

Observaciones sobre la epidermis foliar de *Zea mays* L. al microscopio electrónico de rastreo

por

Eugenia M. Flores*, Ana M. Espinoza** y Y. Kozuka***

(Recibido para su publicación el 22 de febrero de 1977)

Abstract: Electron microscopic scanning of the adaxial leaf epidermis of *Zea mays* L. showed several kinds of hairs: macro-hairs on the veins, micro-hairs in the costal and intercostal zones and prickle hairs in the intercostal zones. Macro-hairs are lacking in the abaxial surface. The leaf is amphistomatic and stomata as well as short cells of various shapes (lenticular, crenate and tetralobulate) are restricted to the intercostal areas; the short cells form lines along the adaxial and abaxial (lower) intercostal zones as do the stomata in the abaxial surface. Small hollows of unknown origin and function, which alternate with the silica cells, are reported for the first time in this plant.

The leaf sheath shows rectangular epidermal cells with linear cell walls in the intercostal zones; it is covered by a striated cuticle. Stomata are scarce and are morphologically similar to those of the blade. Silica cells of variable shape are present abaxially. Abaxial costal zones are similar to those of the abaxial leaf blade, although the leaf sheath is almost glabrous.

La morfología foliar del maíz es conocida gracias a la importancia económica de esta planta. Los trabajos de **Campbell** (1881), **Chrysler** (1906), **Duval-Jouve** (1875), **Grob** (1896), **Hayward** (1938), **Pée-Laby** (1898) y **Warncke** (1911) ofrecieron la información preliminar sobre la estructura foliar de *Zea* que luego fue recogida y ampliada en el tratado de Gramineae de **Metcalfe** (1960). El conocimiento actual sobre la morfología de la hoja de esta especie se basa fundamentalmente en observaciones realizadas al microscopio de disección o al microscopio de luz.

* Centro de Virología y Fisiología Celular y Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

** Centro de Virología y Fisiología Celular y Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

*** Unidad de Microscopía Electrónica, Universidad de Costa Rica.

MATERIAL Y METODOS

Las hojas de *Zea mays* L. empleadas en esta investigación se colectaron en la Estación Experimental Fabio Baudrit, Alajuela, y en los invernaderos de la Escuela de Fitotecnia, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, durante los meses de julio a diciembre de 1976.

Se fijó el material en gluteraldehído al 4%, en un amortiguador de cacodilato de sodio 0,05 M, pH 7,0 durante 12 horas a 23 C o en FAA durante 48 horas. Después de la fijación el material se deshidrató mediante series de etanol y se transfirió a una solución 1:1 de acetato de amilo y etanol absoluto y luego a acetato de amilo puro. Los especímenes se sonicaron durante 2 ó 3 segundos en un sonicador Sharp VT-52 para eliminar las impurezas de la superficie foliar. Las secciones se llevaron hasta el punto de secado crítico con CO₂ en una secadora Hitachi HCP-1. Se montaron los cortes en soportes de aluminio empleando una cinta de doble superficie adhesiva y pintura de plata. Los especímenes se colocaron en un cobertor iónico EIKO modelo IB-3, donde se cubrieron con una película de oro, observándose luego el material en un microscopio electrónico de rastreo Hitachi HHS-2R. Las fotografías se tomaron con película Verichrome Pan Kodak VP120.

RESULTADOS

Observaciones generales: La hoja del maíz se diferencia en una conspicua y larga lámina, separada adaxialmente de la vaina envolvente por una lígula membranosa. Los márgenes laterales de la lámina son más o menos paralelos, excepto en el extremo distal del órgano y se encuentran poblados de agudos tricomas unicelulares de 300 a 320 μm de longitud (Fig. 1). A lo largo del margen, separados por 6 ó 7 tricomas del tipo descrito, se localizan tricomas de menor talla (85 a 90 μm); su posición con frecuencia coincide con la de los tricomas largos adaxiales, cuya longitud oscila entre 1,5 y 1,6 mm (Fig. 1), que se desarrollan próximos al margen.

La venación es estriada (Foster y Gifford, 1975) y la vena media se proyecta abaxialmente al igual que las venas laterales menores; éstas se unen transversalmente por medio de pequeñas venas comisurales que delimitan las areolas o isletas, formando un retículo inconspicuo a lo largo de la lámina.

Superficie adaxial (haz) de la lámina: La lámina se divide longitudinalmente en zonas costales (venas) e intercostales (áreas entre venas) debido al tipo estriado de venación (Figs. 2 y 3). El arreglo y forma de las células es diferente en las dos zonas, aunque siempre el eje mayor de las células es paralelo al eje longitudinal de la hoja. En las zonas costales, las células son largas y las paredes celulares presentan ondulaciones angostas y profundas. La distancia a la cual aparecen los macropelos sobre las venas (Figs. 2 y 3) no es constante. Estos tricomas están constituidos por una base unicelular protuberante y conspicua (Figs. 3 y 4) y una larga célula distal; la longitud del macropelo es de 1,2 a 1,3 mm aproximadamente. A mayor magnificación se observa que en las áreas comprendidas entre dos macropelos se localizan dos tipos de tricomas situados a ambos lados de la vena (Fig. 5). El primer tipo es robusto, agudo, ganchudo y de base ensanchada. Este tricoma mide de 80 a 90 μm . El segundo tipo presenta el extremo distal ensanchado, es bicelular, de menor talla que el anterior (50 a 60 μm) y tiene una apariencia glandular (Fig. 5).

Las células epidérmicas de las áreas intercostales presentan paredes con

ondulaciones profundas y cerradas (Fig. 6) del tipo omega de **Dilcher** (1974). Dos tipos de tricomas alternan en la superficie de estas zonas: micropelos bicelulares de 50 a 55 μm de largo (Fig. 7) y tricomas ganchudos de base dilatada cuya longitud oscila entre 42 y 45 μm (Fig. 8). El número de estomas en las zonas intercostales de hojas maduras es de 50 a 60 por mm^2 ; este número varía moderadamente en diferentes partes de la lámina y no existe un patrón definido de distribución. Cada estoma está constituido por un par de células oclusivas que se angostan hacia el centro del eje longitudinal del estoma y 2 células subsidiarias triangulares (Fig. 9), según la nomenclatura de **Metcalfe** (1960). El poro estomático tiene una longitud de 27 a 30 μm y sus bordes externos e internos son conspicuos y lisos; hacia el interior el poro se angosta disminuyendo la abertura (Fig. 9).

Las células cortas se encuentran en líneas; la mayoría de ellas muestra cuerpos silíceos y exhibe una morfología distorsionada semejante a una hoja de trébol de 4 foliolos (Fig. 10). Estas células silíceas alternan linealmente con células cortas que se encuentran a nivel inferior y en muchos casos parecen alternar con espacios vacíos (Fig. 10).

Superficie abaxial (envés) de la lámina: Las células epidérmicas que se encuentran sobre las venas son de menor longitud pero más anchas que aquellas de las zonas intercostales. No se observó macropelos sobre las venas y el único tipo de tricoma a los lados de las mismas es un micropelo ganchudo y de base dilatada (Fig. 11) que guarda estrecha semejanza con el tricoma ganchudo registrado en la superficie adaxial (Fig. 8). La longitud del primero oscila entre 100 y 110 μm .

Las áreas intercostales presentan células epidérmicas similares a las de la superficie adaxial (Figs. 11 y 12). El micropelo bicelular balaniforme representa el tipo único de tricoma observado en estas zonas; su talla varía entre 50 y 55 μm . Estos tricomas a menudo forman líneas y pueden localizarse en las proximidades de las venas (Fig. 11). Los estomas son del mismo tipo observado en la haz (Figs. 11, 12 y 13) y sus dimensiones son equivalentes a las de aquellos. El número de estomas se eleva a 75 u 80 por mm^2 en esta superficie.

Las células cortas pueden clasificarse en dos tipos: a) células muy pequeñas cuya forma semeja un par de lentes (Fig. 13) y que corresponden a las células en forma de pesa de gimnasia o "dumb-bell shaped" de **Metcalfe** (1960); y b) células de sílice de mayor talla, de forma crenada o tetralobulada. Las células cortas, al igual que en la haz, alternan con células situadas a nivel inferior o con espacios vacíos (Fig. 14) en los que con frecuencia se observa algún depósito de material de naturaleza desconocida; en apariencia este material también se deposita sobre las paredes externas de las células epidérmicas vecinas.

Morfología de la vaina: La venación de la vaina es también del tipo estriado. Los detalles morfológicos de las zonas costales en la superficie abaxial corresponden a los de las venas en el envés de la lámina; las zonas costales de la superficie adaxial son casi glabras.

Las células epidérmicas de las áreas intercostales son rectangulares y de paredes lineales (Fig. 15) y la cutícula que las cubre muestra finas estriaciones (Figs. 15 y 16). La vaina exhibe el mismo tipo estomático que caracteriza la lámina; sin embargo, el poro es más pequeño (20 a 23 μm) y muestra menos reducción hacia el interior (Fig. 16). Las células subsidiarias son redondeadas y difieren del patrón triangular común en las células estomáticas de la lámina (Figs. 9 y 13). El número de estomas es sustancialmente inferior al registrado en la haz y el envés de la lámina. No se observó células cortas adaxiales.

La superficie abaxial presenta células epidérmicas levemente onduladas y un único tipo de tricoma bicelular en las áreas intercostales, cuya talla oscila entre 40 y 50 μm . Los estomas pertenecen al tipo que caracteriza la superficie adaxial de la lámina (Fig. 17) y su tamaño es muy semejante. Las células de sílice son de forma variada (lenticular, crenada o tetralobulada) y forman líneas bastante definidas a lo largo de la vaina (Fig. 18). Los espacios o depresiones alternantes con las células cortas son de nuevo observables en esta superficie (Fig. 18).

DISCUSION

En el análisis de la estructura del borde de la lámina destaca el arreglo de tricomas puntiagudos de diferente longitud, ásperos al tacto y cortantes. El tipo estriado de venación y la distribución de la lámina y la vaina en zonas costales e intercostales son típicos de las gramíneas (Metcalf, 1960) y no merecen comentario; por el contrario la ondulación tipo omega de las paredes celulares de la epidermis intercostal induce a pensar en un posible significado fisiológico de este carácter morfológico, ya que el ondulado de la pared podría al menos corresponder al ondulado de la membrana plasmática y por tanto permitiría un aumento del área de reacción química de la célula. El estudio detallado de la ultraestructura de estas células podría contribuir a dilucidar la validez de esta hipótesis.

La superficie adaxial de la lámina exhibe mayor número de tricomas que el envés. Los macropelos no se observaron abaxialmente, lo que coincide con las observaciones de Metcalf (1960). El micropelo de tipo ganchudo, presente en ambas superficies foliares, cae dentro de la categoría de micropelos en forma de espina ("prickle hairs" de Metcalf); sin embargo, Metcalf no observó este tipo de tricoma en *Zea*, lo que difiere de nuestras observaciones.

La hoja es anfiestomática y el mismo tipo de estoma está presente en ambas superficies foliares. El número de estomas es mayor en el envés y los estomas tienden a formar líneas en esa superficie. No se observó el tipo de estoma descrito por Warncke (1911) en la superficie adaxial de la vaina. Las células subsidiarias de los estomas localizados abaxialmente en la vaina muestran más afinidad con las descritas por Metcalf (1960) en *Sorghum halapense*, la diferencia observada entre estos y los estomas adaxiales de la vaina se debe en parte al diferente estado fisiológico en que fueron fotografiados.

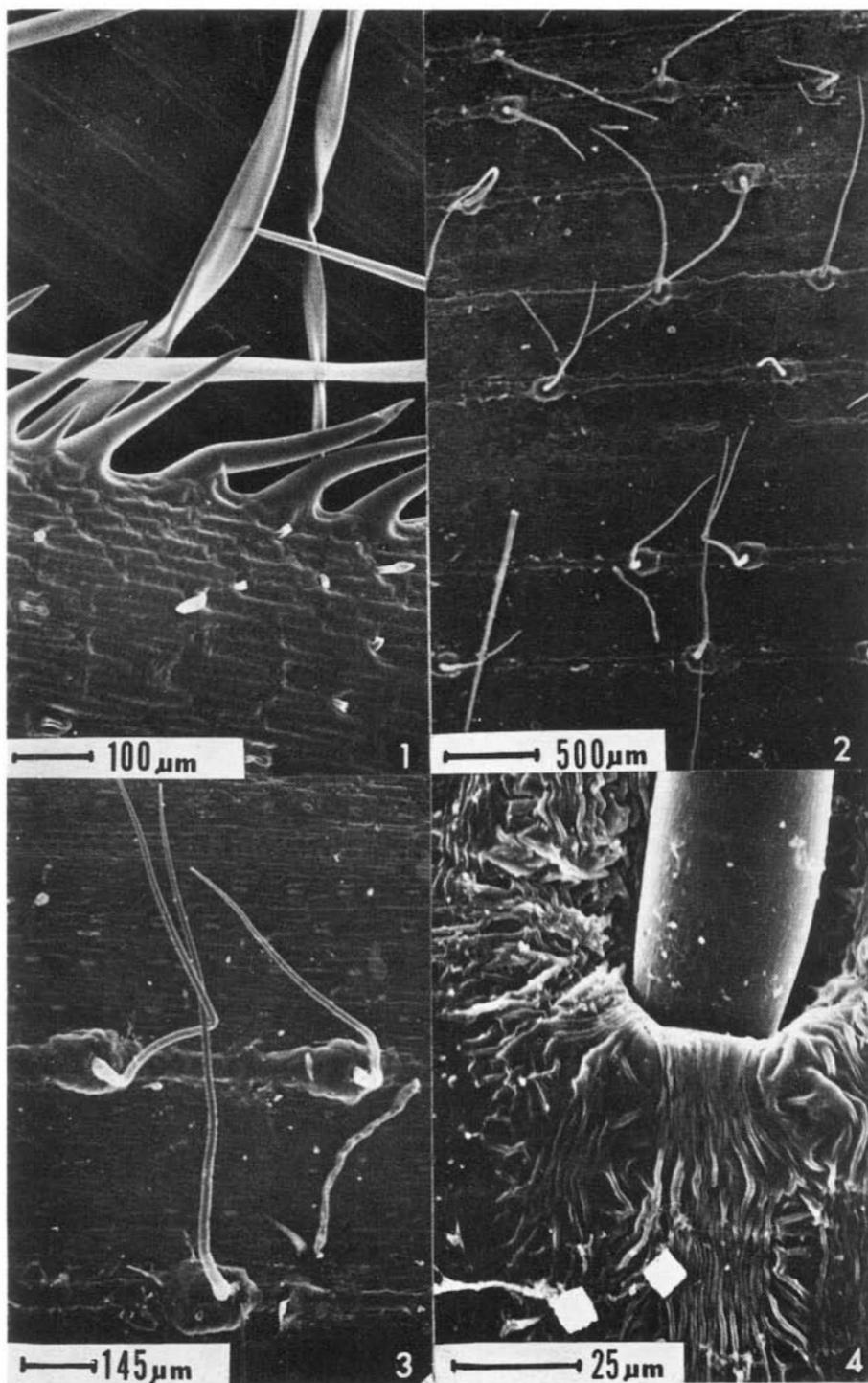
Los espacios vacíos o depresiones que alternan con las células silíceas no han sido descritos con anterioridad y merecen estudio especial a fin de determinar su origen y sus posibilidades como vías de penetración foliar. La pérdida de células en estado natural no es frecuente excepto en glándulas o estructuras afines, y por lo tanto es más factible suponer que en esas depresiones las células ocupan un nivel más profundo que permite la formación de la cavidad. El origen, estructura y función de estas cavidades son aún desconocidas.

Fig. 1. Vista abaxial del margen de la lámina foliar, mostrando los diferentes tipos de tricomas.

Fig. 2. Distribución de la lámina en áreas costales e intercostales en la superficie adaxial.

Fig. 3. Detalle de las zonas costales y de la posición y forma de los macropelos.

Fig. 4. Ampliación de la base de un macropelo mostrando la inserción de la célula distal y las estriaciones cuticulares en la célula basal.



AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada en la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad de Costa Rica, establecida con el apoyo de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) del Gobierno del Japón y financiada por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

RESUMEN

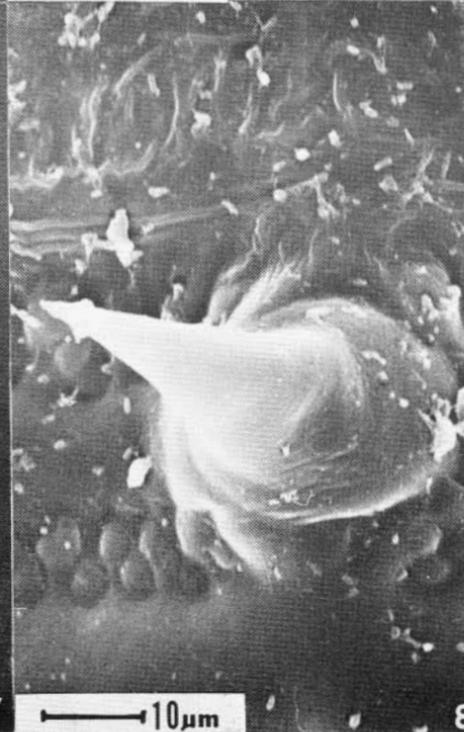
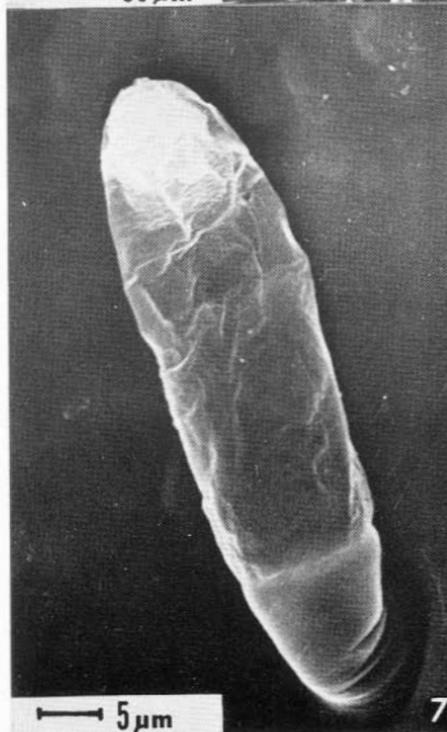
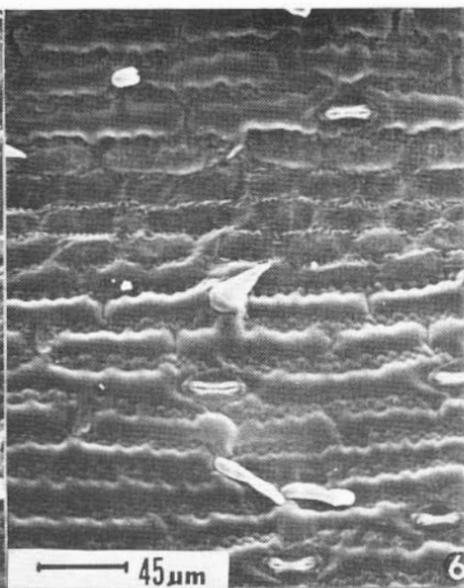
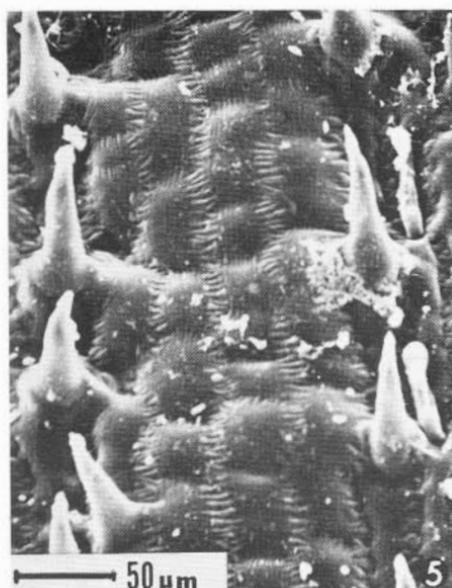
Al microscopio electrónico de rastreo, la haz de *Zea mays* muestra: macropelos sobre las venas, micropelos en las zonas costales e intercostales y pelos ganchudos en las zonas intercostales. No hay macropelos en la superficie abaxial. La hoja es anfiestomática y los estomas, así como las células cortas de forma variada (lenticular, crenada y tetralobulada) están limitados a las áreas intercostales; las células cortas forman líneas a lo largo de las zonas intercostales adaxiales y abaxiales, al igual que los estomas en la superficie abaxial. Pequeñas depresiones de origen y función desconocida alternan con las células silíceas. Estas depresiones son descritas por primera vez en esta planta.

La vaina foliar muestra células epidérmicas rectangulares con paredes lineares en las zonas intercostales; la cutícula de estas áreas es estriada. Los estomas son escasos y son morfológicamente similares a los de la lámina. Hay en el envés células silíceas de forma variable. Las zonas costales abaxiales son similares a las del envés de la lámina, aunque la superficie de la vaina es casi glabra.

REFERENCIAS

- Campbell, V. H.
1881. On the development of the stomata of *Tradescantia* and Indian corn. *Amer. Nat.*, 15: 761-766.
- Chrysler, M. A.
1906. The nodes of grasses. *Bot. Gaz. (Crawfordsville)*, 41: 1-16.
- Dilcher, D. L.
1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. *Bot. Rev. (Lancaster)*, 40: 1-157.
- Duval-Jouve, J.
1875. Histotaxie des feuilles de Graminées. *Ann. Sci. Nat. Bot. Sér. 6*, 1: 294-371.
- Foster, A. S., & E. M. Gifford
1974. *Comparative morphology of vascular plants*. W. H. Freeman, San Francisco.
- Grob, A.
1896. Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. *Biblioth. Bot.* 7, 36: 1-107.

-
- Fig. 5. Zona costal adaxial, mostrando el detalle de las células epidérmicas y los dos tipos de tricomas localizados a ambos lados de la vena.
- Fig. 6. Zona intercostal adaxial, exhibiendo las ondulaciones tipo omega de las células epidérmicas, estomas y tricomas ganchudos y bicelulares.
- Fig. 7. Tricoma bicelular de las áreas intercostales mostrando las dos células.
- Fig. 8. Tricoma ganchudo de base dilatada que se encuentra en las zonas intercostales.



Hayward, H. E.

1938. *The structure of economic plants*. Macmillan, New York.

Metcalf, C. R.

1960. *Anatomy of the Monocotyledons I. Gramineae*. Clarendon Press, Oxford Press.

Pée-Laby, E.

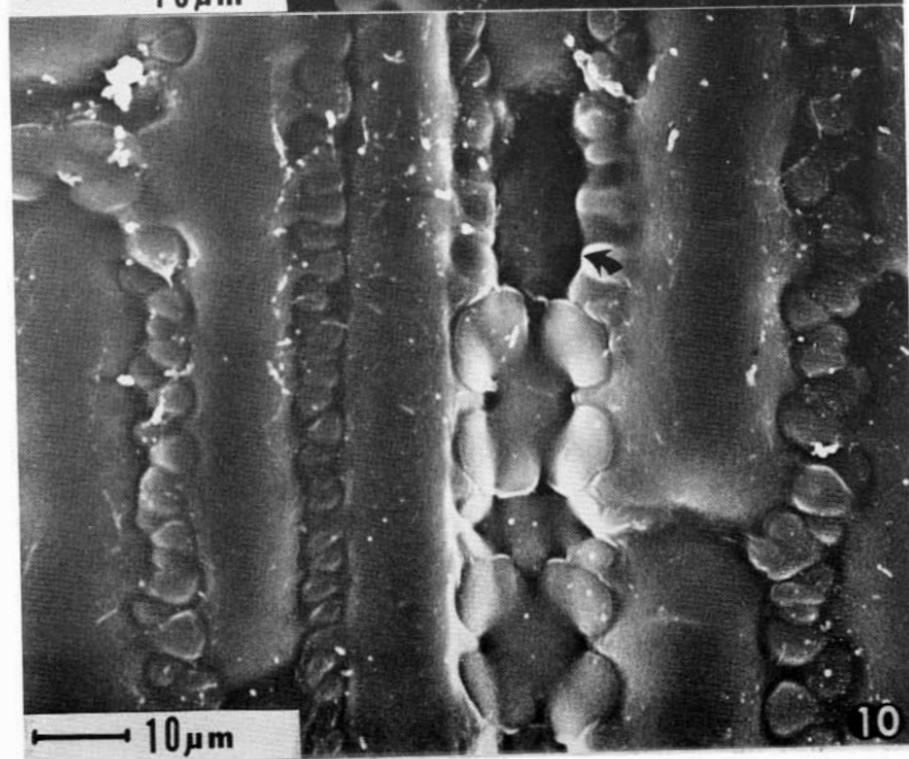
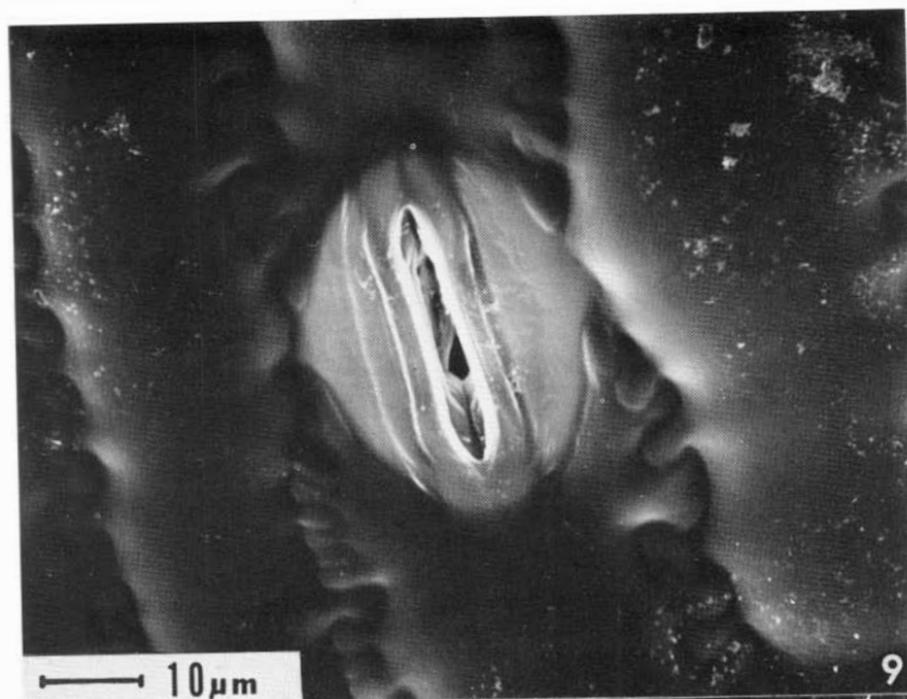
1898. Etude anatomique de la feuille des Graminées de la France. *Ann. Sci. Nat. Bot. Sér. 8*, 8: 227-346.

Warncke, F.

1911. Neue Beiträge zur Kenntnis der Spaltöffnungen. *Jahrb. Wiss. Bot.*, 50: 21-66.

Fig. 9. Estoma en la superficie adaxial de la lámina foliar, mostrando la forma triangular de las células subsidiarias y el angostamiento del poro hacia el interior de la cavidad.

Fig. 10. Células cortas formando una línea en la superficie del haz. Las células silíceas de forma tetralobulada alternan con células más cortas y con una de las depresiones o cavidades mencionadas.



- 
- Fig. 11. Detalle de la superficie abaxial de la lámina mostrando las zonas costales (venas), las zonas intercostales y los tricomas ganchudos a los lados de la vena.
- Fig. 12. Zona intercostal abaxial, exhibiendo los tricomas bicelulares balaniformes y los estomas.
- Fig. 13. Estoma del envés y células cortas de forma lenticular.
- Fig. 14. Células silíceas abaxiales de forma distorsionada alternando con espacios vacíos o depresiones.

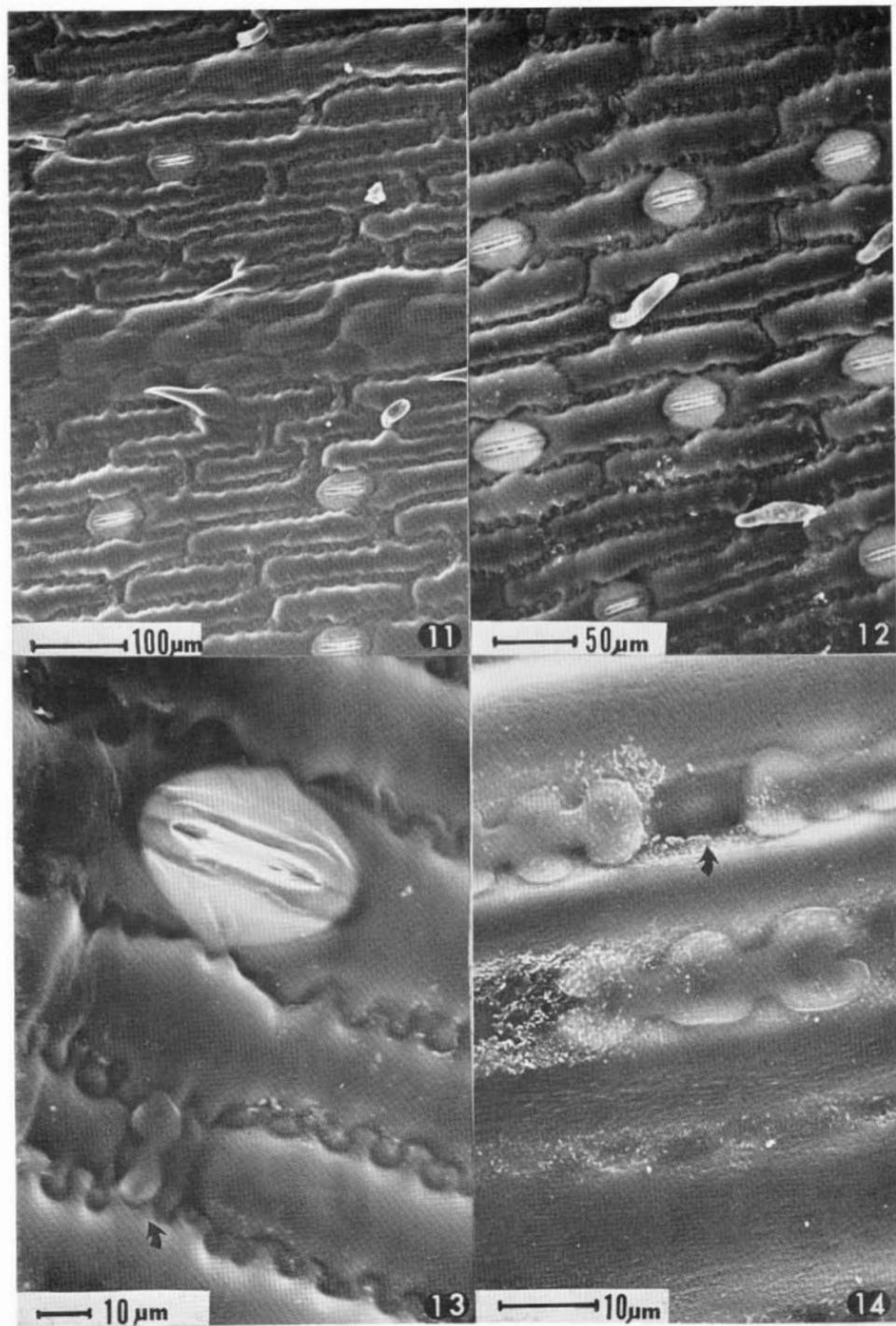


Fig. 15. Células epidérmicas de forma rectangular en la superficie adaxial de la vaina, exhibiendo estrías cuticulares en la pared externa.

Fig. 16. Estoma localizado en la superficie adaxial de la vaina.

Fig. 17. Estoma localizado en la superficie abaxial de la vaina.

Fig. 18. Células silíceas de forma variada e irregular en la superficie abaxial de la vaina.

