

Histología del órgano reservante de la maca silvestre, *Lepidium meyenii* (Brassicaceae) y comparación con la maca cultivada

Chaín, Fernando E.¹; M. I. Mercado²; M. V. Coll Araoz²;
C. A. N. Catalán¹; A. Grau³; G. I. Ponessa²

¹ INQUINDA. Inst. de Química. del Noroeste Argentino, CONICET.

² Instituto de Morfología Vegetal, FML.

³ Instituto de Ecología Regional, IER. Fac. de Cs. Nat. e Inst. M. Lillo, UNT.

C.e.: fernandochain@hotmail.com ; ponessagra@gmail.com

► **Resumen** — Chaín, Fernando E.; M. I. Mercado; M. V. Coll Araoz; C. A. N. Catalán; A. Grau; G. I. Ponessa. 2011. "Histología del órgano reservante de la maca silvestre, *Lepidium meyenii* (Brassicaceae) y comparación con la maca cultivada". *Lilloa* 48 (2).

Se estudió la anatomía del órgano de reserva subterráneo de la maca silvestre proveniente de Cumbres Calchaquíes (Tucumán) a partir de muestras fijadas en FAA y empleando la técnica de inclusión en parafina. Se comparó esta estructura con la observada en la maca cultivada en un trabajo previo.

El órgano reservante de la maca silvestre es una raíz contráctil con crecimiento secundario normal que presenta peridermis diferenciada a partir de células del parénquima cortical externo, cortex y médula de forma estrellada constituidos por parénquima amilífero con idoblastos de mirosina. Floema y xilema secundario con abundantes radios parenquimáticos. Los tejidos de la región contráctil reflejan el acortamiento de la raíz, causado por la contracción vertical y expansión radial del parénquima cortical interno. Se discute el mecanismo de contracción.

Palabras clave: Histología, raíz contráctil, maca silvestre, *Lepidium meyenii*, Brassicaceae.

► **Abstract** — Chaín, Fernando E.; M. I. Mercado; M. V. Coll Araoz; C. A. N. Catalán; A. Grau; G. I. Ponessa. 2011. "Histology of the storage organ of wild maca, *Lepidium meyenii* (Brassicaceae), and comparison with the cultivated maca". *Lilloa* 48 (2).

Samples of the underground reserve organ of wild maca (*Lepidium meyenii*) from Cumbres Calchaquíes (Tucumán), were fixed in FAA and embedded in paraffin in order to study their anatomy. The underground structure was compared with the storage organ of cultivated maca observed in a previous study.

The storage organ of wild maca is a contractile root with normal secondary growth. Peridermis arises from outer cortical parenchymatic cells. Cortex and star shaped pith constituted by amiliferous parenchyma with myrosin ideoblasts. Secondary phloem and xylem with abundant parenchymatous rays. Tissue from contractile area reflects the shortening of the root caused by vertical contraction and radial expansion of the inner cortical parenchyma. The contraction mechanism is discussed.

Keywords: Histology, contractile root, wild maca, *Lepidium meyenii*, Brassicaceae.

INTRODUCCIÓN

La familia Brassicaceae se caracteriza por sus propiedades alimenticias, industriales, medicinales y ornamentales. *Lepidium* L. presenta aproximadamente 175 especies distribuidas alrededor del mundo (Quiroz y Aliaga, 1997; Aliaga, 1995). En la República

Argentina el género está representado 23 especies, 9 de las cuales son endémicas. Para la provincia de Tucumán se citan 3 especies (Zuloaga y Morrone, 1999) a saber: *L. bonariense* L. var. *bonariense*, *L. bonariense* var. *pseudo-virginicum* Thell., *L. stuckertianum* (Thell.) Boelcke y *L. meyenii* Walp.

Lepidium meyenii, popularmente conocida como maca, es una especie cultivada principalmente en los Andes centrales de

Perú, entre los 3500 y 4500 m.s.n.m., cuya forma silvestre se extiende hasta el Noroeste Argentino, por encima de los 4000 m.s.n.m. Estas regiones se caracterizan por presentar bajas temperaturas extremas y excesiva radiación (Fig. 1 A y B). Su órgano reservante es utilizado desde tiempos ancestrales como alimento y medicina estimulante, especialmente para la reproducción (León, 1964; Tovar, 2001; Ponessa *et al.*, 2004) ya que es rico en proteínas (8,87-11,6%), lípidos (54,6-60,0%), carbohidratos (23,4% sacarosa; 1,55% glucosa; 4,56% oligosacáridos;

30,4% polisacáridos principalmente almidón), fibra (8,23-9,08%), minerales (principalmente Fe, Ca y Cu) y aminoácidos esenciales. También presenta esteroides (brassicasterol, ergosterol, campesterol y sitosterol), benzil-amidas derivadas de ácidos grasos (macaenos y macamidias), alcaloides (macainas y lepidilinas) y glucosinolatos (glucotropaeolina, glucoalisina, glucobrasicanapina y glucobrasicina), principales responsables de su actividad y sabor (Muhammad *et al.*, 2002; Valentova y Ulrichova, 2003).

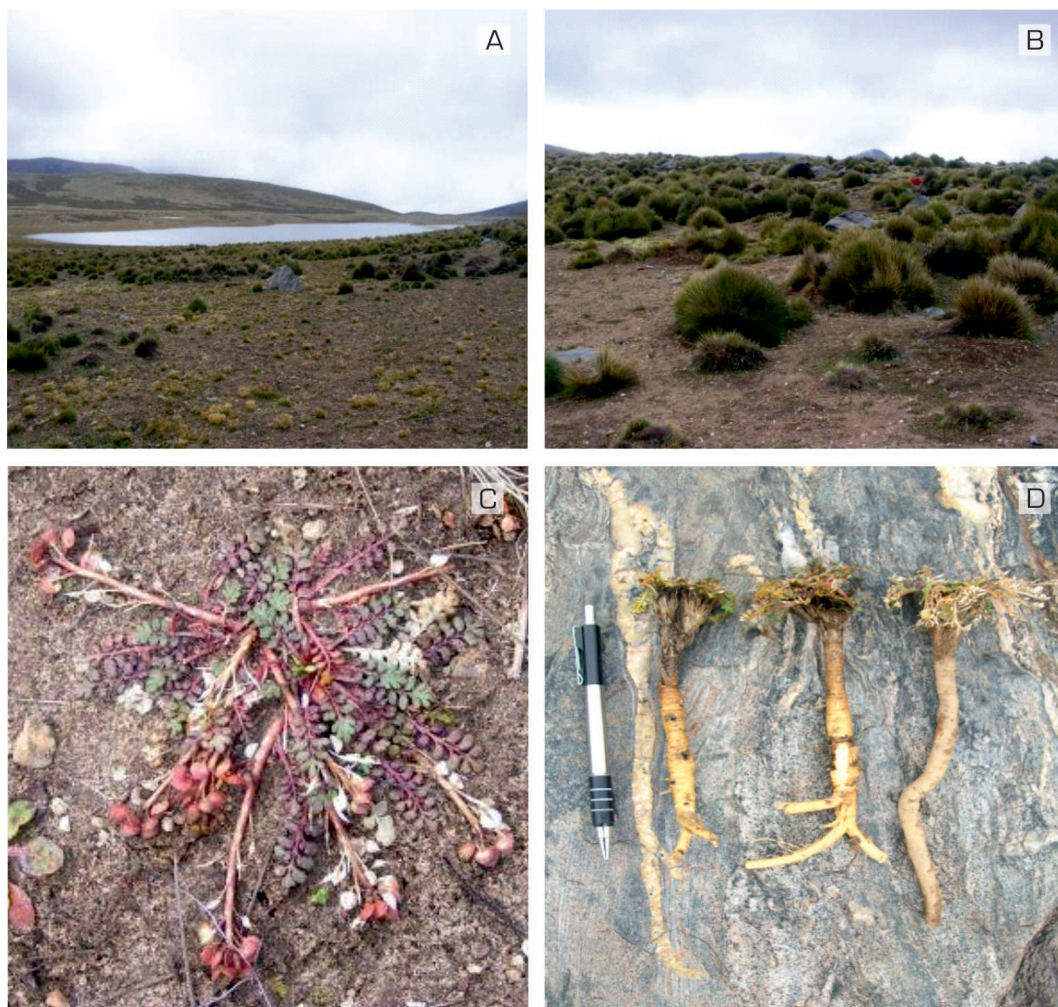


Fig. 1. *Lepidium meyenii*. **A:** Cumbres Calchaquíes, Laguna Grande, Huaca Huasi, Tucumán. **B:** Zona de colección con abundancia de *Festuca orthophylla*. **C:** Aspecto general de la planta a campo. **D:** Vista general de tres sistemas radiculares.

La maca silvestre y la maca cultivada pertenecientes a la puna andina, presentan porte arrosetado con una corona de hojas basales que surgen a nivel del suelo, braquiblasto y raíces resevantes contráctiles (Fig. 1 C y D). La maca cultivada es una especie anual cuando las condiciones climáticas son favorables, pero bajo condiciones desfavorables de heladas y sequías, se comporta como bianual produciendo su característico órgano de reserva (Quiroz y Aliaga, 1997; Tello *et al.*, 1992).

El estatus taxonómico de la maca cultivada en Perú fue cuestionado por Chacón (1990) quien propuso sinonimizar a *L. meyenii* por *L. peruvianum* Chacón, basándose en el análisis comparativo con los primeros ejemplares de herbario de *L. meyenii* provenientes de Perú (Puno), Bolivia y Argentina, los cuales presentaron caracteres morfológicos muy diferentes a la maca cultivada actual.

A pesar que se registran numerosos antecedentes anatómicos a nivel de familia y género (Metcalf y Chalk, 1950) y para la es-



Fig. 2. *Lepidium meyenii*. **A:** Aspecto general de la raíz contráctil en su porción próxima al braquiblasto. **B:** Corte longitudinal del braquiblasto (br) y raíz (rc). **C:** Corte longitudinal de la raíz donde se observa inicio de raíz lateral (rl). **D:** Corte transversal de raíz, peridermis (p); parénquima cortical (pc) con cámaras formadas por el colapso de sus células; xilema (x) con radios colapsados; médula parenquimática estrellada (mp).

pecie cultivada (León, 1964; Tello *et al.*, 1992; Chacón, 1990; Obregón, 1998; Ponesse *et al.*, 2004), no se han realizado estudios sobre el desarrollo de *L. meyenii* en estado silvestre.

Existen controversias sobre el origen del órgano reservante, responsable de las propiedades terapéuticas y nutricias. Algunos autores (León, 1964; Chacón, 1990; Tello *et al.*, 1992; Quiroz y Aliaga, 1997; Genyi *et al.*, 2001; Ponesse *et al.*, 2004) afirman que se trata de un órgano mixto hipocótilo-raíz, mientras otros (Baquerizo, 1968; Obregón, 1998) sostienen que se trata de una raíz.

El objetivo de este trabajo es estudiar la estructura interna del órgano reservante de la maca silvestre proveniente de la Laguna Grande del conjunto de Huaca Huasi (Cumbres Calchaquíes, Tucumán), dilucidar su origen evidenciando su forma de crecimiento y realizar una comparación entre la especie silvestre y la cultivada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal.— Se coleccionó *L. meyenii* silvestre en la Laguna Grande del conjunto de Huaca Huasi, a 4300 m.s.n.m., en Cumbres Calchaquíes, durante marzo de 2009 (Fig. 1, A y B). La especie es relativamente abundante a partir de los 4200 m.s.n.m. La planta se encuentra en suelos arenosos-pedregosos, asociada a *Festuca orthophylla* (Fig. 1, B) o en suelos arenosos-arcillosos.

Material examinado.— *Lepidium meyenii*: ARGENTINA. Tucumán, Dep. Tafí del Valle, Huaca Huasi, Cumbres Calchaquíes. 31. III. 2009, 4300 m.s.n.m., A. Grau 1603 (LIL). ARGENTINA. Tucumán, Dep. Tafí del Valle, Huaca Huasi, Cumbres Calchaquíes. 19. III. 2009, 4300 m.s.n.m, Grau, A. y Chain, F. 1604 (LIL).

Microscopía.— El material fue fijado en FAA (formol, alcohol etílico, ácido acético, agua, 100:500:50:350 ml).

Se realizaron cortes a mano alzada y preparados histológicos permanentes de la zona medial del órgano reservante. Las

muestras fueron deshidratadas y embebidas en parafina según Johansen (1940). Se realizaron cortes seriados de 10-12 μm de espesor con un micrótopo rotativo Minot. Los mismos fueron coloreados con safranina, violeta de cresilo y safranina-fast green. Se realizaron test histoquímicos con Sudan IV para lípidos, solución iodada de lugol para almidón y para la identificación de idioblastos de mirosina se utilizó reactivo de Millon y Nihydrina-Reactivo de Schiff (Ruzin, 1999). Los disociados fueron realizados según la técnica de Schulze (1911).

Para la observación de los preparados se utilizó microscopio óptico de luz compuesta Karl Zeiss Axiolab con una cámara digital Kodak, 5 Megapixéles, lentes de 5 mm 1:3.6 adosada.

RESULTADOS

El órgano reservante de *L. meyenii*, la maca silvestre, presenta aspecto acordonado de 1 cm de diámetro por 15 cm de longitud (Fig. 2, A). En corte longitudinal presenta diámetro regular, no abultado, que se estrecha en la zona apical correspondiente al inicio del braquiblasto donde se insertan las hojas (Fig. 2, B). Bajo la línea de nivel del suelo presenta predominantemente sistema radical con raíces laterales acompañado por una breve porción de braquiblasto (Fig. 2, B y C).

En corte transversal, el cilindro central es de contorno sinuoso con parénquima medular ramificado en forma de estrella (Fig. 2, D). Tanto floema como xilema secundario presentan abundante tejido parenquimático (Fig. 3, A, B y C). Los radios parenquimáticos del xilema son rasgados al ser sometidos a presión durante su crecimiento (Fig. 3, D). En sección longitudinal, próximos al braquiblasto, los vasos del xilema se presentan contraídos longitudinalmente formando bifurcaciones en forma de Y (Fig. 3, E y F).

Hacia la periferia del cilindro central se observa parénquima cortical reservante amiláceo (Fig. 4, A, B, C y D), el cual se desgarró por contracción vertical y expansión radial de sus células (Fig. 4, B).

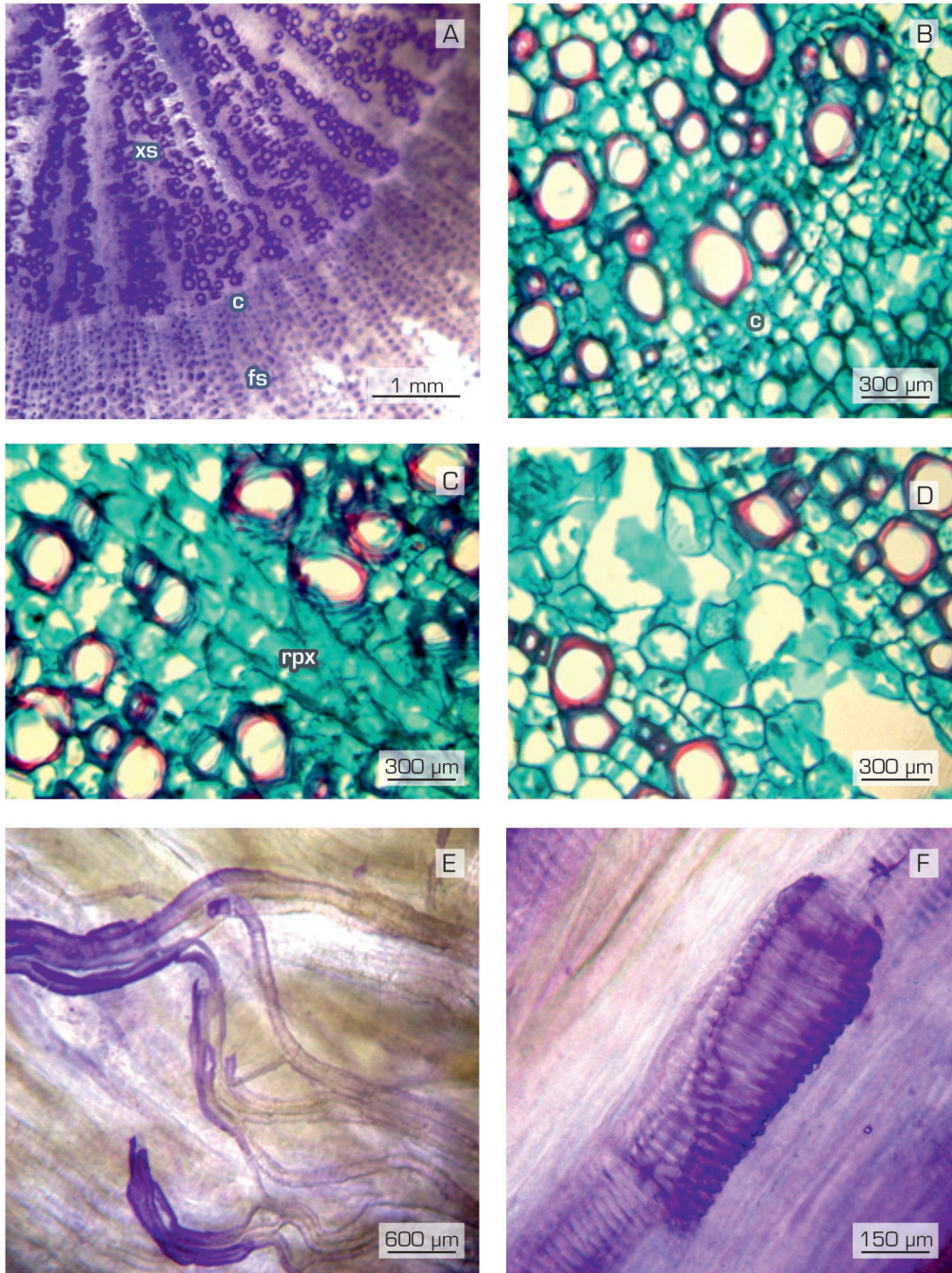


Fig. 3. *Lepidium meyenii*. **A:** Corte transversal de raíz. **B:** Corte transversal de raíz, detalle de cambium vascular. **C:** Corte transversal de xilema secundario, donde se observan radios parenquimáticos. **D:** Corte transversal de xilema secundario, radios parenquimáticos colapsados tras sufrir contracción vertical y expansión radial. **E:** Vaso xilemático contraído longitudinalmente y bifurcado en forma de Y. **F:** Elemento de vaso contraído. Referencias: xilema secundario; floema secundario; cambium (c); radio parenquimático xilemático (rpx).

La peridermis se desarrolla a partir de células del córtex externo. No es clara la distinción del felógeno, sin embargo, se observa felodermis biestrata y un conspicuo súber constituido por células prismáticas rectangulares y aplanadas de paredes suberificadas (Fig. 5, A, B, C y D). Se constató la presencia de células idioblásticas de mirosina en el parénquima medular y cortical.

En la región contráctil próxima al braquiblasto, se constata la contracción vertical y expansión radial de los tejidos parenquimáticos corticales y radios medulares, que posteriormente colapsan. En consecuencia, la región periférica de la corteza y peridermis se comprime pasivamente generando el

aspecto acordonado superficial, mientras que los elementos verticales de los tejidos de conducción (vasos xilemáticos) se contraen.

DISCUSIÓN

En un estudio previo realizado por Ponesa *et al.* (2004) sobre *L. meyenii* cultivado en Perú, (Provincia de Chucuito, Departamento Puno), se observó que el órgano reservante es de forma esférica o cónica, sin aspecto acordonado. En corte transversal, se presentó peridermis con suber escamoso, parénquima cortical aerenquimático, cilindro central estrellado con dos arcos de xilema secundario, ausencia de médula parenqui-

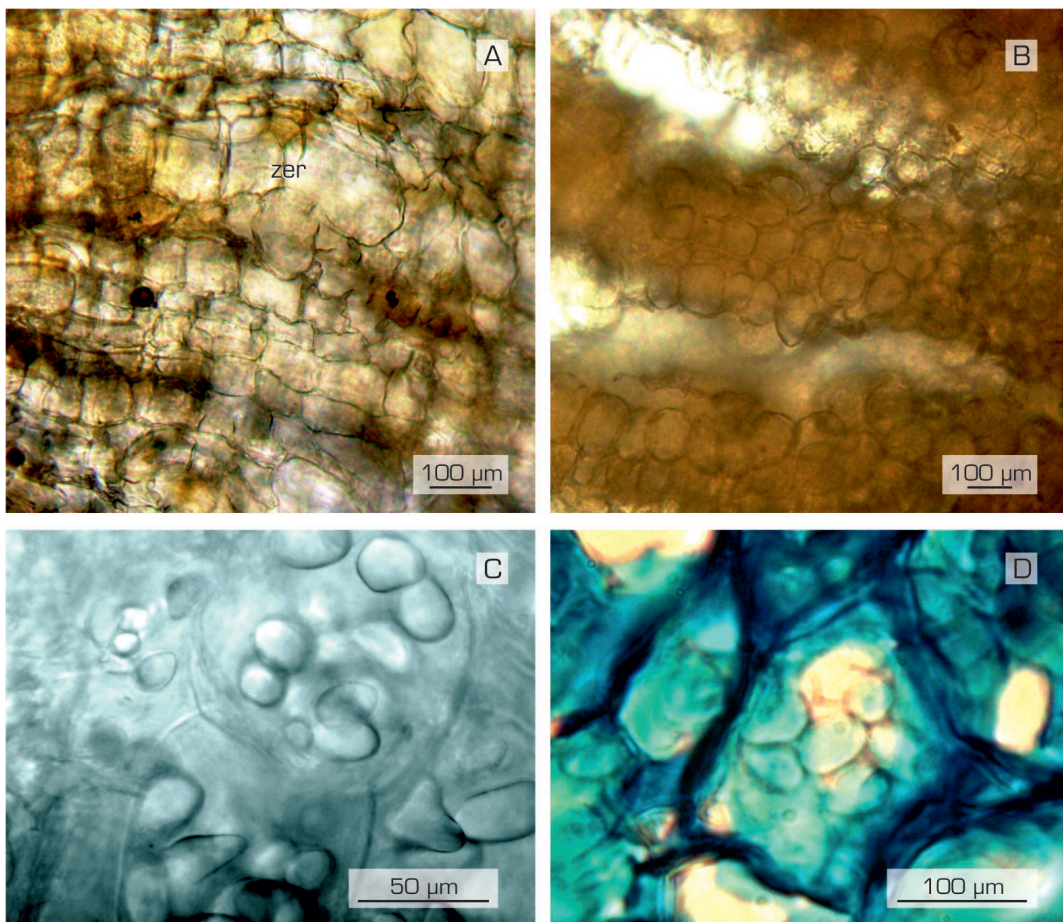


Fig. 4. *Lepidium meyenii*. **A:** Parénquima cortical, donde se observan zonas de expansión radial. **B:** Parénquima cortical lisado tras contracción vertical y expansión radial de sus células. **C y D:** Detalle de gránulos de almidón del parénquima cortical.

mática y células idioblásticas de mirosina en los radios parenquimáticos. El hipocótilo se presentaba desprovisto de raíces laterales en su porción proximal y en corte transversal de la zona apical se observó crecimiento secundario y yemas laterales, peridermis con suber escamoso, cilindro vascular estrellado con cambium continuo, xilema secundario en hileras radiales y numerosos radios parenquimáticos. En la zona medial, se obser-

vó crecimiento secundario inusual con abundante parénquima xilemático central y círculos de cambium secundario que originan haces vasculares anficribales insertos en el parénquima cortical. Ponessa *et al* (2004) concluyeron que el órgano de reserva era de naturaleza mixta (raíz+hipocótilo), con crecimiento secundario inusual y sin raíz contráctil. Por el contrario, *L. meyenii* silvestre, procedente de Laguna Grande, presenta el

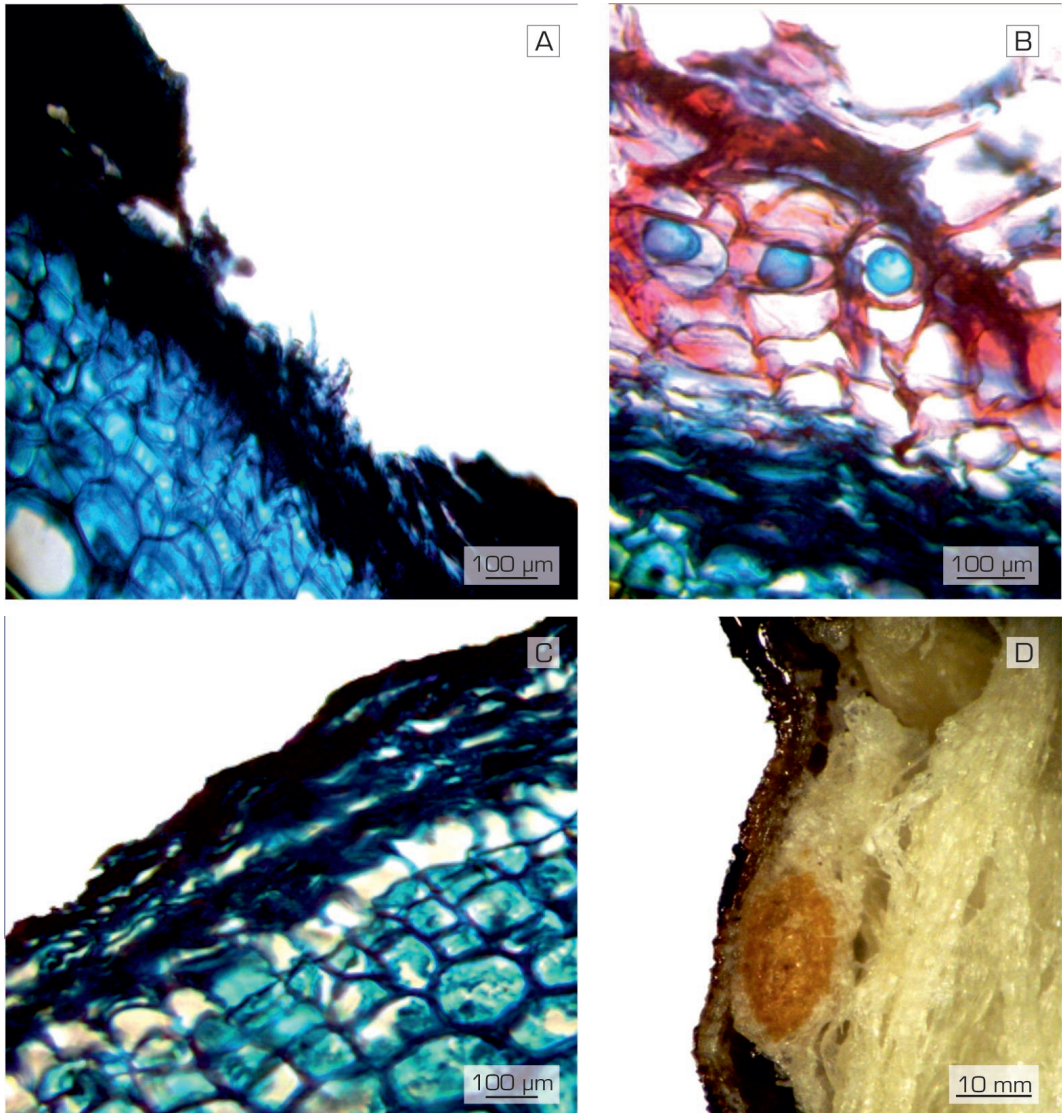


Fig. 5. *Lepidium meyenii*. **A:** Peridermis interrumpida generando zonas semejantes a lenticelas. **B y C:** Detalle de peridermis donde se observa suber y felodermis biestrata. **D:** Detalle de peridermis contraída.

órgano de reserva subterráneo solo de naturaleza radical contráctil y con crecimiento secundario normal.

Según Metcalfe y Chalk (1950) y León (1964), quienes no especifican si el material estudiado es cultivado o silvestre, la raíz primaria de la maca presenta una estela diarca, lo que determinaría una raíz de escaso grosor en estadio de estructura secundaria, lo cual es coincidente con el material estudiado en la presente contribución.

Esau (1959) sostiene que las raíces de mayor diámetro con estructura secundaria de desarrollo normal corresponden a estelas de tipo poliarcas. Sin embargo, el diámetro del órgano reservante alcanzado por la maca cultivada se debe a una actividad cambial inusual con presencia de cambium secundario, de desarrollo posterior al cambium vascular, que origina haces vasculares corticales, proliferación de parénquima cortical y con ello aumento del grosor del órgano de reserva (Marin-Bravo, 2003; Ponessa *et al.*, 2004). Por el contrario, en la maca silvestre, el desarrollo secundario y engrosamiento radical provienen de un desarrollo normal del cambium vascular, asemejándose más al desarrollo de las raíces reservantes de *Raphanus sativus* L. y de *Daucus carota* L. (Hayward, 1953), salvo por su carácter de tratarse de una raíz contráctil.

El aspecto acordonado que presenta externamente la raíz es una clara evidencia de la contracción de sus tejidos, la cual se produce por un mecanismo de elevación y tracción generado por la contracción vertical, expansión radial y posterior colapso de la células parenquimáticas corticales internas; en consecuencia el cortex externo y la peridermis son comprimidos pasivamente, mientras que los elementos verticales de los tejidos de conducción (vasos xilemáticos) se observan contraídos y sus radios parénquimáticos asociados colapsados, esto es similar a lo observado por Chen (1969) y Wilson y Anderson (1979) para la raíces contráctiles de *Narcissus* sp. y *Gladiolus* sp.

CONCLUSIÓN

Dada la controversia existente con respecto al origen del órgano reservante de *L. meyenii* cultivado se concluye que referirse al mismo como raíz, tallo (hipocótilo) u órgano mixto es arriesgado cuando no se ha realizado un estudio de ontogenia. Sin embargo, en este trabajo la presencia de ramificaciones laterales de origen endógeno (raíces laterales) en la porción proximal (próxima al braquiblasto) indica claramente que el órgano de reserva de la maca silvestre es una raíz contráctil de estructura secundaria normal.

Se constató la presencia de células idioblásticas de mirosina ubicadas en el parénquima medular y cortical, características de Brassicaceae, Capparaceae, Tovariaceae, Moringaceae y Gyrostemonaceae (Jorgensen, 2008), asociadas con la presencia de glucosinolatos y la enzima mirosinasa.

Los resultados del presente trabajo apoyan la sugerencia de Chacón (1990) de que la maca cultivada y silvestre podrían ser variedades o formas de una misma especie, sin embargo, se requeriría una profunda revisión taxonómica considerando un mayor número de caracteres (moleculares, químicos, entre otros) para resolver este problema.

BIBLIOGRAFIA

- Aliaga, R. 1995. Biología floral de *Lepidium meyenii* Walp. Tesis magíster. UN. Agraria, Fac. de Agronomía, La Molina, Lima 74 pp.
- Baquerizo, V. 1968. Estudio químico nutricional de *Lepidium meyenii* Walp. (Maca) y de *Aiphanes* var. *deltoides* Burret (Shica). Tesis de Título profesional. Fac. de Farm. y Bioq. U.N. Mayor de San Marcos. Lima 35 pp.
- Chacón, G. 1990. La maca *Lepidium peruvianum* sp. nov. y su hábitat. Revista peruana de Biología. 3 (2): 171-272.
- Chen, S. 1969. The contractile roots of *Narcissus*. Annals of Botany 33: 421-426.
- Esau, K. 1959. Anatomía Vegetal. Ediciones Omega. Barcelona. 485-537 pp.
- Genyi, L.; Ammermann, U. y Quiroz, C. 2001. Glucosinolate contents in maca (*L. peruvianum* Chacón) seeds, sprouts, mature and several derived commercial products. Economic Botany 55 (2): 255-262.

- Hayward, H.E. 1953. Estructura de las plantas útiles. ACME, Buenos Aires. 667 pp.
- Johansen, D. 1940. Plant Microtechnique Mc. Graw - Hill Book Company, Inc. 523 pp.
- Jorgensen, L.B. 2008. Myrosin cells and dilated cisternae of the endoplasmic reticulum in the order Capparales. *Nordic Journal of Botany* 1 (3): 433-445.
- Leon, J. 1964. The maca (*L. meyenii*), a little known food plant of Peru. *Economic Botany*. 18: 122-127.
- Marin-Bravo, M. 2003. Histología de la maca *Lepidium meyenii* Walpers (Brassicaceae). *Revista Peruana de Botánica* 10 (1): 101-108.
- Metcalf, C. y L. Chalk. 1950. *Anatomy of Dicotyledons Vol I*, Clarendon Press, Oxford, 1459 pp.
- Muhammad, I.; Zhao, J.; Dunbar, D.C.; Khan, I.A. 2002. Constituents of *Lepidium meyenii* «maca». *Phytochemistry* 59 (1): 105-110.
- Obregón, V. 1998. Maca, planta medicinal y nutritiva de Perú. *Inst. de Fitoterapia Americano*. Lima 182pp.
- Ponessa, G.I.; Parrado, M. y Hernández, M. 2004. Anatomía de *Lepidium peruvianum* Chacon (Brassicaceae). *Lilloa* 41 (1-2): 41-55.
- Quiroz, C. y Aliaga, R. 1997. Maca (*L. meyenii* Walp.). En Hermann, M. y Heller, J. *Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacón. Promoting the conservation and use of underutilized neglected crops* 21. International Plant Genetic resources Institute. Rome, Italy. 173-197 pp.
- Ruzin, E. S. 1999. *Plant Microtechnique and Microscopy*. Oxford University Press. Inc. New York. USA.
- Schulze, W. 1911. Die Oxydasereaktion an Gewbsschnitten. *Zeigler's Beitr. XLV. Weitere Mitteilungen ueber oxydasereaktion*. *Munch. Med. Woch.* 2171 pp.
- Tello, J.; Hermann, M. y Calderón, A. 1992. La Maca (*Lepidium meyenii* Walp.): cultivo alimenticio potencial para las zonas altoandinas. *Boletín de Lima*. 81: 59-66.
- Tovar, O. 2001. *Plantas Medicinales del Valle del Mantaro*. Publicación CONCYTEC. Lima 114 pp.
- Valentova, K. y Ulrichova, J. 2003. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* - prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers* 147 (2): 119-130.
- Wilson, K. y Anderson, G. J. H. 1979. Further observations on root contraction. *Annals of Botany* 43: 665-675.
- Zuloaga, F. y Morrone, O. 1999. *Catálogo de las plantas vasculares de la R. A. I.* Missouri Botanical Garden. Press: 388-420.