Acta Farm. Bonaerense **25** (4): 526-32 (2006)
Recibido el 22 de abril de 2006
Aceptado el 16 de junio de 2006

Morfología y Anatomía Foliar de "Yacón", *Smallanthus sonchifolius* (Asteraceae), con Fines de Control de Calidad

María I. MERCADO [1] *, Graciela I. PONESSA [2] & Alfredo GRAU [1]

[1] *Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Cátedra de Introducción a la Botánica. Miguel Lillo 205. S. M. de Tucumán (4000), Tucumán, Argentina.*

[2] *Fundación Miguel Lillo. Área Botánica, Instituto de Morfología Vegetal. Miguel Lillo 205 Laboratorio 32. S. M. de Tucumán (4000), Tucumán, Argentina.*

RESUMEN. Se determinaron caracteres con valor diagnóstico en hojas maduras de plantas de *Smallanthus sonchifolius* para el control de calidad. Estas hojas son empleadas como té con fines medicinales. La lámina de la hoja de *S. sonchifolius* presenta los siguientes caracteres con valor diagnóstico: ápice acuminado, base truncada a sagitada, margen dentado-serrado con seriación compuesta; venación primaria acródroma y venación secundaria camptódroma broquidódroma, estomas anomocíticos, células epidérmicas con paredes anticlinales sinuosas, células de empalizada en forma de H, tricomas glandulares, eglandulares, estructura de la vena primaria con colénquima subepidérmico adaxial y abaxial y presencia de conductos esquizógenos y contenidos lipídicos.

SUMMARY. "Foliar Morphology and Anatomy of Yacón, *Smallanthus Sonchifolius* (Asteraceae), with Quality Control Aims". Value diagnosis characters were determined for the quality control of *Smallanthus sonchifolius* mature leaves, which are used as medicinal tea. The leaf blade of *S. sonchifolius* presents the following diagnosis characters: acuminate apex, truncate to sagittate base, denticled margin with compound seriation; acrodrome primary venation and camptodrome brochidodrome secondary venation, anomocytic stomata, epidermic cell with sinuous anticlinal walls, palisade H-shaped cells, glandular and eglandular trichomes, primary vein structure with subepidermal collenchyma, and presence of schizogenous secretory cavities and lipidic contents.

INTRODUCCIÓN

Smallanthus sonchifolius (Poeppig & Endlicher) H. Robinson (Asteraceae, tribu Heliantheae), conocido vulgarmente como "yacón" (Fig. 1), es una especie originaria de Bolivia y Perú, cultivada para el consumo de sus raíces en la región Andina desde Colombia hasta el noroeste de Argentina [1].

Recientemente fue introducido con éxito en el mercado Europeo, Nueva Zelanda, Japón, USA y Brasil [2,3]. En estos países se desarrolla una industria creciente del cultivo de yacón, apuntando a sus propiedades dietéticas y medicinales.

Sus raíces son utilizadas como suplementos dietarios y alimentos funcionales; al acumular fructooligosacáridos (FOS) en lugar de almidón, no elevan el nivel de glucosa en sangre, presentan propiedades prebióticas y actúan como fibra dietaria, razón por la cual se consideran como un alimento ideal para personas diabéticas y con sobrepeso [4,5].

Figura 1. Croquis de ubicación, Argentina, Tucumán, Horco Molle, donde se encuentra el cultivo en el centro universitario (CUHM – UNT).

Recientemente comenzó en Japón, exten-

PALABRAS CLAVE: Anatomía, Asteraceae, Foliar, *Smallanthus,* Yacón.
KEY WORDS: Anatomy, Asteraceae, Foliar, *Smallanthus,* Yacón.

* Autor a quien dirigir la correspondencia. *E-mail:* mainesmer@yahoo.com.ar.

ISSN 0326-2383

diéndose luego al resto del mundo, el uso de las hojas secas de yacón en la preparación de infusiones medicinales para combatir la diabetes tipo II (no insulino-dependiente) [6]. Se demostró que el extracto acuoso preparado con hojas secas de yacón produce efecto hipoglucemiante en ratas normales y diabéticas [7] y la reducción de la producción de glucosa en hepatocitos [8].

De las hojas de *S. sonchifolius* se aislaron compuestos de naturaleza sesquiterpénica, flavonoides y trazas de FOS [9]. Del extracto metanólico foliar se aisló ácido kaurénico y compuestos relacionados [10]; cuatro lactonas sesquiterpénicas del tipo melanpolido con actividad antifúngica y antibiótica (enidrina, uvedalina, sonchifolina y polimatina B) [11,12] y cuatro glicero glicolípidos con propiedades insecticidas [13].

El compuesto sesquiterpénico llamado enidrina muestra actividad antiinflamatoria [14], antifúngica y antimicrobiana [11], y es también un agente antibiabético patentado como componente de formulaciones farmacéuticas en Japón [15]. Schorr & Da Costa [3] sugieren que este compuesto proviene, presumiblemente, de los tricomas glandulares de hojas intactas de *S. sonchifolius,* teniendo en cuenta que las lactonas sesquiterpénicas se producen y almacenan en estas estructuras epidérmicas de numerosas Asteraceae [16,17].

Como cultivo nuevo para la agronomía y la botánica, existen todavía muchos aspectos poco explorados del yacón. El objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización morfológica y anatómica de la especie ya que existen escasas referencias en la literatura [10,18-20]. Estudios de este tipo pueden ser relevantes tanto en el control de calidad del té medicinal elaborado con hojas de yacón, como en la separación y caracterización de los principios activos presentes y en la evaluación adecuada de sus efectos sobre los seres humanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

Se estudiaron hojas de *S. sonchifolius* (clon LIEY 97-1) cultivados en el Centro Universitario Horco Molle (CUHM), Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina 26° 47'S, 65° 19'W a 547 msm (Fig. 2). De tres individuos se seleccionaron hojas maduras de la zona media del eje principal (4º par de hojas desde el ápice) durante los meses 4º y 5º del inicio del cultivo (enero y febrero) de los años 2004 y 2005.

Figura 2. Aspecto general de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, en el cultivo.

Parte del material fue herborizado e incorporado al Herbario de la Fundación Miguel Lillo (LIL) Exiccata: *S. sonchifolius* Argentina, Prov. Tucumán. Dpto. Yerba Buena, 03-01-05, Mercado y Ponessa s/nº (LIL 607173, 607174, 607175, 607176).

Microscopía

La descripción de la arquitectura foliar se realizó con la terminología según Hickey [21]. Para los estudios de venación se realizaron diafanizados empleando la técnica de Dizeo de Strittmatter [22] y los disociados de acuerdo a Schulze [23].

Para la observación con microscopio óptico (MO) Wild M 20 con ocular micrométrico, se fijó el material en FAA (formol, alcohol etílico, ácido acético, agua, 100:500:50:350 ml). Por un lado, se realizaron cortes histológicos a mano alzada. Por otra parte, se incluyó material en parafina según Johansen [24]. Del material incluido se realizaron cortes de 5-10 µm de espesor con un micrótomo rotativo Minot y un ultramicrótomo con cuchilla de diamante. Se utilizó coloración simple con safranina o violeta de cresilo y coloración combinada sucesiva doble safranina-fast green [25]. Se efectuaron pruebas histoquímicas con sudán III y IV para lípidos. Los dibujos y esquemas se realizaron con cámara clara y la simbología utilizada corresponde a Metcalfe & Chalk [26]. Las fotografías se obtuvieron con una cámara digital Canon PowerShot A 310, 3.2 Mega pixeles, lentes de 5 mm 1:3.6.

De cada hoja se seleccionaron en la porción media de la lámina a 0,5 cm de la vena media 20 campos (N = 20) para cuantificar espesores de tejidos, longitud estomática, densidad de estructuras glandulares (DEG) y eglandulares (DEE) [DEG o DEE = (Nº de tricomas glandulares o eglandulares)/ Unidad de campo], índice estomático (IE) [(Nº de estomas/ Nº de células epidérmicas + Nº de estomas) x 100]. Los parámetros estadísticos, considerados fueron media (x) = (Ni)/N, desvio estandar (SD) = $(N_i\text{-}x)^2$ / N-1 y error de muestreo (SE) = SD/N

RESULTADOS

Arquitectura foliar

Smallanthus sonchifolius tiene hojas simples, opuestas decusadas, pubescentes, color verde oscuro de brillo céreo, con pecíolo alado que presenta estípulas superpuestas, muchas veces connadas en la base foliar. El tamaño promedio es de 17 cm long. x 13,7 cm lat. en la parte media de la hoja y 17,12 cm en la región basal. La lámina de las hojas es triangular simétrica, ovada y de textura membranácea, el ápice es acuminado y la base truncada, cordada a levemente sagitada (Fig. 3), el margen es dentado serrado con senos redondeados y seriación compuesta con dientes de tres tamaños definidos (1er, 2do y 3er orden).

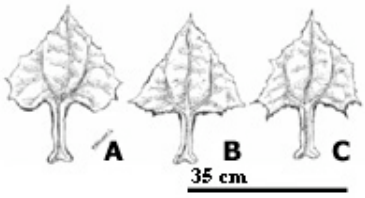
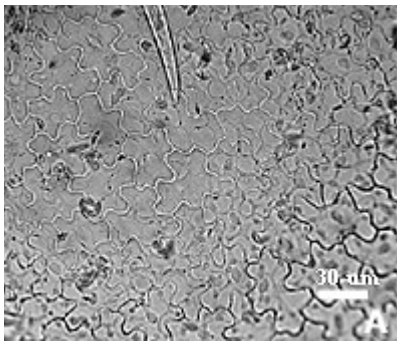


Figura 3. Variación morfológica de la base foliar de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **A**: cordada. **B**: truncada. **C**: sagitada. (Modificado de Seminario *et al.* [4]).

La venación primaria es acródroma, con 3 venas primarias, 1 media y 2 laterales, de posición basal, que corren en arcos convergentes hacia el ápice. Las venas secundarias, son camptódromas broquidódromas, con ángulos de divergencia agudos respecto a las venas primarias y recorrido curvado hacia el ápice formando aréolas por la unión a la vena secundaria suprayacente. Las venas intersecundarias son de tipo compuesto formadas por segmentos de venas terciarias coalescentes en más del 50% de su longitud. Las venas terciarias presentan un modelo de ramificación transversal compuesto.



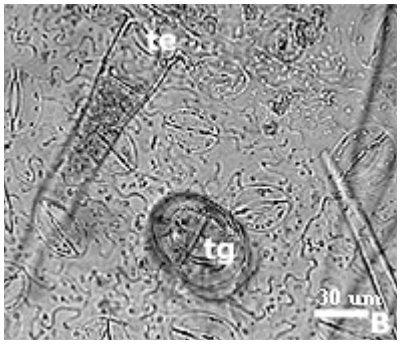


Figura 4. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **A**: epidermis adaxial. **B**: epidermis abaxial; **te**, tricoma eglandular.; **tg**, tricoma glandular.

Anatomía foliar de Smallanthus sonchifolius

La hoja en vista paradermal presenta células poligonales con paredes anticlinales levemente sinuosas a muy sinuosas en las epidermis adaxial y abaxial, respectivamente (Figs. 4 A y B). La cutícula es delgada y lisa en ambos casos. Se trata de una hoja anfiestomática, con estomas anomocíticos levemente elevados respecto al nivel de la epidermis (Fig. 5), con cámara subestomática, los mismos se hallan más densamente en la epidermis abaxial (Tabla 1).

Los tricomas son glandulares y eglandulares. Los glandulares son pluricelulares, con pie biseriado de 5 a 6 pares de células (en algunos ca-

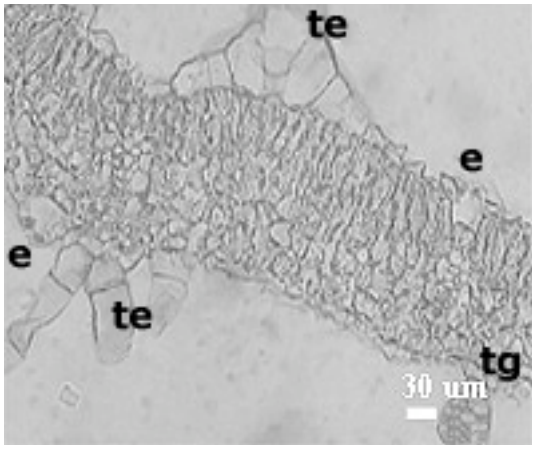


Figura 5. Transcorte de lámina de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson; **e**, estoma.; **te**, tricoma eglandular.; **tg**, tricoma glandular.

	IE	Longitud estomática (x)	SD	SE
Epidermis adaxial	1,71	28,60 (24,36-33,69) µm	2,99	0,47
Epidermis abaxial	18,25			

Tabla 1. Longitud e índice estomático de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **IE**. índice estomático; **x**. media; **SD**. desvío estándar; **SE**, error de muestreo.

Tricomas	Densidad epid. Adaxial	Densidad epid. Abaxial	Longitud (µm)	Diámetro (µm)
Glandular	2 (0-3)	19,9 (16-25)	76,92 (54,20-120,78)	48,47(39,78-59,88)
Eglandular	26,54 (23-33)	86,90 (65-98)	173,53 (103,08-369.92)	20,25 (9,14-39,07)

Tabla 2. Densidad (por unidad de campo = 1,610 mm^2) y tamaño de tricomas en *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson.

Espesor de Tejido	X[a]	SD[b]	SE[c]
Epidermis adaxial	11,35 (08,93-17,66) µm	2,62	0,58
Parénquima en empalizada	54,95 (20,90-77,95) µm	1,82	0,40
Parénquima esponjoso	69,97 (46,69-93,89) µm	14,00	3,13
Epidermis abaxial	10,94 (07,91-14,81) µm	13,68	3,05

Tabla 3. Espesores de tejidos foliares de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. Abreviaturas **a**, **x** media, **b**, **SD** desvío estándar, **c**, **SE** error de muestreo.

sos el primer par se halla elongado) y cabeza globosa bicelular (Figs. 6 A y B). Se cuantificó longitud y diámetro a nivel de la cabeza (Tabla 2). Los tricomas eglandulares son pluricelulares uniseriados. Los mismos se clasifican en flexuosos sin células basales (Fig. 6 C) y rígidos cuya base está compuesta por un conjunto de 2-8 células en roseta (Fig. 6 D). Presentan un tamaño que varía entre 3 y 7 células de longitud, los mayores se encontraron en la epidermis adaxial; el diámetro se consideró a la altura de la segunda célula desde la epidermis (Tabla 2).

La lámina en transcorte presenta mesofilo dorsiventral, compuesto por 1-2 estratos de células en empalizada con canales esquizógenos y algunas células características, las cuales muestran invaginaciones de la pared y membrana hacia el interior de la célula confiriéndole el aspecto de letra Y o H (Fig. 7). Hacia la cara abaxial el tejido esponjoso es compacto con células isodiamétricas. Los espesores de los distintos tejidos no fueron constantes debido a la variabilidad y dispersión de los datos (Tabla 3). Tanto el parénquima en empalizada como el esponjoso presentan esferas refringentes al MO, positivas al test histoquímico de Sudan III y IV revelando su naturaleza lipídica.

En sección transversal se observa que la vena media (de 1er orden) presenta epidermis con células de paredes engrosadas, densamente pubescente, con 3-7 estratos de colénquima subepidérmico angular, laminar y lacunar tanto adaxial como abaxialmente (Fig. 8 A). El sistema vascular esta formado por 5-7 haces vasculares colaterales abiertos con casquete de colénquima a nivel del floema y del xilema, los cuales se distribuyen 3 abaxiales y 3 ó 4 adaxiales. Los haces abaxiales hacia el ápice de la lámina se unen constituyendo un único haz inverso con xilema interno (Fig. 8 B). El tejido parenquimático que rodea a los haces, está formado por células isodiamétricas y conductos esquizógenos en número variable, presentes también en el floema (Fig. 8 B y C). Los conductos esquizógenos distribuidos sin un orden aparente, están tapizados por un epitelio secretor uniestrato de 6-8 células (Fig. 8 C).

Las venas laterales de 1er orden presentan el mismo esquema básico que la vena media. Las venas de 2do orden presentan haces vasculares colaterales con una viga parenquimática abaxial y conductos esquizógenos en el parénquima circundante.

El pecíolo en sección transversal presenta

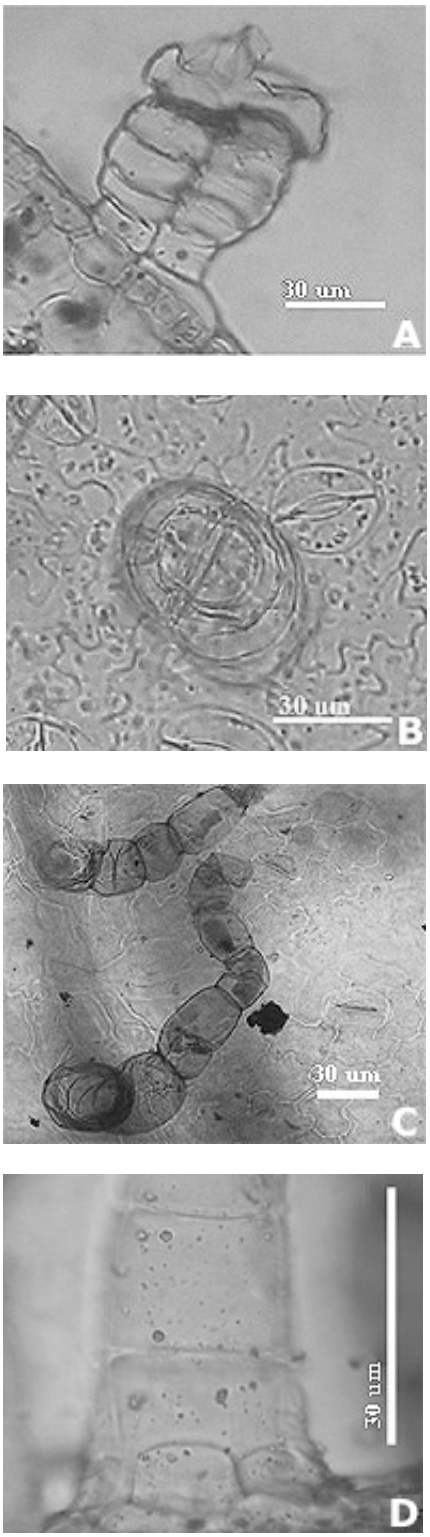


Figura 6. Tricomas foliares de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **A**: detalle de tricoma glandular, se observan células basales que en algunos casos son elongadas. **B**: detalle de cabeza bicelular de un tricoma glandular, vista paradermal. **C**: tricomas eglandulares flexuosos. **D**: detalle de células basales en roseta de un tricoma eglandular rígido.

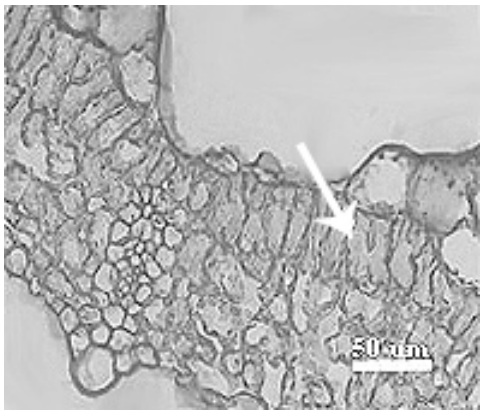


Figura 7. Transcorte de lámina de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson a nivel de las venas de 2do orden mostrando células de empalizada características en forma de H, señalada por una flecha.

una estructura compleja con epidermis con células de paredes engrosadas, tricomas glandulares y eglandulares y 5-6 estratos de colénquima angular subepidérmico. Se observan quince haces vasculares colaterales abiertos con casquetes de colénquima a nivel del floema, dispuestos en 3-4 arcos abiertos hacia la superficie adaxial. En transcorte el ala presenta clorénquima esponjoso y haces menores de igual estructura que los de la lámina foliar (Fig. 9).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para *Smallanthus sonchifolius,* los valores de longitud de los tricomas y espesores de tejidos no son confiables debido a la gran variabilidad y dispersión de los datos que determinan un alto error estadístico (SE), que se mantiene aún al aumentar el número de muestras.

Los caracteres de valor diagnóstico son los siguientes:

a) Morfología foliar: lámina con el ápice acuminado y base truncada, cordada a levemente sagitada, margen dentado serrado con senos redondeados y seriación compuesta; venación 1^{ria} acródroma y venación 2^{ria} camptódroma broquidódroma.

b) Células epidérmicas de paredes anticlinales sinuosas, estomas anomocíticos sobreelevados.

c) Tricomas glandulares pluricelulares de pie biseriado y cabeza globosa bicelular. No obstante, Vignale & Gurni [18,19] los describieron como sésiles.

d) Tricomas eglandulares flexuosos y rígidos con una base formada por células epidérmicas en roseta, los cuales se corresponden con los tricomas flexuosos de base no ensanchada y los

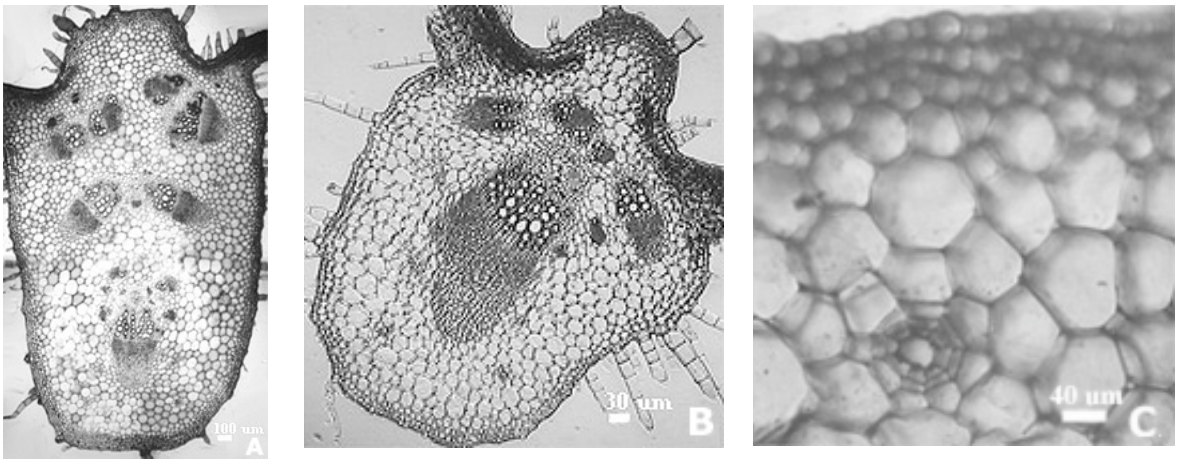


Figura 8. Transcorte de vena media de 1er orden de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **A**: vena media de 1er orden en la sección media de la hoja. **B**: vena de 1er orden en la sección apical de la hoja. **C**: detalle de un conducto esquizógeno en el parénquima de la vena de 1er orden, se observa también el colenquima subepidérmico.

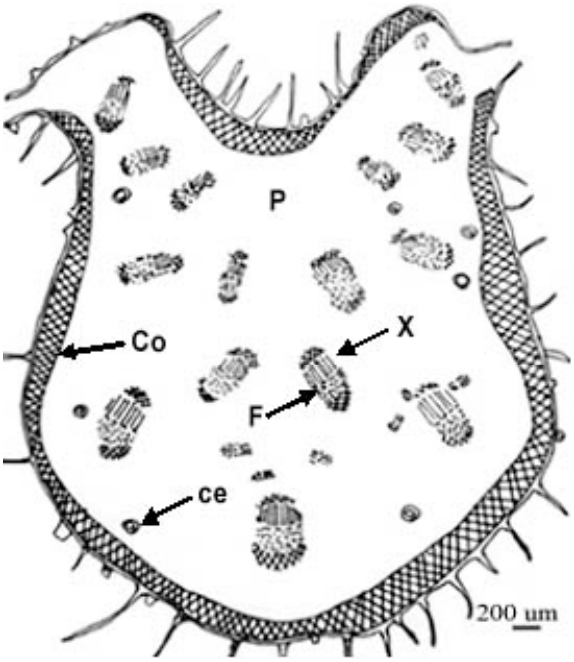


Figura 9. Esquema de transcorte de pecíolo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **X**, xilema; **F**, floema; **P**, parénquima; **Co**, colénquima; **ce**, conducto esquizógeno.

tricomas rígidos con base ensanchada, respectivamente, previamente descriptos por Vignale & Gurni [19].

e) Tejido parenquimático del mesófilo con contenido lipídico y parénquima en empalizada con células con invaginaciones de pared y membrana confiriéndoles forma de H e Y.

f) Estructura de las venas de 1er orden por la disposición de los haces vasculares, epidermis con células de paredes engrosadas y colénquima subepidérmico.

g) Presencia de conductos secretores esquizógenos en el parénquima que rodea las venas, en el floema de lo haces vasculares y en el parénquima en empalizada del mesófilo.

h) Estructura anatómica del pecíolo con conductos esquizógenos y disposición característica de los haces vasculares.

No se observaron los tricomas glandulares descriptos por Horta [20] como pluricelulares de pie uniseriado y cabeza tetracelular.

Pensamos que no debería descartarse la idea de que al menos parte de los compuestos responsables de la actividad hipoglucemiante estén presentes en las sustancias almacenadas en los tricomas y canales esquizógenos de los tejidos foliares descriptos por primera vez en este trabajo.

Agradecimientos. A la Facultad de Ciencias Naturales. e Instituto Miguel Lillo UNT, a la Fundación Miguel Lillo, Área botánica - Instituto de Morfología Vegetal y a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Grau, A. & J. Rea (1997) "Yacon, *Smallanthus sonchifolius.* Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacón". Edit C.I.P., IPK e IPGRI. Págs. 199-242.
2. Grau A. (1993) "Yacon: A highly productive root crop". New plants dossier 9. Crop & Food Research Institute Internal Report, Biodiversity Programme, Invermay, New Zeland.

3. Schorr, K. & F.B. Da Costa(2005) *Phytochem. Anal.* **16**: 161-5.
4. Seminario, J., M. Valderrama & I. Manrique (2003) "El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio". Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la cooperación (COSUDE), Lima. Perú. Págs. 1-61.
5. Manrique, I. & M. Hermann (2003) "El potencial del yacón en la salud y la nutrición". XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Cochabamba. Bolivia. Págs. 1-5.
6. Kakihara, T.S., F.L.A. Cámara, S.M.C. Vilhena & L. Riera (1996) "Cultivo e industrializacao de yakon: uma experincia brasileira". Resumos I Congreso Latino Americano de Raízes Tropicais. CERAT-ENESP, Sao Pedro, Brasil. Págs. 63.
7. Aybar, M. J., A. N. Sánchez Riera, A. Grau & S. Sánchez (2001) *J. Ethnopharmacol.* **74**: 125-32.
8. Valentova, K. & J. Ulrichova (2003) *Biomed papers* **147**: 119-30
9. Grau, A & A. M. Kortsarz (2001) Rev. Ciencia Hoy 11: 24-32.
10. Kakuta, H., T. Seiki, Y. Hashidoko & J. Mizutani (1992) *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **56**: 1562-4.
11. Inoue, A., S. Tamogami, H. Kato, Y. Nakazato, M. Akiyama, O. Kodama, T. Akatsuka & Y. Hashidoko (1995) *Phytochem.* **39**: 845-8.
12. Fengqiu, L., H. Morifumi & K. Osamu (2003) *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **67**: 2154-9.
13. Kodama, O. (1999) yacón Kenkyu Kaiho 2: 8-11 (citado por Fengqiu *et al.* [12]).
14. Hwang, D., N.H. Fischer, B.C. Jang, H. Tak, J.K. Kim & W. Lee (1996) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **226**: 810-8.
15. Kawashima, S., M. Sakato, S. Terada, Y. Koide, M. Tanaka & M. Ko (2001) "Anti-diabetic agents containing lactones. Jpn Kokai Tokkyo Koho, Patent no. JP 2001247461".
16. Spring, O. (1989) *Biochem. Syst. Ecol.* **17**: 509-17.
17. Spring, O. (1991) "Trichome microsampling of sesquiterpene lactones for the use of systematic studies". In Recent Advances in Phytochemistry-Modern Phytochemical Methods, Vol. 25. Plenum Press: New York. Págs. 319-45.
18. Vignale, N.D. & A.A. Gurni (2004) "Identificación micrográfica de hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae)". VIII Simposio Argentino, XI Simposio Latinoamericano de Farmacobotánica. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Bs. As. - Argentina. Soporte magnético.
19. Vignale, D.N. & A.A. Gurni (2005) *Acta Farm. Bonaerense* **24**: 96-8.
20. Horta, A. (2000) "Variaciones Morfológicas y Fisiológicas de *Smallanthus sonchifolius* (Asteraceae) bajo Tratamientos de Sol, Sombra y Raleo". Trabajo final, Curso de entrenamiento de Lic. en Cs. Biológ. Orientación Bot. Fac. de Cs. Nat. e Inst. Miguel Lillo. UNT . Argentina. Págs 1-60.
21. Hickey, L. (1974) *Bol. Soc. Arg. de Botánica* **16**: 1-26.
22. Dizeo de Strittmatter, C. (1973) *Bol. Soc. Arg. de Bot.* **15**: 126-9.
23. Schulze, W. (1911) "Die Oxydasereaktion an Gewebsschnitten". Zeigler´s Beitr. XLV. Weitere Mitteilungen ueber oxidasereaktion. Munch. Med. Woch. Págs. 1-2171.
24. Johansen, D.A. (1940) "Plant Microtechnique". Mc Graw Hill Boock Co. New York. Págs 523.
25. D´Ambrogio de Argueso, A. (1986) "Manual de Técnicas de Histología Vegetal". Edit. Hemisferio Sur S.A., Bs. As., Arg. Págs. 1-83
26. Metcalfe, C.R. & Chalck (1950) "Anatomy of Dicotiledons II". Claredon Press, Oxford, págs. 1-947.