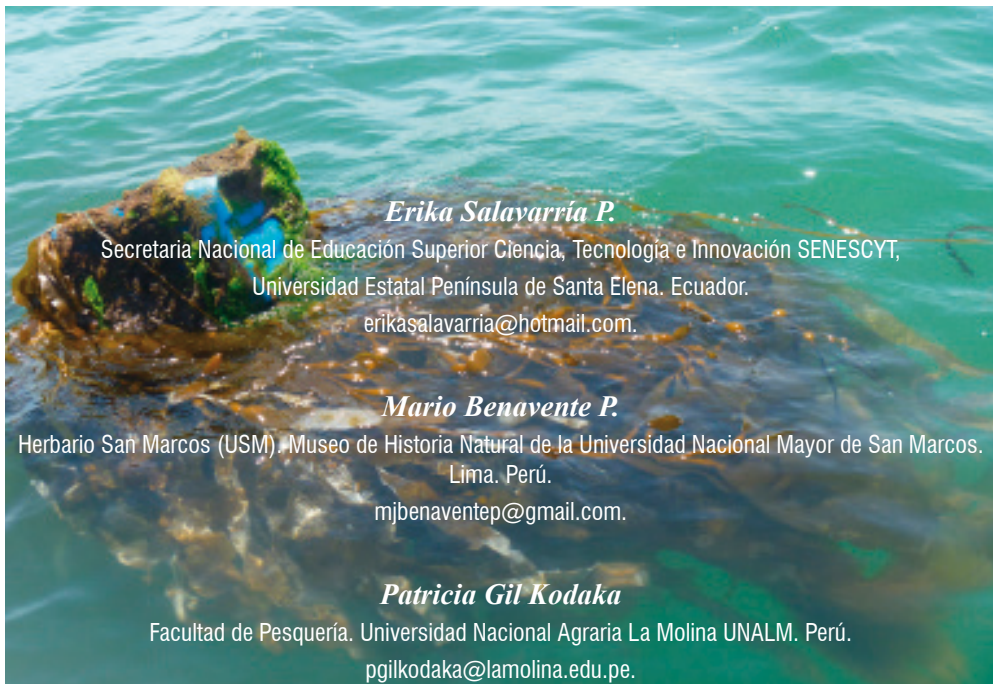


Histología de *Macrocystis pyrifera*
(Linnaeus) C. Agardh 1820 (Phaeophyceae:
Laminariales) en la costa centro del Perú

Histology of *Macrocystis pyrifera*
(Linnaeus) C. Agardh 1820 (Phaeophyceae:
Laminariales) in the central coast of Peru



Erika Salavarría P.

Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia, Tecnología e Innovación SENESCYT,
Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
erikasalavarría@hotmail.com.

Mario Benavente P.

Herbario San Marcos (USM) - Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima, Perú.
mjbenaventep@gmail.com.

Patricia Gil Kodaka

Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, Perú.
pgilkodaka@lamolina.edu.pe.

Resumen

Se presenta la Histología de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820 (Phaeophyceae: Laminariales) en la costa centro del Perú. Una de las algas pardas más extensamente distribuidas en el mundo es *Macrocystis pyrifera*. Por las características morfológicas de los aerocistos, frondas y rizoide, se identificaron 4 ecomorfos: *Macrocystis pyrifera*, *Macrocystis integrifolia*, *Macrocystis leavis* y *Macrocystis angustifolia*. Actualmente, análisis moleculares determinaron una sola especie la más antigua: *M. pyrifera*. Este estudio tiene como objetivo presentar los resultados de un análisis histológico realizado en los ecomorfos de *M. pyrifera* y *M. integrifolia* de muestras colectadas en el centro del Perú. Se obtuvo muestras durante el mes de abril del 2012 en el Departamento de Ica, Distrito de Marcona. Fueron colectados porciones del rizoide, cauloide, filoide y neumatocistos de individuos juveniles, se hicieron cortes de aproximadamente 0,2 mm de muestras en fresco de los porciones colectadas en los ecomorfos para posteriormente realizar observaciones al microscopio óptico binocular. La estructura histológica de *M. pyrifera* y *M. integrifolia* son similares, los resultados obtenidos fueron comparados con trabajos histológicos realizados de especies taxonómicamente cercanas a *M. pyrifera*.

Palabras clave: Histología, *Macrocystis pyrifera*, costa centro del Perú.

Abstract

Present the Histology of *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820 (Phaeophyceae: Laminariales) in the central coast of Perú. *Macrocystis pyrifera* is one of the most widely distributed brown algae in the world. Based on the morphological features of holdfast (rhizoid), fronds and aerocysts four ecomorphs namely *Macrocystis pyrifera*, *Macrocystis integrifolia*, *Macrocystis leavis* and *Macrocystis angustifolia* was identified. Recently, molecular analyses determined that the species *M. pyrifera* is the oldest one. In this study the histological analysis of ecomorphs *M. pyrifera* and *M. integrifolia* collected from central Peru is presented. Samples were obtained during the month of April 2012 from the Department of Ica, Marcona District. Lots of young rhizoids, cauloide, fronds, and aerocysts was collected, cut into pieces of about 0,2 mm and later observed in optical microscope. It was found that the histological structure of *M. pyrifera* and *M. integrifolia* are similar and the results obtained were compared with taxonomically close species *M. pyrifera*.

Key Words: Histology, *Macrocystis pyrifera*, central coast of Peru.

Introducción

Las grandes algas pardas o *kelps* se caracterizan porque su cuerpo vegetativo se encuentra diferenciado y es análogo a las plantas superiores, en su morfología se distinguen claramente un rizoide en forma de disco o grampon que alcanza hasta 40 cm de diámetro y 35 cm de altura que cumple la función de fijar el alga a un sustrato. Del rizoide surgen uno o varios estipes o cauloides cilíndricos, flexibles, de ramificación dicotómica, parecidos a tallos que dan origen a muchos filoides o frondas generalmente aplanadas, lanceoladas, rugosas, con márgenes dentados que

semejan a hojas, que llegan a medir 70 cm de largo por 30 cm de ancho. En la parte basal del filoide presentan a manera de peciolo de una hoja un aerocistos o neumatocistos basal de forma piriforme llenas de aire que permiten que la gran masa de alga flote en la columna de agua. Los filoides o frondas cercanas al disco basal de fijación se dividen sin formar aerocistos de flotación ni alargar el estípite; sin embargo, en su superficie se formarán manchones extensos de esporangios. Las esporas darán origen a talos microscópicos con sexos separados: los femeninos con un oogonio grande inmóvil y los masculinos con espermatozoides

flagelados pequeños. Un organismo maduro puede tener 40 o más frondas en diferentes estados de crecimiento (juveniles, adultas, senescentes). *Macrocystis* es de color café verdoso o amarillo parduzco. La planta completa sobrepasa los 30 m (Hauenstein

& González, 1994) y se adhiere fuertemente a los fondos rocosos mediante sus rizoides o discos de fijación formando extensas praderas una vez que las frondas alcanzan la superficie. (Fig. 1).

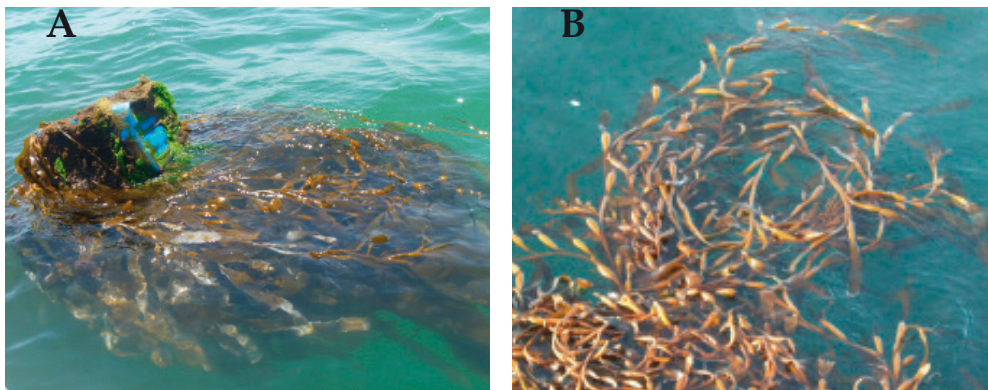


Fig. 1. Organismos adultos en estado natural: A. *Macrocystis pyrifera* y B. *M. integrifolia*. San Juan de Marcona y Bahía Independencia. Ica.

Una de las algas pardas más extensamente distribuidas en el mundo es *M. pyrifera* Agardh (1820) y forma densos bosques tanto en el hemisferio norte como en el sur, comparables a los bosques terrestres. Por las características morfológicas de los aerocistos, frondas y rizoide, se identificaron 4 ecomorfos: *M. pyrifera*, *M. integrifolia*, *M. leavis* y *M. angustifolia*. Actualmente, análisis moleculares determinaron una sola especie: *M. pyrifera* (Demes *et al.*, 2009; Macaya & Zuccarello, 2010; Astorga *et al.*, 2012), la más antigua. *M. pyrifera* posee una distribución que ha sido reportada principalmente a lo largo de las costas del Pacífico de América del Norte (México, Norte de Baja California y Alaska) y del Sur (Perú hasta Cabo de Hornos) (Alveal, 1995), Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda (Druehl, 2000); en Chile se distribuye desde Tocopilla (28°S) (Levring, 1960) hasta el Cabo de Hornos (55°S) (Ramírez & Santelices, 1991; Hoffmann & Santelices, 1997; Buschmann *et al.*, 2004), sus poblaciones forman cordones

continuos paralelos a la costa hasta 100 metros, habitando en áreas protegidas y semi protegidas del oleaje.

Las especies se caracterizan por formar densos bosques submarinos (Candia *et al.*, 1979; Palacios & Mancilla, 2003), crecen fijas al sustrato rocoso mediante un grampon o disco de fijación formando extensos cinturones costeros en el sur de Argentina y Chile (Barrales & Lobban, 1975; Santelices & Ojeda, 1984; Dayton, 1985) constituyendo la mayor reserva mundial de alginatos, proporcionando importancia económica. Desde el punto de vista ecológico, *Macrocystis* puede dar soporte a 40 o más de 275 especies en común (Beckley & Branch, 1992; Vásquez *et al.*, 2001; Graham, 2004). Evidenciando su rol ecológico en los ecosistemas donde habita.

Estudios anatómicos de otras Laminariales como *Lessonia nigrescens*, en uno de sus cauloides muestran tres zonas internas diferentes: a) meristodermo

compuesto por pocas capas de células pequeñas, b) corteza con células parenquimatosas y poliédricas y c) médula compuesta por filamentos ramificados rodeados por abundante matriz intercelular. Los filamentos de la médula son de diversos tipos, entre ellos se han identificado hifas que se originan generalmente en sentido transversal y filamentos trompetas; estos últimos dispuestos en dirección longitudinal, ramificados y de mayor tamaño que las hifas (Scrosati, 1993). Acosta, 1976 realizó un estudio histológico en *Macrocystis pyrifera* y determinó en un corte transversal del rizoide algunas similitudes con los caracteres de *Lessonia nigrescens*; encontró que las células de la zona cortical son alargadas de aspecto rectangular. La presencia de gránulos pardos amarillentos era muy abundante en las primeras capas; observó inclusive en la primera hilera o células fotosintéticas y desde la primera hasta la tercera capa de células corticales. En la vista microscópica no observó la diferenciación de una zona medular. En un corte transversal del cauloide notó cuatro hileras de células meristodérmicas pequeñas de forma cúbica y simetría radial, con abundante cromatóforos pequeños, externamente protegidos por cutículas. Hacia la zona interna observó las células de la corteza externa de mayor tamaño y de contorno poligonal. Entre éstas se ubicaban en forma esparcida los canales o cavernas mucilaginosas de tamaño pequeño (Fig. 2)

En la zona centro y sur del Perú los *kelps* se encuentran representados por la familia Lessoniaceae y Laminariaceae. Evaluación de la biomasa de poblaciones y distribución vertical de *Lessonia trabeculata* fue realizada en Ilo Perú. (Benavente & Aguirre, 1991) En la actualidad, se evalúa la distribución, concentración estado de las poblaciones y las pesquerías de las principales especies

de macroalgas pardas de esta zona. (Zavala, 2011). Estos estudios constituyen estrategias para la conservación de los *kelp* por su importancia ecológica debido a que otros recursos hidrobiológicos cohabitan en ellas, por su importancia ambiental a causa de su capacidad de absorción frente a metales pesados y por su importancia económica porque son el sustento de las comunidades costeras del centro, sur del Perú y norte de Chile. Este estudio tiene como objetivo presentar los resultados de un análisis histológico realizado en los ecomorfos de *M. pyrifera* y *M. integrifolia* de muestras colectadas en el centro del Perú. Estos resultados fueron comparados con trabajos histológicos realizados de especies taxonómicamente cercanas a *Macrocystis pyrifera*.

Material y métodos

Colecta y tratamiento de las muestras.-

Como parte de las colectas no sistemáticas para una tesis de maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, se obtuvo muestras durante el mes de abril del 2012 en el Departamento de Ica, Distrito de Marcona, en tres estaciones: Una en la zona intermareal ubicadas en Punta San Juanito (S 15°14'43.2" W 75°15'31.9") y dos estaciones submareales en Bahía San Nicolás (S 15°13'58.1" W 75°13'18.5") y Los Bancos (S 15°14'59.0" W 75°13'18.4"). Las muestras de *Macrocystis* se identificaron de acuerdo a sus características morfológicas principalmente sobre la base del rizoide y frondas.

Fueron colectados porciones del rizoide, cauloide, filoide y neumatocistos de individuos juveniles de los ecomorfos de *M. pyrifera* y *M. integrifolia*. Luego de su recolección, las muestras se limpiaron con agua de mar eliminando epífitas o

epibiontes, se preservaron en agua de mar y almacenó en hielo hasta su traslado al Laboratorio del herbario en el Museo de Historia Natural de la Universidad Mayor de San Marcos, se hicieron cortes de aproximadamente 0,2 mm de muestras en fresco de los porciones colectadas en los ecomorfos, para posteriormente realizar observaciones al microscopio óptico binocular marca OHAUS.

Resultados

En un corte transversal del caulóide de *Macrocystis integrifolia*, se pudo reconocer una zona cortical interna formada por células de tipo parenquimáticas, cumpliendo la función de un parénquima de reserva, de forma poliédricas sin un patrón de distribución ordenado (Fig. 3a); otra zona, la medular que presentó una placa cribosa formada por tubos cribosos que se entrecruzan y se observaron más densos en el centro del corte debido a la abundante matriz intercelular.

Al realizar un corte transversal del neumatócisto o aerocisto de *M. integrifolia*, se observó capas de células de mayor tamaño de forma poliédricas formando la zona cortical externa, así como la presencia de cavidades mucilaginosas a manera de poros dispuestos al azar. No se observó una zona medular (Fig. 3b).

Al observar un corte transversal del filóide en *Macrocystis pyrifera*, se reconoció una parte externa, el meristodermo, constituido por capas delgadas de células pequeñas y con mayor número de pigmentos o gránulos café-amarillentos en abundantes cromatóforos; además, de una pared celular gruesa (Fig. 3c); a continuación se observó capas de células de mayor tamaño de forma rectangular y poligonales sin una disposición definida,

éstas células presentaban paredes celulares más gruesas que las células de la capa del meristodermo y formaban la zona cortical o células corticales; seguido aparece la zona medular de menor grosor y conformada por estructuras filamentosas que proporcionan una apariencia entrelazada y compacta, éstas estructuras filamentosas son las comúnmente conocidas como hifas, formadas de las células corticales internas, otros filamentos son los llamados filamentos trompetas de mayor tamaño que las hifas, y constituyen áreas cribosas (Fig. 3d). Las observaciones con mayor aumento, 100x y 400x, permitieron identificar claramente la zona medular en un corte transversal del caulóide de *Macrocystis integrifolia* (Fig. 4a); las cavidades mucilaginosas en un corte transversal de un aerocisto de *M. integrifolia* (Fig. 4b) y tres zonas definidas: meristemo (Fig. 4c), zonas corticales y medular (Fig. 4d) en los cortes transversales de filóides en muestras de tejido de *Macrocystis pyrifera*.

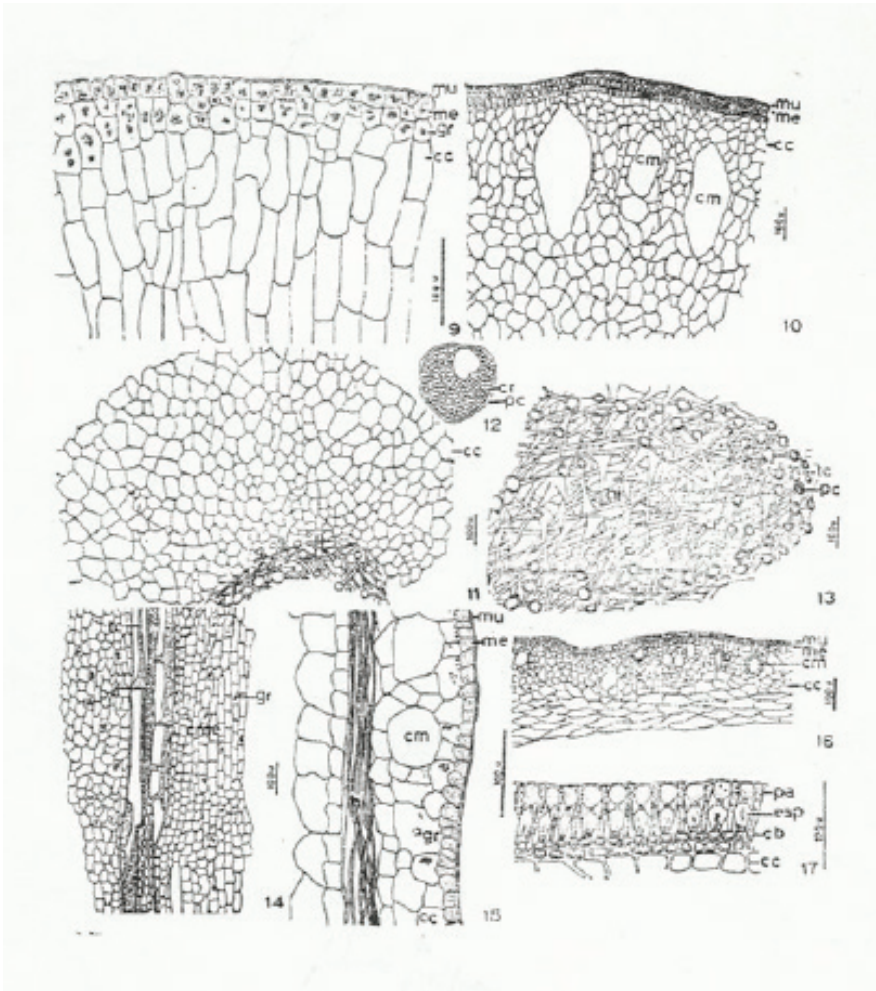


Fig. 2. Histología de *Macrocystis pyrifera* var. *humboldtii* (Benpl.) Hook & Harvey. 9. Corte transversal de rizoide; 10. Corte transversal de cauloide, zona cortical externa; 11. Corte transversal del cauloide, zona cortical interna; 12. Placa cribrosa; 13. Corte transversal del cauloide, zona medular; 14. Corte longitudinal del cauloide; 15. Corte transversal del filoide; 16. Corte transversal del neumotocisto; 17. Corte transversal de esporangio. (Fuente: Acosta, 1976).

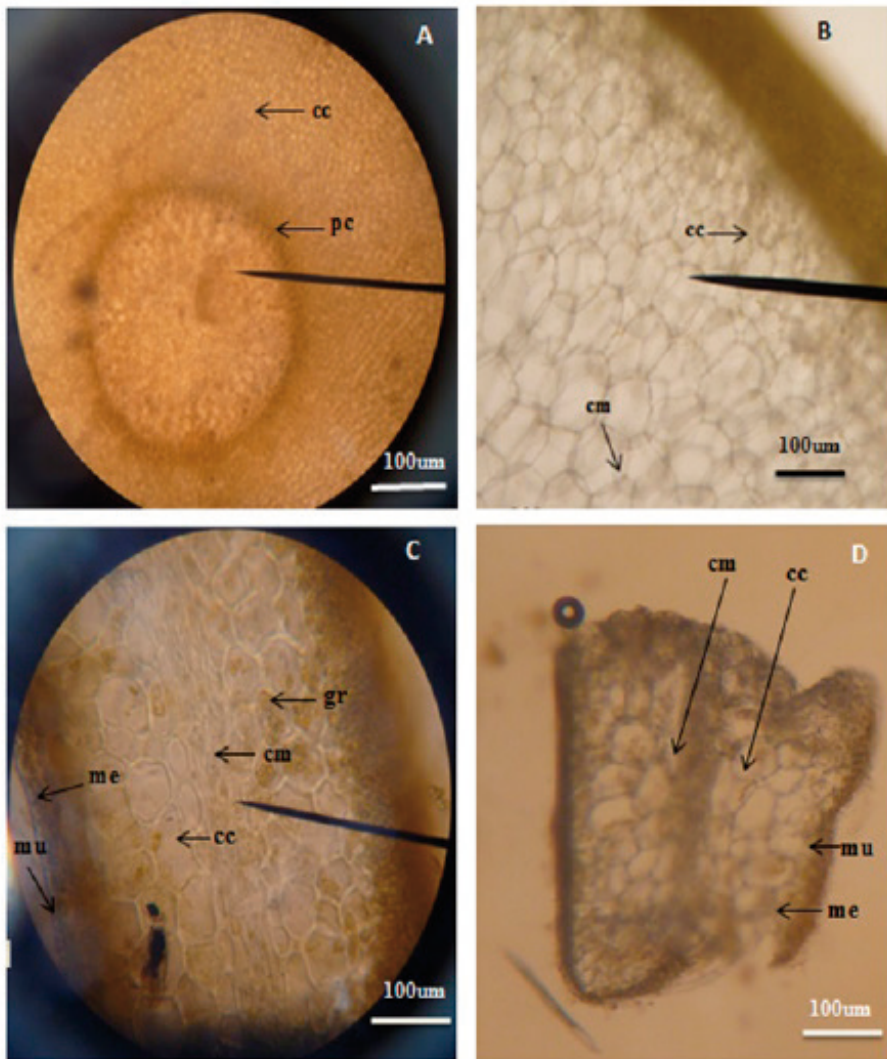


Fig. 3. Cortes histológicos de *M. integrifolia* y *M. pyrifera*. Abreviaturas usadas en las fotografías: mu: capa de mucilago; me: células meristemáticas; cc: célula cortical; cm: cavernas mucilaginosas; gr: gránulos; pc: placa cribrosa.; A. Corte transversal del cauloid de *M. integrifolia*, zona cortical interna. Lente 10x; B. Corte transversal del neumatócisto de *M. integrifolia*. Lente 40x; C. Corte transversal del filoid de *M. pyrifera*. 10x; D. Corte transversal de filoid de *M. pyrifera*. Lente 4x. Observación en estado fresco. Escala aproximada 100µm.

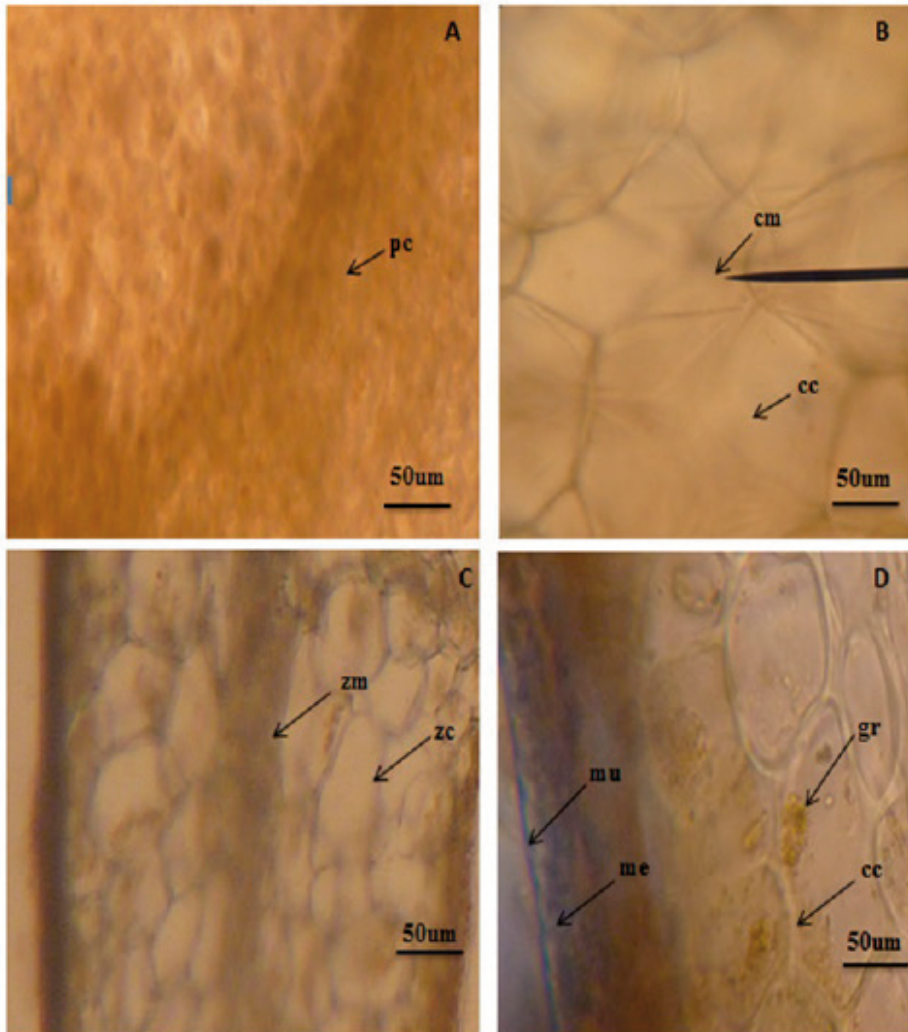


Fig. 4. Cortes histológicos de *M. integrifolia* y *M. pyrifer*. Abreviaturas usadas en las fotografías: mu: capa de mucilago; me: células meristemáticas; cc: célula cortical; cm: cavernas mucilaginosas; gr: gránulos; pc: placa cribosa; zc: zona cortical; zm: zona medular. A. Corte transversal del cauloid, zona medular de *M. integrifolia*. 100x; B. Corte transversal del pneumatocisto de *M. integrifolia*. 400x; C. Corte transversal del filoid de *M. pyrifer*. 100x; D. Corte transversal de filoid de *M. pyrifer*. 400x. Observación en estado fresco. Escala aproximada 50µm.

Discusión y conclusiones

La estructura histológica de *M. pyrifera* y *M. integrifolia* es similar a la analizada en otros géneros de Laminariales como *Lessonia nigrescens* (Scrosati, 1993); *Laminaria saccharina* (Smith, 1939). La pared con células en disposición concéntrica rodeadas por una matriz intercelular amorfa, es definida como pared celular tipo III (Kloareg & Quantrano, 1988) reportada para *L. nigrescens* (Scrosati, 1993) y presente en este análisis.

Este estudio confirma en *M. pyrifera* la alta organización de la zona medular, representada por una placa cribosa constituida por estructuras filamentosas (Parker & Huber, 1965); reportada para *Nereocystis* (Nicholson, 1976) y *Laminaria saccharina* (Sideman & Scheirer, 1977). Las Laminariales presentan hifas que se originan a partir de células corticales internas, característica propia del orden (Sykes, 1908; Nicholson, 1976; Sideman & Scheirer, 1977), lo cual se evidenció en este análisis.

Se observó la presencia de filamentos trompeta que forman las placas o tubos cribosos, los cuales fueron definidos como filamentos cribosos medulares (Esau, 1969); están asociados al transporte de sustancias orgánicas e inorgánicas a lo largo del talo y característico del orden Laminariales (Smith, 1939; Schmitz, 1990; Penot, 1992). El sistema de filamentos de la zona medular, hifas y filamentos trompetas, cumplen la función de estructuras traslocadoras (Nicholson, 1976; Scrosati, 1993).

Agradecimientos

Al Ing. Gunter Villena, de Peruvian Seaweeds (PSW) y al Instituto del Mar del Perú IMARPE por la logística facilitada, durante la tesis de maestría, para la colecta de las muestras en San Juan de Marcona y Bahía Independencia, respectivamente.

Al Herbario del Museo de Historia Natural de la Universidad Mayor de San Marcos UMSM en Lima. A la Secretaria Nacional de Educación Superior Ciencia, Tecnología e Innovación SENESCYT. Programa "Academia 2010" (Ecuador) por el financiamiento recibido como parte de una beca Doctoral en Ciencias e Ingeniería Biológicas PDCIB de la Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM. Perú.

Literatura citada

- Acleto, C.** 1986. Algas marinas del Perú de importancia económica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. N°. 5. 107 p. (Serie de divulgación).
- Acleto, C. & R. Zúñiga.** 1998. Introducción a las algas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. I Edición. Lima. Perú. 383 p.
- Acosta, J.** 1976. Estudio anatómico de tres especies de Phaeophyceae. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural "Javier Prado". Departamento de Botánica. Serie de Divulgación N°. 6. Lima. Perú.
- Agardh, C. A.** 1820. Species of algae have been duly noted, with synonymous specific differences and concise descriptions. Vol 1. Part 1. Lund. Berling. 168 p.
- Alveal, K.** 1995. Manejo de algas marinas. En: Alveal, K., Ferrario, M., Oliveira, E. & Sar, E. (Eds.) Manual de Métodos Ficológicos. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción. 825-863 p.
- Barrales, H. & C. Lobban.** 1975. The comparative ecology of *Macrocystis pyrifera* with emphasis in the forest of Chubut, Argentina. Journal of Ecology 63: 657-677.
- Beckley, L. E. & G. M. Branch.** 1992. A quantitative scuba-diving survey of the

- sublittoral macrobenthos at subantarctic Marion Island. *Polar Biology* 11: 553-563.
- Benavente, M. & G. Aguirre.** 1994. Evaluación de la Biomasa de Poblaciones de *Lessonia trabeculata* (Phaeophyta, Laminariales) del Puerto de Ilo, Perú. *Rev. investig. Cient. Tecnol. Ser. Cienc. Mar.* 3: 94-98. Iquique. Chile
- Buschmann, A. H.; J. A. Vásquez; P. Osorio; E. Reyes; L. Filún; M. C. Hernández-González & A. Vega.** 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocystis* spp. (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. *Marine Biology* 145: 849-862.
- Candia, A.; H. Romo; K. Alveal & V. Dallarossa.** 1979. Cultivo unialgal de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh de la Bahía de Concepción, Chile. *Rickia* 8: 75-83.
- D'Ambrogio de Argueso, A.** 1986. Manual de Técnicas en Histología Vegetal. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 88 p.
- Dayton, P. K.** 1985. The structure and regulation of some South American kelps communities. *Ecological Monograph* 55: 447-468.
- Druehl, L.** 2000. Pacific Seaweeds, A guide to common seaweeds of the west coast. The Canada Council Fort the Arts Since, Canada. 93 p.
- Esau, K.** 1969. The phloem. *In* Linsbauer, K. (Ed.) *Handbuch der Pflanzenanatomie*. 5 (2): 263-271. Ed. Gebruder Borntraeuger. Berlin.
- Graham, M. H.** 2004. Effects of local deforestation on the diversity and structure of Southern California giant kelp forest foods webs. *Journal Ecosystems* 7: 341-357.
- Hauenstein, E. & M. González.** 1994. Biología de las algas y plantas acuáticas. Manual de actividades prácticas. Universidad Católica de Temuco. Chile.
- Hoffmann, A. J. & B. Santelices.** 1997. Flora Marina de Chile Central. Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. 434 p.
- IMARPE** (Instituto del Mar del Perú). 2012. Estudios sobre macroalgas pardas en el sur del Perú. 2011- 2015. Volumen Extraordinario. Setiembre. Callao, Perú. 200 p.
- Izquierdo, J. L.; I. Pérez-Ruzafa & T. Gallardo.** 1997. An anatomical study of *Laminaria ochroleuca* (Laminariales, Phaeophyta). *Nova Hedwigia*. 64: 51-66.
- Kloareg, B, & R. Quantrano.** 1988. Structure of the cell walls of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 26: 259-315.
- Levring, T.** 1960. Contributions to the marine algal flora of Chile. Reports of the Lund University Chile Expedition. 1948-1949 p.
- Nicholson, N. L.** 1976. Anatomy of the medulla of *Nereocystis*. *Botany Marine*. 19: 23-31.
- Palacios, M. & A. Mansilla.** 2003. Desarrollo de gametofitos y esporofitos de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh (Laminariales: Lessoniaceae) de la Región de Magallanes en condiciones de laboratorio. *Anales del Instituto de la Patagonia Ex Serie Ciencias Naturales* 31: 43-63.
- Parker, B. C. & J. Huber.** 1965. Translocation in *Macrocystis* II. Fine structures of the sieve tubes. *Journal Phycol* I. 172-179.
- Penot, L.** 1992. Le transport a longue distance chez les grandes algues-Acquis et perspectives- Cryptogamie. *Algologie* 13

(3): 197-224.

Ramírez, M. & B. Santelices. 1991. Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. Monografías Biológicas. Nº5. Facultad de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Santelices, B. & F. Ojeda. 1984. Effects of canopy removal on the understory algal community structure of coastal forest of *Macrocystis pyrifera* from Southern South America. Journal Marine Ecology Progress 14: 165-173.

Scrosati, R. A. 1993. Anatomical Study on *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae, Laminariales) from Chile. Darwiniana. 32: 271-278.

Schmitz, K. & R. Kühn. 1982. Fine structure, distribution and frequency of plasmodesmata and pits in the cortex of *Laminaria hyperborea* and *L. saccharina*. Planta, 154 (5): 385-392.

Schmitz, K. 1990. Algae. In: Behenke, H. D & R. D. Sjolund. (eds). Sieve elements. Ed. Springer, Verlag. Berlin. Heidelberg. 1-18 p.

Sideman, E. J. & D. C. Scheirer. 1977. Some fine structural observations on developing and mature sieve elements in the brow algae *Laminaria saccharina*. American Journal of Botany. 64: 649-657.

Smith, A. I. 1939. The comparative histology of some of the Laminariales. American Journal of Botany. 26 (8): 571-585.

Sykes, M. G. 1908. Anatomy and histology of *Macrocystis pyrifera* and *Laminaria saccharina*. Annals Bot. 22: 291-325.

Tovey, D. J. & B. L. Moss. 1978. Attachment of the haptera of *Laminaria digitata* (Huds) Lamour. Journal Phycology. 17 (1): 17-22.

Vásquez, J. A.; D. Véliz & L. M. Pardo. 2001. Biodiversidad bajo las grandes algas. In Sustentabilidad de la Biodiversidad: Un problema actual, bases científico-técnicas, teorizaciones y perspectivas, K. Alveal & T. Antezana (eds.), Concepción: Universidad de Concepción, 293-308 p.

Zavala, J. 2011. Macroalgas pardas y su uso sostenible. Ministerio del Ambiente MINAM, Instituto del Mar del Perú IMARPE. Dirección General de diversidad Biológica-MINAM. Dirección de Investigaciones de Recursos Demersales y del Litoral. 16 p.

