

ESPORAS DE *FUNARIA HYGROMETRICA* Y *ENTOSTHODON LAXUS* (FUNARIACEAE, BRYOPHYTA) PARA LA REGIÓN DE TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

MARÍA R. PIÑEIRO¹

Summary: Spores of *Funaria hygrometrica* and *Entosthodon laxus* (Funariaceae, Bryophyta) from Tierra del Fuego, Argentina. The Funariaceae Schwägr. is represented in Tierra del Fuego, by the genera *Entosthodon* Schwägr. with a single species, *E. laxus*, and *Funaria* Hedwig with, with *F. hygrometrica* var *hygrometrica* and *F. hygrometrica* var. *fuegiana*. They are analyzed and described, based on fresh and herbarium material sporophytes and spores of the species named, plus the variety of one of them. The observations were made with light and scanning electron microscopes. The sporophytes of both genera have capsules with different shape, color and length. In the spores differences are observed in the size and surface ornamentation. It can be concluded that the study of sporophytes, especially the analysis of the spores, provide significant characteristics that contribute to differentiation and systematics of these taxa.

Key words: Argentina, Tierra del Fuego, Bryophyta, Funariaceae, spores, sporophyte, morphology.

Resumen: La familia Funariaceae se halla representada en Tierra del Fuego, por los géneros *Entosthodon* Schwägr. y *Funaria* Hedw. *Entosthodon* con una única especie, *E. laxus*, y *Funaria* con dos variedades, *F. hygrometrica* var. *hygrometrica* y *F. hygrometrica* var. *fuegiana*. Se analizan y describen, en base a material fresco y de herbario, los esporofitos y esporas de las especies citadas, más la variedad de una de ellas. Las observaciones se hicieron con Microscopios Óptico y Electrónico de Barrido. Los esporofitos de ambos géneros presentan cápsulas con distinta forma, color y longitud. En las esporas se observan diferencias en el tamaño y ornamentación de la superficie. Se puede concluir que el estudio de los esporofitos, y en especial el análisis de las esporas, aportan características significativas que contribuyen a la diferenciación y sistemática de estos taxa.

Palabras clave: Argentina, Tierra del Fuego, Bryophyta, Funariaceae, esporas, esporofito, morfología.

INTRODUCCIÓN

La familia Funariaceae tiene una amplia distribución geográfica, consta de aproximadamente 16 géneros y unas 300 especies. En Argentina, crecen tres géneros: *Entosthodon* Schwägr., *Funaria* Hedw. y *Physcomitrium* (Brid.) Brid. En la isla de Tierra del Fuego solo están presentes, *Entosthodon*, con la única especie *E. laxus* (Hook. f. & Wilson) Mitt., y *Funaria* con dos variedades, *F. hygrometrica* Hedw. var. *hygrometrica* y la variedad

F. hygrometrica var. *fuegiana* (Müll. Hal.) Besch., constituyendo importantes componentes de la vegetación muscinal de los bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser "Lenga" (Matteri, 2003).

Los gametofitos de las especies de *Entosthodon* y *Funaria* son verde-brillante, con tallos acrocápicos, simples o poco ramificados; crecen sobre suelo en forma de céspedes laxos o más o menos densos y presentan mucha similitud entre ellos, lo que dificulta distinguir a cada uno en el campo (Fife, 1987). Así como en estas plantas hay semejanza entre los gametofitos, puede ocurrir como en el género *Goniomitrium* Hook. f. & Wilson, familia Funariaceae, que se observe gran similitud esporofítica entre las especies (Stone, 1981).

¹ Cátedra de Palinología. Edificio de Institutos, Cátedras y Laboratorios, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina, raakky@yahoo.com.ar

Funaria hygrometrica, uno de los musgos más estudiados desde el punto de vista anatómico (Fife, 1985; Fife & Seppelt, 2001), fisiológico, fitoquímico (Olesen & Mogensen, 1978) y molecular (Capesius, 1997) tiene la particularidad de crecer sobre suelos disturbados y alterados por incendios, por lo que es común observar sus plantas en áreas de fogones, sobre sustrato quemado.

Fife (1985, 1987) estudió la familia Funariaceae para la región de Australia y Nueva Zelanda, analizando detalladamente las características sistemáticas de los gametofitos y esporofitos, describiendo de manera general a las esporas.

En *Funaria hygrometrica*, las esporas fueron estudiadas por varios autores. Boros *et al.* (1993) describen en un atlas la morfología de las esporas como atremas y con una región adelgazada sobre la cara proximal. Ghi-sen *et al.* (1997) mencionaron un leptoma proximal. Lashin (2011), en su estudio sobre las Bryophyta del sudoeste de Arabia, observó la morfología de las esporas de *Funaria muhlenbergii* Turm., de tipo baculado y describió la pared en sección, desde afuera hacia adentro con la denominación de esclerina e intina.

Las esporas de *Entosthodon laxus*, fueron escasamente estudiadas, algunos autores como Boros *et al.* (1993), Fife (1985, 1987), aportaron una descripción morfológica general.

La esporodermis en las esporas de musgos, consta de tres paredes: *intina*, interna; *exina*, media, ambas sintetizadas por la propia espora; y una tercera pared, *perina*, de origen tapetal. Durante el desarrollo, la exina interna, se deposita en lamelas paralelas (Fig. 1, I), y es común observarla substratificada. En esporas fósiles, afines a hepáticas (Sphaerocarpaceae), del Silúrico superior/Devónico inferior, Hemsley (1994) observó y describió esta estructura lamelar en el taxón *Naiadita lanceolata* Buckman, uno de los fósiles con estructuras fértiles, mejor preservado y estudiado (Harris, 1939).

La perina, última pared adicional típica de los musgos, se forma por la sucesiva depositación de glóbulos del tapete (Neidhart, 1979; Brown & Lemmon, 1990) y provee a la espora una superficie adicional de ornamentación. Permite además, separar a estas esporas de las que tienen las Hepáticas y Antoceros (McClymont & Larson, 1964; Brown & Lemmon, 1990; Renzaglia *et al.*, 1997).

La perina y exina, son las paredes que

generalmente participan de la ornamentación de las esporas (Brown & Lemmon, 1990; Polevova, 2015).

Mogensen (1983) y Brown & Lemmon (1990), interpretaron a la exina e intina de estas esporas, como básicamente similares a la exina e intina de los granos de polen de las plantas vasculares, utilizando la misma terminología para su descripción.

En Argentina son escasos los estudios palinológicos sobre esporas de Briofitas. Una destacada brióloga de nuestro país, Celina Matteri, pionera en el estudio de los musgos, incorporó para algunos géneros, la descripción de las esporas (Matteri 1987, 2003; Piñeiro & Matteri, 2000).

Esta contribución tiene como objetivo aportar datos sobre el análisis de los esporofitos y de las esporas en particular, que puedan resultar de interés para la sistemática del grupo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en base a material fresco y de herbario, de la Fundación Miguel Lillo, Tucumán (LIL) y del Museo de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” (BA), colectado durante sucesivas campañas a la isla de Tierra del Fuego, organizadas por la Prof. Celina Matteri y la Dra. Schiavone, en algunas de las cuales tuve la oportunidad de participar, observar y coleccionar material en el campo. Se estudiaron ejemplares de *Entosthodon laxus* y de las dos variedades de *Funaria hygrometrica*.

Se observaron bajo la lupa entre 15 y 20 esporofitos de cada ejemplar, distinguiendo forma y color de las cápsulas, tipo de peristoma y longitud de las setas. Se efectuaron gráficos de esporofitos, utilizando cámara clara anexada a microscopio.

Para la observación y estudio al Microscopio Óptico (MO), las esporas fueron tratadas químicamente con carbonato de sodio al 3%, en caliente durante 2 minutos y luego acetolizadas según la técnica de Erdtman (1960), 2 minutos. Para una mejor turgencia, las esporas fueron suspendidas en solución de agua glicerina (50 %), hidratadas en baño maría a 80°C, durante 10 minutos. Las esporas fueron tomadas de distintas cápsulas maduras y montadas en preparados de glicerina-gelatina. Las mediciones de 20-25 esporas por cápsula, se efectuaron empleando microscopios Olympus CH-2 y BH-2.

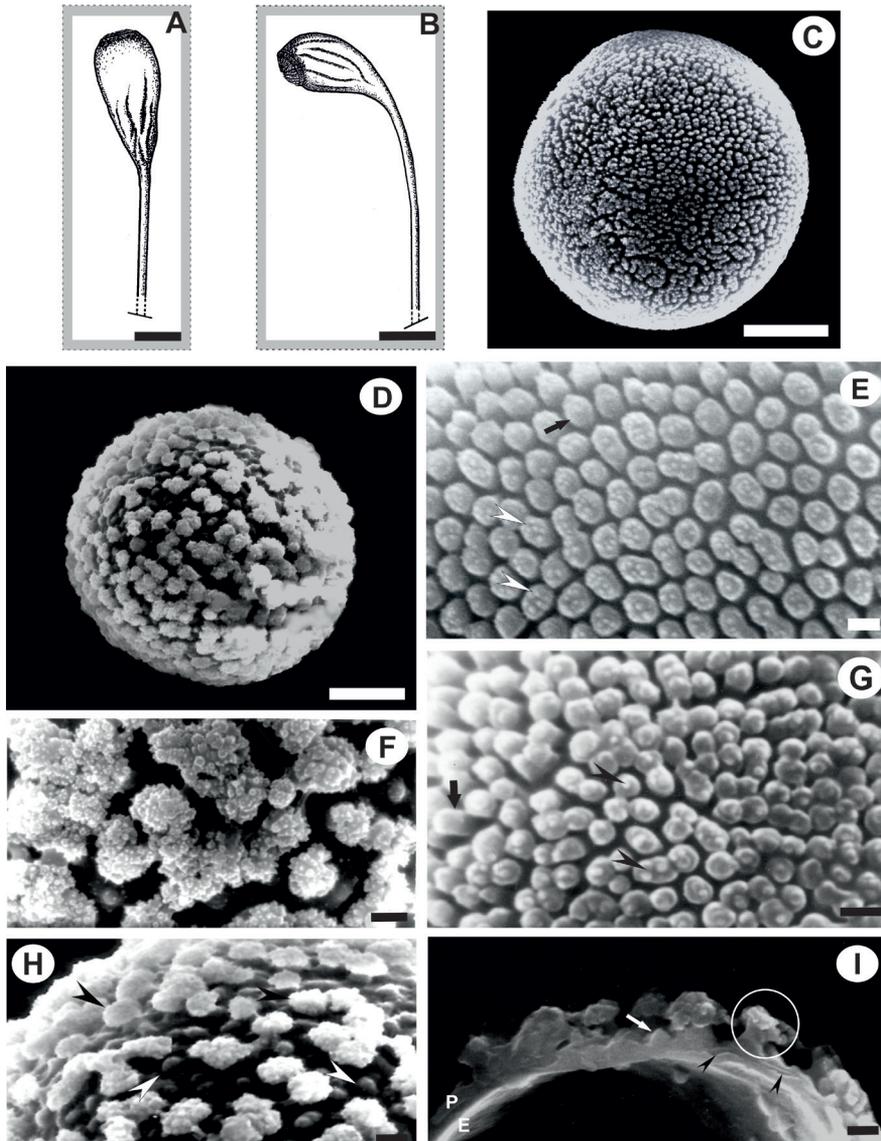


Fig. 1. *Entosthodon laxus*: (A) Dibujo del esporofito en el que se observa la forma alargada y erecta de la cápsula. (D) Forma y aspecto general de la espora. (F) Superficie de la espora en la que se observa la escultura insulada con equínulas en número variable. (H) Vista de la espora en la que se puede observar la escultura doble, con verrugas en un nivel inferior (cabezas de flecha blancas) y procesos baculados que se ensanchan y anastomosan hacia el ápice formando ínsulas (cabezas de flecha negras). (I) Sección de la espora en la que se observan dos paredes: perina (P) y exina (E). Se visualizan procesos baculados (uno de ellos indicado con un círculo), que se bifurcan y anastomosan hacia el ápice en formas irregulares. En una región de la sección se observa la estructura lamelar de la exina (cabezas de flecha). Sobre el nivel inferior se visualiza una verruga (flecha). ***Funaria hygrometrica* var. *hygrometrica*:** (B) Dibujo del esporofito en el que se observa la forma alargada y péndula de la cápsula. (C) Forma y aspecto general de la espora. (E) Superficie de la espora en la que se observan procesos de forma baculada (flecha negra), con espínulas en el ápice (cabezas de flecha blancas). ***Funaria hygrometrica* var. *fuegiana*:** (G) Vista en la que se observan procesos baculados (flecha negra) con espínulas en el ápice (cabezas de flecha negra). Escalas: A, B:1 mm; C: 5 μ m; D: 10 μ m; E, F, G, H: 250 μ m; I: 0,5 μ m.

Para el análisis al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), las esporas previamente tratadas e hidratadas, fueron fijadas en FAA, deshidratadas en series graduadas de alcohol etílico (20-70%), montadas sobre cinta bifaz y metalizadas con oropaladio. Las fotografías fueron tomadas con un microscopio JEOL, JSMT-100.

La descripción de las esporas se basó en las terminologías empleadas por Kremp (1965), Clarke (1979) y Punt *et al.* (2007), y la utilizada en los trabajos de Olesen & Mogensen (1978), Mogensen (1981, 1983) y Brown & Lemmon (1990) para las esporas de musgos en particular.

Los preparados quedan depositados en la Palinoteca de la Cátedra de Palinología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP.

Material estudiado

Entosthodon laxus

ARGENTINA. Prov. Tierra del Fuego: Bahía Buen Suceso, Matteri & Schiavone CM 3653 (LIL, BA); Dpto. Ushuaia, Glaciar el Martial, Matteri & Schiavone CM 3675 (LIL, BA), Tierra Mayor, Matteri, Schiavone & Piñeiro; Arroyo Grande, Siete Cascadas (Matteri, Schiavone & Piñeiro; Laguna Verde (LIL, BA).

Funaria hygrometrica var. *hygrometrica*

ARGENTINA. Prov. Tierra del Fuego: Dpto. Ushuaia, Glaciar el Martial, Matteri & Schiavone CM 2787 (LIL, BA); Bahía Buen Suceso, Matteri & Schiavone CM 3488 (LIL, BA); Siete Cascadas, Matteri & Schiavone (LIL, BA); Laguna Verde, Matteri, Schiavone & Piñeiro (LIL, BA); Tierra Mayor, Matteri, Schiavone & Piñeiro (LIL, BA); Arroyo Grande, Siete Cascadas, Matteri, Schiavone & Piñeiro (LIL, BA).

Funaria hygrometrica var. *fuegiana*

ARGENTINA. Prov. Tierra del Fuego: Dpto. Ushuaia, Sloggett bay, Spegazzinii 71, LPS 41409.

RESULTADOS

Caracteres de los esporofitos

Los esporofitos de *Entosthodon laxus* tienen setas pardo-verdosas, de 10 a 20 mm de altura,

y cápsulas pardo-verdosas, erectas, cilíndricas y simétricas (Fig. 1, A). El peristoma es doble, variando desde bien desarrollado a rudimentario, reducido o ausente.

Funaria hygrometrica var. *hygrometrica* presenta setas rojizas, de 15 a 40 mm de altura, cápsulas pardo-rojizas, péndulas, cilíndricas y asimétricas (Fig. 1, B). El peristoma es doble, con dientes bien desarrollados que pueden unirse en el ápice. La variedad, *F. hygrometrica* var. *fuegiana*, presenta también setas rojizas, de 10 a 15 mm de altura, cápsulas algo más pequeñas, pardo-rojizas, péndulas, cilíndricas y asimétricas. El peristoma es doble, con dientes bien desarrollados.

Caracteres de las esporas

Las esporas de *Entosthodon laxus*, estudiadas al MO y MEB, son esferoidales, aletas, de 30 a 40 μm de diámetro, con una escultura doble (Reyre, 1968), en la que se diferencia un nivel inferior con verrugas, y un nivel superior, con elementos baculados que se ensanchan, bifurcan y anastomosan hacia el ápice formando estructuras que recuerdan a los pedicelos de la coliflor (Fig. 1, D, F, H, I). Vista en superficie la ornamentación es insulada, con espínulas en número variable sobre el ápice bifurcado de cada báculo.

En *Funaria hygrometrica* var. *hygrometrica*, al MO y MEB, las esporas son esferoidales, aletas, de 15 a 20 μm de diámetro, con escultura baculada. Los procesos son báculos simples, con 3 o más espínulas sobre el ápice (Fig. 1, C, E). Las esporas de *F. hygrometrica* var. *fuegiana*, son esferoidales, aletas, de 13 a 17 μm de diámetro, con escultura baculada. Los procesos son báculos simples, con 3 o más espínulas sobre el ápice (Fig. 1, G).

En sección, las esporas de *Entosthodon* y *Funaria*, tienen una esporodermis formada por tres paredes: *intina*, la más interna, hialina y no resistente al tratamiento químico; *exina*, resistente y escultrada, y *perina*, la pared más externa, hialina, resistente, también escultrada (Fig. 1, I).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, cuando se estudian y analizan las plantas de musgos, algunos géneros presentan tanta similitud entre sus gametofitos, que es imposible distinguirlos cuando no están fértiles. Cobra así

importancia, el estudio de las estructuras que aporta la fase esporofítica. Tal es el caso de las plantas de *Entosthodon* y *Funaria*, fáciles de confundir en el campo, sólo distinguibles por el color y largo de las setas, y forma y color de las cápsulas.

Pero no siempre las características del esporofito contribuyen en la identificación de los taxa, como ocurre en las especies de *Goniomitrium* (Stone, 1981), con esporofitos similares, y esporas monoletes, reticuladas, que si bien son diagnósticas a nivel genérico, no resultan útiles para distinguir las especies. En este caso, a la inversa, serán los caracteres del gametofito los que permitirán la identificación de las especies.

En relación a los taxa analizados, *Entosthodon laxus* tiene setas más cortas, pardo-verdosas, y cápsulas pardo-verdosas, erectas, cilíndricas y simétricas. *Funaria hygrometrica* var. *hygrometrica* tiene las setas más altas, pardo-rojizas, y cápsulas pardo-rojizas, péndulas, cilíndricas y asimétricas (Tabla 1). La variedad *F. hygrometrica* var. *fuegiana* presenta similares características, aunque con setas y cápsulas levemente más pequeñas.

En cuanto a las esporas, el estudio aportó caracteres que también contribuyen a la diferenciación de ambos taxa, en base al tamaño, escultura y forma de los procesos esculturales. *Entosthodon laxus* produce esporas con mayores diámetros y escultura doble, en la que se distingue

un nivel inferior con verrugas, y un nivel superior, con elementos baculados que se ramifican y anastomosan hacia el ápice. *Funaria hygrometrica* var. *hygrometrica* presenta esporas con diámetros menores, escultura simple, baculada, con espínulas en el ápice (Tabla 1). En la variedad de *Funaria* var. *fuegiana*, se observa una leve diferencia en el tamaño de las esporas, algo más pequeñas.

Lashin (2011) describió para las esporas de *Funaria muhlenbergii*, sólo dos paredes, una externa, esclerina y otra interna, intina. El término esclerina se utiliza cuando es dificultoso diferenciar perina de exina. En las muestras estudiadas, se pudieron observar tres paredes en sección: *perina*, típica de los musgos, *exina* e *intina*. La perina y la exina externa son las paredes responsables de la ornamentación de las esporas. En la parte interna de la exina se observaron lamelas paralelas, estructura ya presente y observada en esporas del Silúrico superior/Devónico inferior.

En el material estudiado al microscopio óptico no se pudo observar el leptoma, pero es común que las esporas se abollen sobre un lado, lo que hace sospechar la presencia de esta zona adelgazada.

Con los datos obtenidos, se puede concluir que el estudio de los esporofitos, y en especial el análisis de las esporas, aportan características significativas que contribuyen a la diferenciación y sistemática de ambos géneros.

Tabla 1. Caracteres comparativos entre los esporofitos de *Entosthodon laxus* y *Funaria hygrometrica*.

		<i>Entosthodon laxus</i>	<i>Funaria hygrometrica</i>	
E S	Setas	Pardo-verdosas	Pardo-rojizas	
		10 a 20 mm	15 a 40 mm	
P O R O	Cápsulas	Pardo-verdosas	Pardo-rojizas	
		Cilíndricas	Cilíndricas	
		Erectas	Péndulas	
		Simétricas	Asimétricas	
F		Con peristoma doble, bien desarrollado a rudimentario, reducido o ausente.	Con peristoma doble, bien desarrollado, con dientes, a menudo unidos en el ápice.	
I T O S	Esporas	Tamaño	30 a 40 µm	15 a 20 µm
		Escultura	Doble, con verrugas y elementos baculados.	Simple, con elementos baculados.
			Superficie insulado-equinulada	Superficie equinulada
		Procesos esculturales: ramificados y anastomosados.	Procesos esculturales: simples, no ramificados.	

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su agradecimiento a la Dra. Marta A. Morbelli, por la lectura crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias; a la Lic. Beatriz Biasuso, de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, por la verificación de datos de algunos ejemplares de herbario, y a la Prof. Patricia Sarmiento de la Unidad de Microscopía Electrónica de Barrido, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

BIBLIOGRAFÍA

- BOROS, A., M. JÁRAI-KOMLÓDI, Z. TÓTH. & S. NILSSON. 1993. *An atlas of recent European bryophyte spores*. Scientia Kiadó, Budapest.
- BROWN, R. C. & B. E. LEMMON. 1990. *Sporogenesis in bryophytes*. In: BLACKMORE, S. & R. B. KNOX (eds.), *Microspores, evolution and ontogeny*, pp. 55–94. Acad. Press, London.
- CAPESIUS, I. 1997. Analysis of the ribosomal RNA gene repeat from the moss *Funaria hygrometrica*. *Plant Molecular Biology*, 33: 559-564.
- CLARKE, G. C. S. 1979. *Spore morphology and bryophyte systematics*. In: CLARKE, G. C. S. & J. G. DUCKETT (eds.) *Bryophyte Systematics*. Systematics Association Special Volume 14: 231-250. Academic Press London.
- ERDTMAN, G. 1960. The acetolysis method. A revised description. *Sv. Bot. Tidsskr.* 54: 561-564.
- FIFE, A. J. 1985. A generic revision of the Funariaceae (Bryophyta: Musci). Part I. *Hattori Bot. Lab.* 58: 149-196.
- FIFE, A. J. 1987. Taxonomic and nomenclatural observations on the Funariaceae. A revision of the Andean species of *Entosthodon*. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 45: 302-325.
- FIFE, A. J. & R. D. SEPPELT. 2001. A revision of the family Funariaceae (Musci) in Australia. *Hikobia* 13: 473-490.
- GHI-SEN, D., W. MEI-ZHI & Z. YU-LONG. 1997. Morphology observation of some moss spores. *Symposium on 2000's Bryology*, pp. 61-62, Beijing.
- HARRIS, T. M. 1939. *Naiadita*, a fossil Bryophyte with reproductive organs. *Annales Bryologici* 12: 57-69.
- HEMSLEY, A. R. 1994. *Exine ultrastructure in the spores of enigmatic Devonian plants: its bearing on the interpretation of relationships and on the origin of the sporophyte*. In: KURMANN, M. H. & J. A. DOYLE (eds.). *Ultrastructure of fossil spores and pollen*, pp. 1-21. Royal Botanic Garden, Kew.
- KREMP, G. O. W. 1965. *Morphologic Encyclopedia of Palynology*. The University of Arizona Press, Tucson.
- LASHIN, G. M. 2011. Fine structures of some bryoflora spores from Saudi Arabia. *Egypt. J. Exp. Biol. (Bot.)*, 7: 35-41.
- MATTERI, C. M. 1987. Las esporas recientes de los Musci (Bryophyta) de las turberas de *Sphagnum* de Tierra del Fuego. *Bol. IG-USP*, Instituto de Geociencias, Univ. S. Paulo 17: 109-119.
- MATTERI, C. M. 2003. Los musgos (Bryophyta) de Argentina. *Tropical Bryology* 24: 33-100.
- McCLYMONT, J. W. & D. A. LARSON. 1964. An electron-microscope study of spore wall structure in the Musci. *Am. J. Bot.* 51: 195–200.
- MOGENSEN, G. S. 1981. The biological significance of morphological characters in bryophytes: the spore. *Bryologist* 84: 187–207.
- MOGENSEN, G. S. 1983. *The spore*. In: R. M. SCHUSTER (ed.), *New Manual of Bryology*, vol. 1: 325–342. The Journal of the Hattori Botanical Laboratory.
- NEIDHART, H. V. 1979. *Comparative studies of sporogenesis in bryophytes*. In: CLARKE, G. C. S. & J. G. DUCKETT (eds.). *Bryophyte Systematics*, pp. 251-280, London.
- OLESEN, P. & G. S. MOGENSEN. 1978. Ultrastructure, histochemistry and notes on germination stages of spores in selected mosses. *Bryologist* 81: 493-516.
- PIÑEIRO, M. R. & C. M. MATTERI. 2000. Las esporas de las Funariaceae (Musci, Bryophyta) de Tierra del Fuego, Argentina. *Libro de Resúmenes, Gayana Botánica* 57 (Supl.): 27-28.
- POLEVOVA, S. V. 2015. Sporoderm ultrastructure of *Oedipodium griffithianum* (Oedipodiopsida, Bryophyta). *Arctoa* 24: 419-430.
- PUNT W., P. P. HOEN, S. BLACKMORE, S. NILSSON & A. LE THOMAS. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143: 1–81.
- RENZAGLIA, K. S., K. D. McFARLAND & D. K. SMITH. 1997. Anatomy and ultrastructure of the sporophyte of *Takakia ceratophylla* (Bryophyta). *American Journal of Botany* 84: 1337-1350.
- REYRE, Y. 1968. La sculpture de l'exine des pollens des Gymnospermes et des Chlamydospermes et son utilisation dans l'identification des pollens fossiles. *Pollen et Spores*, vol. 10: 197-220.
- STONE, I. G. 1981. Spore morphology and some other features of *Goniomitrium* Hook. & Wils. (Funariaceae). *Journal of Bryology*, 11: 491-500.

Recibido el 21 de junio de 2016, aceptado el 15 de septiembre de 2016.