmente en la raza Guatemalteco donde otros caracteres como un córtex delgado y la presencia de fibras largas contribuyen en menor proporción al soporte que la planta requiere.

*Crecimiento secundario atípico.* Dentro de las diferentes modalidades que puede tener el crecimiento secundario, el tipo cámbium sucesivo es el que poseen las razas estudiadas, al igual que el resto de las especies de *Amaranthus*. Rajput y Rao (2000) denominaron al crecimiento secundario anómalo como *variante cambial*, debido a que es un tipo diferente de desarrollo del cámbium, sin embargo, esto no significa que sea anómalo para la planta. El crecimiento secundario atípico y sus diferentes tipos han sido analizados por numerosos autores, Joshi (1937), Baulfour (1965), Esau (1977), Metcalfe y Chalk (1979), Fahn y Zimmermann (1982), Carlquist (1988), Mauseth (1988), Rajput y Rao (1999), Dickison (2000), Rajput y Rao (2000), Costea y DeMason (2001). Todos coinciden en que las familias Chenopodiaceae, Nyctaginaceae y Amaranthaceae tienen el tipo particular de crecimiento secundario llamado cámbium sucesivo. Joshi (1937) y Esau (1977) quien incluye también a la familia Menispermaceae, señalan que en todas estas familias una serie de bandas cambiales surge sucesivamente más allá de la médula, cada banda produce haces vasculares con xilema hacia el interior y floema hacia el exterior, el floema y el xilema forman bandas embebidas en tejido parenquimático, o también llamado por Joshi (1937) tejido conjuntivo. En términos generales, este es el tipo de crecimiento secundario atípico que se observa en las razas de *A. cruentus* y de *A. hypochondriacus*, aún cuando se encontraron algunas modificaciones del patrón general propuesto por estos dos autores.

El anillo cambial más externo es más angosto en las razas de *Amaranthus cruentus* mientras que en las razas de *A. hypochondriacus* es mucho más grueso. De esta forma la región interfascicular para ambas especies alcanza los valores más altos en las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Mixteco de *A. hypochondriacus*, en las razas Africano de *A. cruentus* y Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* el tamaño de esta región es intermedio y para las razas Mexicano de *A. cruentus* y Nepal de *A. hypochondriacus* es más delgada. Por otra parte, la región fascicular externa de *A. cruentus* generalmente tiene un número muy similar de vasos por haz vascular, mientras que en *A. hypochondriacus* la raza Mixteco tiene el mayor número de vasos por haz y la raza Azteca el menor, en las otras dos razas el número de vasos por haz vascular es intermedio. En las razas Africano de *A. cruentus* y Mixteco de *A. hypochondriacus* los

elementos de vaso son cortos, de diámetro tangencial pequeño a intermedio, la mayoría de los vasos tiene engrosamientos pseudoescalariformes en sus paredes laterales, aún cuando también se observaron elementos con engrosamientos bordeados, además de fibras pequeñas. Las razas Mexicano de *A. cruentus* y Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* con elementos de vaso de tamaño y diámetro tangencial intermedio, engrosamientos generalmente pseudoescalariformes, aún cuando en la raza Azteca son más frecuentes los engrosamientos bordeados, para las tres razas el tamaño de las fibras varía desde cortas hasta largas, la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y la raza Nepal de *A. hypochondriacus* tienen elementos de vaso largos con el mayor diámetro tangencial, en la raza Guatemalteco los engrosamientos son principalmente de tipo bordeado y pseudoescalariforme, el tamaño de las fibras tiende a ser el mayor, mientras que en la raza Nepal los engrosamientos son simples, bordeados y pseudoescalariformes con fibras de tamaño intermedio. Carlquist (1988) menciona que los vasos con paredes gruesas brindan más soporte, sin embargo los engrosamientos permiten que los vasos sean flexibles, y evitan así posibles daños a la planta; también menciona que fibras cortas con paredes gruesas brindan mayor soporte, y por el contrario fibras largas con paredes ya sea delgadas o gruesas brindan menor soporte mecánico. De esta forma, se observa que en las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* hay una compensación para la flexibilidad y soporte debido a que aún cuando tienen fibras largas que proporcionan menor soporte, el contar con elementos de vasos con engrosamientos bordeados compensan el soporte que necesita la planta. Por otra parte para las razas Africano de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus* el tener fibras de tamaño pequeño les proporcionan soporte pero el tipo de engrosamientos pseudoescalariformes proporcionan la flexibilidad. Es importante señalar que, de acuerdo con Ángeles (comunicación personal), no podemos generalizar que exista un sólo tipo de elemento de vaso en una misma planta; por el contrario, se ha encontrado que los elementos de vaso pueden variar dependiendo de la posición y la función que ocupen en la planta, de tal forma que para estas razas, el tipo de engrosamientos pseudoescalariformes y bordeado son los que se encuentran con mayor frecuencia, pero no son los únicos, como se puede observar en la raza

Nepal de *A. hypochondriacus* donde también se describen elementos de vaso con engrosamientos simples.

Los anillos cambiales internos en la raza Africano de *Amaranthus cruentus* y en las razas Azteca, Mixteco y Nepal de *A. hypochondriacus* tienen zonas fasciculares lignificadas, para la primera raza con un número intermedio de vasos de diámetro tangencial intermedio, para las razas de *A. hypochondriacus* el número de vasos y el diámetro es variable, las razas Guatemalteco y Mexicano de *A. cruentus* y la raza Mercado de *A. hypochondriacus* con zonas fasciculares poco lignificadas, para todos los casos el número de vasos y el diámetro es también variable. Joshi (1937) hace mención de que el tamaño del cámbium y la naturaleza del tejido conjuntivo son variables entre los miembros de la familia y en diferentes partes de la misma planta. Metcalfe y Chalk (1979) mencionan que este tipo de crecimiento surge cuando los anillos o arcos de meristemo originan una sucesión de haces vasculares colaterales; el tejido conjuntivo entre los haces está constituido por parénquima no lignificado en algunas especies o lignificado en otras. Frecuentemente el tejido fundamental está completamente lignificado en ciertas regiones de crecimiento y en otras no; en algunas especies los haces individuales de un anillo de crecimiento están parcial o completamente conectados entre sí por tejido parenquimático lignificado interfascicular, mientras que zonas concéntricas de tejido parenquimático separan anillos de crecimiento consecutivos. Carlquist (1988) menciona que el parénquima parcial o completamente lignificado en el tallo y su distribución entre los fascículos o en las zonas interfasciculares es un factor más que brinda soporte mecánico a la planta. Costea y DeMason (2001), señalan que el cámbium fascicular produce xilema secundario y floema bidireccionalmente, mientras que el cámbium interfascicular genera solamente parénquima que se lignifica más tarde. Esta misma variación puede observarse en estas razas, donde las regiones fasciculares pueden lignificarse o no. Debido a que todas las razas de *Amaranthus* necesitan tanto flexibilidad como soporte, dada la altura que llegan a alcanzar (cuadros 2 y 3), estos tejidos contribuyen a dicha función y es posible que en las diferentes razas las estrategias de combinar tejido lignificado o no y número de vasos de diámetro variable estén contribuyendo al soporte que la planta

requiere, a excepción de la raza Africano de *A. cruentus* en donde el tamaño de la planta es menor pero tiene anillos cambiales lignificados o en la raza Mexicano donde se observa poca lignificación pero tiene la mayor altura por lo que la correlación en estas plantas es negativa; mientras que en las otras razas se observa una correlación positiva entre tamaño de la planta y grado de lignificación de los anillos cambiales.

### **Raíz**

Es evidente que el número de trabajos en los que la raíz ha sido estudiada es mucho menor, comparado con los del tallo, algunos de los autores que mencionan algo sobre ella son Joshi (1937), Metcalfe y Chalk (1979) y Costea y DeMason (2001). Joshi (1937) estudió la anatomía del tallo y la raíz de algunas especies de las familias *Amaranthaceae* y *Chenopodiaceae* y encontró que el tejido conjuntivo parenquimático es siempre más abundante en la raíz y el tejido conjuntivo fibroso es más abundante en el tallo, este autor también menciona que se considera a la raíz como un órgano conservativo, esto significa que el tejido conjuntivo parenquimático es más antiguo que el fibroso. Es así que, una planta que posee ambos tipos de tejido conjuntivo, cuando comienza a funcionar un nuevo cámbium primero produce tejido conjuntivo parenquimatoso y solamente después se va lignificando.

*Peridermis.* Aún cuando no es muy notoria, se observa una diferencia en el número de estratos celulares de la rizodermis, observándose pocos en la raza Mexicano de *Amaranthus cruentus* y en la raza Mercado de *A. hypochondriacus*, un número intermedio en las razas Africano y Guatemalteco de *A. cruentus* y Azteca y Nepal de *A. hypochondriacus*, mientras que para la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* se observa el mayor número de estratos. Esau (1977) y Mauseth (1988), mencionan que la peridermis es un tejido de protección secundario, que por lo regular reemplaza a la epidermis del tallo y de la raíz, la cual se desarrolla en las partes más viejas de estas estructuras, también mencionan que este tejido se forma como protección cuando un tejido interno es dañado o necrosado, como resultado de organismos patógenos o por daño mecánico. Casi todas las razas, como se observa en los cuadros 2 y 3 son susceptibles al ataque de plagas, sin embargo en las razas Azteca y Mixteco de *A.*

*hypochondriacus* aún no se ha registrado que tan susceptibles son a las plagas, por otra parte, es probable que una rizodermis mucho más delgada contribuya a que las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus* tengan una mayor susceptibilidad a ser atacadas que las otras razas, aún cuando la raza Nepal de *A. hypochondriacus* también sea susceptible a pesar de tener una rizodermis ligeramente más gruesa.

**Córtex.** La raza Africano de *Amaranthus cruentus* y la raza Nepal de *A. hypochondriacus* tienen un córtex angosto, con células pequeñas, la raza Guatemalteco de *A. cruentus* y las razas Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* tienen un tamaño intermedio del córtex, con células de tamaño mediano a grandes, para las razas Mexicano de *A. cruentus* y Mixteco de *A. hypochondriacus* el córtex es ancho con células que varían de tamaño; (en el caso del tallo la raza Mexicano también coincide con el córtex más ancho, mientras que para las otras razas esta relación es inversa). Aunado a esto, sólo la raza Mexicano de *A. cruentus* tiene tejido parenquimático de paredes engrosadas en algunas regiones alrededor de la raíz, las otras razas únicamente cuentan con un anillo de células parenquimáticas. De acuerdo con lo observado en el tallo y lo propuesto también por Metcalfe y Chalk (1979) y Dickison (2000) resulta evidente que para *A. cruentus* la raza Mexicano al tener una mayor altura necesita más soporte, pero también flexibilidad que es brindada por este tejido a la raíz, en comparación con las razas Africano y Guatemalteco que son de un tamaño menor, sin embargo en el caso de las razas de *A. hypochondriacus* no se observa esta característica, aún cuando la raza Mixteco tiene mayor envergadura no cuenta con tejido parenquimático adicional, por lo que es posible suponer que otros caracteres contribuyan al soporte y flexibilidad de ésta.

**Crecimiento secundario atípico.** Como en el caso del tallo, también se observa el crecimiento secundario de tipo *cámbium sucesivo*. Con anillos cambiales definidos en la raza Africano de *Amaranthus cruentus* y en las razas Azteca y Mercado de *A. hypochondriacus* y menos definidos en las otras razas de ambas especies. Joshi (1937) encontró que la renovación del cámbium casi completamente en anillos o grandes arcos

es una característica primitiva, y su renovación en pequeños segmentos hacia el exterior de las bandas del floema, formado por el cámbium precedente es un carácter derivado o avanzado. De esta forma, de acuerdo con este autor, la raíz de cada planta mantiene un estado primitivo con respecto al tallo de la misma planta. Costea y DeMason (2001) señalan que el cámbium sucesivo en la raíz forma anillos completos y concéntricos, mientras que en el tallo esto no es muy evidente. La condición mencionada por estos autores también se cumple para las razas analizadas, debido a que en la raíz son más evidentes los anillos cambiales y aún más en las razas Africano, Azteca y Mercado, mientras que en el tallo se observan segmentos del cámbium. Es posible que, como lo mencionan estos autores, en las razas de ambas especies el mayor desarrollo de los anillos sea una condición primitiva como se observa en la raíz y un menor desarrollo de los anillos es derivada como sucede en el tallo.

Las regiones interfasciculares varían en grosor entre las razas; anchas con células grandes en las razas Africano de *Amaranthus cruentus* y Nepal de *A. hypochondriacus*, en las razas Guatemalteco de *A. cruentus* y Mercado de *A. hypochondriacus* el grosor es intermedio y sus células son pequeñas, mientras que en la raza Mixteco de *A. hypochondriacus* el grosor también es intermedio pero con células grandes, para las razas Mexicano de *A. cruentus* y Azteca de *A. hypochondriacus* las regiones interfasciculares son angostas con células de tamaño pequeño a mediano. La región fascicular en general es lignificada para ambas especies excepto en la raza Mexicano de *A. cruentus* donde es poco lignificada. En cuanto a los vasos de las razas de *A. cruentus* Africano tiene pocos vasos por haz vascular de diámetro tangencial pequeño, Guatemalteco con un número intermedio de vasos de diámetro tangencial grande, y Mexicano en general con el mayor número de vasos por haz vascular de diámetro tangencial variable, en las razas de *A. hypochondriacus* el número y diámetro de los vasos es menos estable por lo que pueden tener desde muchos vasos en la periferia hasta pocos vasos en la zona medular como en el caso de la raza Mercado y con un diámetro de pequeño a intermedio. Al igual que como sucede en el tallo y de acuerdo con Joshi (1937) puede haber variación del tamaño del cámbium y de la naturaleza del tejido conjuntivo, aún en diferentes partes de la misma planta. De igual forma a lo

señalado por Costea y DeMason (2001) en el tallo, el cámbium fascicular produce tejido vascular, mientras que el cámbium interfascicular produce solamente parénquima que se va lignificando posteriormente. Por ende, es posible que en la raíz estos tejidos también estén cumpliendo la misma función que en el tallo, esto es, soporte y flexibilidad al mismo tiempo para la planta.

### VI.III Comparación entre las dos especies analizadas *Amaranthus cruentus* y *A. hypochondriacus*

Las diferencias observadas entre ambas especies aportan información acerca de los caracteres que permitirían diferenciarlas entre sí y probablemente entre otras especies del género *Amaranthus*.

La hoja es la estructura que proporciona una mayor cantidad de caracteres diferentes, con respecto al tallo y la raíz. Sandoval (1999) señala que los caracteres anatómicos de la hoja que tienen valor sistemático y son de significado filogenético potencial dentro de las angiospermas se pueden localizar en: ornamentación de la cutícula, epidermis, mesofilo, hipodermis, presencia y distribución de canales secretores y cristales, esclerénquima y patrones de venación. Medina (2004) establece que la hoja proporciona el mayor porcentaje de caracteres entre los que incluye la forma y grosor de las paredes anticlinales y las células intercostales, la frecuencia de los pliegues en los extremos de las células oclusivas, la distribución de las células del mesofilo en algunos haces vasculares, presencia de cristales de oxalato de calcio, número de vasos por haz vascular, tamaño y tipo de engrosamientos de los elementos de vaso, entre otros. En el caso de las especies de *Amaranthus* aquí analizadas, se encontró esta misma tendencia lo que significa que los caracteres de la hoja pueden ser considerados de importancia para futuros trabajos con *Amaranthus*.

Debido a que en la sección anterior de la discusión se hizo el análisis de cada uno de los caracteres en particular, en este apartado únicamente se establece el estado de carácter con el que se puede diferenciar entre *Amaranthus cruentus* y *A. hypochondriacus*.

#### Lámina

1. Tricomas. *Amaranthus cruentus* tiene una mayor frecuencia de tricomas con respecto a *A. hypochondriacus* donde son menos frecuentes.

2. Estomas. *Amaranthus cruentus* tiende a tener un índice estomático menor con respecto al de *A. hypochondriacus*.
3. Cámaras subestomáticas. Con mayor frecuencia son incospicuas en *Amaranthus hypochondriacus* mientras que en *A. cruentus* son evidentes.
4. Colénquima. Predomina el colénquima discontinuo de la vena media en *Amaranthus cruentus*, mientras que en *A. hypochondriacus* esto es menos frecuente. Para el pecíolo el colénquima de *A. cruentus* tiende a ser angosto, mientras que en *A. hypochondriacus* generalmente es ancho.
5. Mesofilo. El arreglo radial del tejido parenquimático alrededor de la vaina del haz tiende a ser más evidente en *Amaranthus cruentus*, mientras que en *A. hypochondriacus* es menos.
6. Contenidos celulares. *Amaranthus cruentus* tiene una cantidad menor de oxalatos de calcio, con respecto a *A. hypochondriacus*.

Tanto para el tallo como para la raíz, el crecimiento secundario atípico es un carácter de importancia. Como se señaló en párrafos anteriores Joshi (1937) hace referencia a que el tejido conjuntivo parenquimático es más antiguo que el fibroso, y que en una planta que posee tanto tejido parenquimático como esclerenquimático el cámbium primero produce tejido conjuntivo parenquimatoso y después forma el tejido esclerenquimático, y de acuerdo con lo observado en este trabajo *Amaranthus cruentus* tiene una mayor proporción de tejido parenquimático tanto en el tallo como en la raíz en comparación con lo observado en *A. hypochondriacus*. De acuerdo a Joshi (1937) esto significa que la condición de estas estructuras en *A. cruentus* es más primitiva, mientras que en *A. hypochondriacus* es derivada.

## Tallo

1. Epidermis. *Amaranthus cruentus* tiende a tener células epidérmicas de menor tamaño con respecto a *A. hypochondriacus*.
2. Contenidos celulares. Son más escasos en *A. cruentus* que en *A. hypochondriacus*.
3. Crecimiento secundario atípico. El número de vasos de la región fascicular externa en *Amaranthus cruentus* es muy homogéneo entre sus razas, mientras que puede ser más variable en *A. hypochondriacus*. Los engrosamientos de las paredes laterales de los elementos de vaso son más variables en *A. hypochondriacus*, aunado a esto también tiene una mayor predominancia de anillos cambiales internos lignificados, mientras que en *A. cruentus* predominan los no lignificados, y esto pudiera estar correlacionado positivamente con el tamaño del tallo de cada especie.

## Raíz

1. Peridermis. *Amaranthus hypochondriacus* tiene una mayor variabilidad en el grosor de la peridermis, mientras que en *A. cruentus* el grosor varía poco.
2. Córtex. *Amaranthus cruentus* puede o no tener un anillo de células parenquimáticas de paredes engrosadas en el córtex, mientras que en *A. hypochondriacus* está ausente.
3. Crecimiento secundario atípico. Los anillos cambiales pueden o no estar bien definidos en ambas especies. La región fascicular externa de *Amaranthus cruentus* tiende a estar lignificada, mientras que en *A. hypochondriacus* esta condición puede no presentarse, los vasos tienden a ser más angostos y cortos en *A. cruentus*, para *A. hypochondriacus* el grosor varía mucho más y se encuentran vasos más grandes.

## VII. Conclusiones

- Las diferentes técnicas histológicas utilizadas en las razas de las dos especies contribuyen para aportar información sobre los caracteres; sin embargo, se recomienda utilizar el método directo de inclusión en parafina con ATB porque se puede aplicar en todas las estructuras vegetativas lo que facilita el manejo del material biológico en cada etapa del procesamiento.
- De acuerdo con los resultados obtenidos la raza Africano de la especie *Amaranthus cruentus* tiene una mayor cantidad de caracteres anatómicos diferentes con respecto a las otras razas de ambas especies. Esta raza puede ser reconocida más fácilmente por sus caracteres anatómicos, lo que concuerda con su morfología ya que es la raza con el menor tamaño, y con su uso al ser la única que se consume exclusivamente como verdura.
- En el caso de las razas de *Amaranthus hypochondriacus* no hay una diferencia tan marcada entre los caracteres anatómicos hacia alguna de las razas en especial. Se observó que las razas Azteca y Mercado tienen un mayor número de caracteres diferentes, con respecto a las razas Mixteco y Nepal.
- Los resultados de este trabajo, en particular los de la hoja, coinciden con otros autores que mencionan que esta estructura es importante por la cantidad de información que puede proporcionar con respecto a los caracteres anatómicos que pueden ser utilizados para la diagnosis de estas especies.
- El índice estomático es un carácter importante porque permite diferenciar entre razas principalmente en la especie *Amaranthus cruentus*. Se debe confirmar este resultado con un muestreo más amplio.
- Al igual que en el resto de la familia Amaranthaceae, el crecimiento secundario atípico es un carácter importante. Entre las especies estudiadas se encontraron algunas diferencias que deben ser confirmadas con un muestreo más amplio.

- A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se sugiere realizar una segunda etapa, con los resultados obtenidos por Medina (2004) a partir de las mismas razas cultivadas en Montecillo Estado de México, lo que permitirá tener un muestreo más representativo y así poder sugerir cuales son los caracteres anatómicos vegetativos diferentes o de diagnóstico para cada raza y cada especie.
  
- También se sugiere realizar estudios anatómicos con individuos provenientes directamente del lugar de origen de las diferentes razas analizadas para diferenciar entre aquellos caracteres que sean producto de la influencia del medio donde fueron cultivados los ejemplares trabajados y aquellos caracteres establecidos genéticamente.
  
- Para las futuras investigaciones de la anatomía vegetativa de las especies de *Amaranthus* se sugiere utilizar únicamente aquellos caracteres que mostraron tener mayor importancia entre razas y entre especies.

## VIII. Bibliografía

- Bailey, I. W. 1954. The anatomical approach to the study of genera. *Chronica Botanica*. 14: 121-125.
- Balfour, E. 1965. Anomalous secondary thickening in Chenopodiaceae, Nyctaginaceae and Amaranthaceae. *Phytomorphology* 15: 111-122.
- Banerjee, G. 1980. Mature venation pattern in certain members of *Amaranthaceae*. *Flora*. 169: 104-110.
- Bardales, E. S. 1992. Comparación anatómica de 2 especies de *Amaranthus*. *A. hypochondriacus* L. y *A. cruentus* L. (Amaranthaceae). Tesis Licenciatura. UNAM. México. 126 pp.
- Barros, C. y M. Buenrostro. 1977. *Amaranto fuente maravillosa de sabor y salud*. Grijalbo. México. 158 pp.
- Black, C. C. and H. H. Mollenhauer. 1971. Structure and distribution of chloroplasts and other organelles in leaves with various rates of photosynthesis. *Plant Physiology*. 47: 15-23.
- Brown, W. V. 1975. Variations in anatomy, associations, and origins of Kranz tissue. *American Journal of Botany*. 62: 395-402.
- Byott, G. S. 1976. Leaf air space systems in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> species. *New Phytology*. 76: 295-299.
- Carlquist, S. 1988. *Comparative wood anatomy; systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Springer-Verlang. Berlin. 436 pp.
- Carolin, R. C., S. W. L. Jacobs and M. Vesk. 1978. Kranz cells and mesophyll in the Chenopodiales. *Australian Journal of Botany*. 26:683-698.
- Costea, M. and D. A. DeMason. 2001. Stem morphology and anatomy in *Amaranthus* L. (*Amaranthaceae*)- Taxonomic significance. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 128: 254-281.
- Cutler, D. F. 1978. *Applied plant anatomy*. Longman. Londres. 103 pp.
- Das, V. S. R. and M. Santakumari. 1977. Stomatal characteristics of some dicotyledonous plants in relation to the C<sub>4</sub> and C<sub>3</sub> pathways of photosynthesis. *Plant Cell Physiology*. 18: 935-938.

- Del Amo, S., A. L. Anaya, O. J. Jiménez y E. Fernández. 1986. Algunos aspectos ecológicos y económicos del amaranto ("Alegria"): un cultivo tradicional en México. En: *Cuatro estudios sobre sistemas tradicionales*. Instituto Nacional Indigenista. 55-73 pp.
- Dickison, W. C. 1989. Steps toward the natural system of the dicotyledons: Vegetative anatomy. *Aliso*. 12: 555-566.
- Dickison, W. C. 2000. *Integrative Plant Anatomy*. Academic Press. Harcourt. U.S.A. 533 pp.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants*. John Wiley and Sons. New York, E. U. 533 pp.
- Espinosa, O. G. y E. M. Engleman. 1998. *Breve recopilación de anatomía de semillas*. Colegio de postgraduados, Montecillo, Edo. de México, México. 45 pp.
- Espitia, R. E. 1992. Amaranth germplasm development and agronomic studies in Mexico. *Food Reviews International*. 8: 71-86.
- Espitia, R. E. 1994. Breeding of grain amaranth. In: Paredes-López O. *Amaranth: biology, chemistry and technology*. First. CRC. Press. Boca Raton Flo. 1-38.
- Fahn, A. and M. H. Zimmermann. 1982. Development of the successive cambia in *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Botanical Gazette*. 143: 353-357.
- Feine, L. B., R. R. Harwood, C. S. Kauffman and J. P. Senft. 1979. Amaranth, gentle giant of the past and future. In: *New Agricultural Crops*. Ed. Gary A. Ritchie AAAS. Selected Symposium. 41-63.
- Fisher, D. G. and R. F. Evert. 1982. Studies on the leaf of *Amaranthus retroflexus* (Amaranthaceae): Morphology and anatomy. *American Journal of Botany*. 69: 1133-1147.
- Gallaher, R. N., D. A. Ashley and R. H. Brown. 1975. <sup>14</sup>C-Photosynthate translocation in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants as related to leaf anatomy. *Crop Science*. 15: 55-59.
- Johansen, D. A. 1940. *Plant Microtechnique*. Mc Graw-Hill. New York, E. U. 523 pp.
- Johnson, H. B. 1975. Plant pubescence: an ecological perspective. *The Botanical Review*. 41: 233-258.
- Joshi, A. C. 1937. Some salient points in the evolution of the secondary vascular cylinder of Amaranthaceae and Chenopodiaceae. *American Journal of Botany*. 24: 3-9.

- Kauffman, C.S.** and C. Reider. 1984. Rodale amaranth germplasm collection. Rodale Res. Rep. 84/2 Rodale Pres.
- Kauffman, C.S.** 1992. The status of grain Amaranth for the 1990s. *Food Review International*. 8: 165-185.
- Knobloch, I. W.** 1973. The value of plant anatomy. *Taiwania*. 17: 42-44.
- Kulakow, P. A.** and S. K. Jain. 1990. Grain amaranth crop. Species, evolution and genetics. In: *Fourth National Amaranth Symposium. Perspectives on production, processing and marketing*. University of Minnesota Publication. 105-114.
- Laetsch, W. M.** 1968. Chloroplast specialization in dicotyledons possessing the C<sub>4</sub>-dicarboxylic acid pathway of photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation. *American Journal of Botany*. 55: 875-883.
- Mapes, C., J.** Caballero, E. Espitia and R. Bye. 1996. Morphophysiological variation in some Mexican species of vegetable *Amaranthus*: evolutionary tendencies under domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43: 283-290.
- Mapes, C.** 1997. Etnobotánica del "quintonil" conocimiento, uso y manejo de *Amaranthus* spp., en México. Tesis Doctorado. UNAM. México. 154 pp.
- Mauseth, J.** 1988. *Plant anatomy*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. U.S.A. 533 pp.
- Medina, A. A.** 2004. Descripción anatómica vegetativa de tres cultivares de *Amaranthus cruentus* L. y cuatro de *A. hypochondriacus* L. cultivadas en Montecillo Estado de México. Tesis Licenciatura. UNAM. México. 130 pp.
- Metcalf, C. R.** and L. Chalk. 1979. *Anatomy of the dicotyledons. Systematic anatomy of leaf and stem, with a brief history of the subject*. Clarendon Press-Oxford. Londres. Vol. I. 276 pp.
- Metcalf, C. R.** and L. Chalk. 1989. *Anatomy of the dicotyledons. Wood structure and conclusion of the general introduction*. Oxford University Press. New York. Vol. II. 282 pp.
- Padmini, S.** and S. R. Shanmukha. 1995. Structure, distribution and taxonomic importance of foliar stomata in some Indian Amaranthaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 118:149-161.
- Paredes, L. O.** 1994. *Amaranth: biology, chemistry and technology*. CRC Press. Boca Ratón, E. U. 217 pp.

- Radford, A. E., W. C. Dickison, J. R. Massey and C. R. Bell. 1994. *Vascular Plant Systematics*. Harper and Row Publishers, New York, E. U.
- Rajput, K. S. and K. S. Rao. 1999. Structural and developmental studies on cambial variant in *Pupalia lappacea* (Amaranthaceae). *Annals Botanical Fennici* 36: 137-141.
- Rajput, K. S. and K. S. Rao. 2000. Secondary growth in the stem of some species of *Alternanthera* and *Achyranthes aspera* (Amaranthaceae). *IOWA Journal*. 21:417-424.
- Rajput, K. S. 2001. Secondary growth of the stem of *Celosia argentea* L. and *Aerva sanguinolenta* (L.) Blume (Amaranthaceae). *Phyton (Horn, Austria)*. 41: 169-177.
- Rathnam, C. K. M., A. S. Raghavendra and V. S. Rama Das. 1976. Diversity in the arrangements of mesophyll cells among leaves of certain C<sub>4</sub> dicotyledons in relation to C<sub>4</sub> physiology. *Zell Pflanzenphysiol.* 77: 283-291.
- Ruzin, S. E. 1999. *Plant Microtechnique and Microscopy*. Oxford University Press. New York, E. U. 176 pp.
- Sage, R. F. and R. K. Monson. 1999. *C<sub>4</sub> Plant Biology*. Academic Press. California, E. U. 597 pp.
- Sandoval, Z. E. 1999. Anatomía foliar y análisis numérico del clado *Lophiaris* y géneros relacionados (Orchidaceae: Oncidiinae). Tesis Maestría. UNAM. México. 109 pp.
- Santín, H. C., S. Lazcano y J. M. de León. 1986. Pasado, presente y futuro del amaranto. *Cuadernos de Nutrición*. 1:17-32.
- Sass, J. E. 1961. *Botanical Microtechnique*. Iowa. E. U. 228 pp.
- Sauer, J. D. 1950. The grain Amaranths: a survey of their history and classification. *Annals Missouri Botanical Garden*. 37: 561-632.
- Sauer, J. D. 1967. The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals Missouri Botanical Garden*. 54: 103-137.
- Stephenson, R. A., R. H. Brown and D. A. Ashley. 1976. Translocation of <sup>14</sup>C-labeled assimilate and photosynthesis in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> species. *Crop Science*. 16: 285-288.

- Stace, C. A.** 1984. The taxonomic importance of the leaf surface. In: *Systematics Association Special*. Vol. 25. Current concepts in the plant taxonomy. Heywood V. H. and Moore D. M. Edits. Academic Press, London.
- Stuessy, T. F.** 1990. *Plant Taxonomy. The systematic evaluation of comparative data*. Tomo II. Columbia University Press, New York.
- Usuda, H., R. Kanai and Takeuchi.** 1971. Comparison of carbon dioxide fixation and the fine structure in various assimilatory tissues of *Amaranthus retroflexus* L. *Plant and Cell Physiology*. 12: 917-930.
- Willmer, C. M.** 1983. *Los estomas*. Librería Agropecuaria. Argentina. 192 pp.
- Zindler, E.** 1976. Oxalate Biosynthesis in relation to photosynthetic pathway and plant productivity – a survey. *Zell Pflanzenphysiol*. 80: 1-13.