

## Micro identificación taxonómica y nuevos caracteres diagnósticos del erizo marino *Astropyga pulvinata* (Diadematoida: Diadematidae)

Pablo A. Juárez-Espinoza<sup>1</sup>, Francisco Alonso Solís-Marín<sup>2</sup> & Roberto A. Arreguín-Espinosa<sup>3</sup>

1. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito exterior universitario s/n. México; pablo\_juaes@yahoo.com.mx
2. Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, ICML, UNAM; fasolis@cmarl.unam.mx
3. Laboratorio de Química de Biomacromoléculas, Instituto de Química. UNAM; arrespin@servidor.unam.mx

Recibido 29-V-2014. Corregido 03-X-2014. Aceptado 18-XI-2014.

**Abstract: Taxonomic microidentification and new diagnostic characters of the sea urchin *Astropyga pulvinata* (Diadematoida: Diadematidae).** *Astropyga pulvinata* is a sea urchin of the family Diadematidae that have five pairs of series of blue iridescent spots on interambulacral zones, from *in vivo* observation of 20 individuals under stereo-microscope and Scanning Electron Microscope analysis identification, the pedicellariae, spicules, and calcareous rosettes. The pedicellariae of *A. pulvinata* have three valves and are of three types: claviform, present on ambulacres; tridentates present on peristome and triphyllous present all over the test except in interambulacral areas. So ophicephalous pedicellariae are not bounded with a calcareous stalk. Ten types of spicules were observed from different soft tissues: one type from the intestine; three from the anal membrane; and six from the peristome, two of them constitute new diagnostic characters. One of them having a bat-shaped form and the other one with a waning crescent shape. *In vivo* observations showed that the blue iridescent spots were present on interambulacral areas as group of 35 cells bounded, and that other smaller spots were present on the ambitus, composed by eight cells. Rev. Biol. Trop. 63 (Suppl. 2): 49-58. Epub 2015 June 01.

**Key words:** claviform, tridentate, triphyllous pedicellariae; spicules, blue iridescent spots.

Los erizos de mar son equinodermos de la clase Echinoidea que poseen un sistema vascular acuífero y un endoesqueleto calcáreo (testa) (Ruppert & Barnes, 1996). Presentan pequeñas estructuras accesorias en la superficie del cuerpo llamadas pedicelarios que sólo están presentes en las estrellas de mar (asteroideos) y erizos de mar (equinoideos), las funciones de éstos son la protección y limpieza del organismo (Killian & Wilt, 2008).

*Astropyga pulvinata* es un equinoideo regular que se caracteriza por presentar dos pares de series de puntos de color azul iridiscente a lo largo de cada una de las zonas interambulacrales. Es un miembro de la familia Diadematidae, por lo que presenta espinas largas, puntiagudas y armadas con espineletas. Las espinas pueden ser bandeadas con colores

turquesa, amarillo y blanco o bien lisas de color blanco o púrpura (Mortensen, 1940; Caso, 1978). Esta especie habita sobre fondos rocosos, arenosos, sedimentos finos, o en arrecifes coralinos. Se distribuye desde San Miguel del Cabo, Baja California, México hasta Isla Lobos de Afuera, Perú; a profundidades que van desde 0 a los 95 m (Caso, 1990; Solís-Marín et al., 2013).

Los trabajos taxonómicos existentes de *A. pulvinata* son únicamente los bosquejos de las espículas y pedicelarios realizados por Mortensen (1940) y las fotografías de los organismos de Caso (1978, 1990). El trabajo ecológico más reciente es el de Alvarado (2008), el cual consiste en un monitoreo en las costas de Costa Rica, donde se establece que esta especie tiene un comportamiento estacional, con

una migración a aguas superficiales durante la época de afloramiento. En vista de que son escasos los estudios sobre esta especie y que la identificación taxonómica de los equinoideos se realiza a partir de caracteres evidentes como son: la forma de la testa, longitud y color de las espinas, la posición de la linterna de Aristóteles, entre otros (Kroh & Smith, 2010), en la presente investigación se emplearon las microestructuras como pedicelarios y espículas presentes en *A. pulvinata* con el fin de corroborar la identificación de esta especie y actualizar los bosquejos de Mortensen (1940) con imágenes de Microscopio Electrónico de Barrido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Mantenimiento de los organismos:** Se obtuvieron 15 organismos vivos en un acuario de la ciudad de la Ciudad de México, los cuales se acondicionaron en un acuario marino por 30 días, con las siguientes características: temperatura de 28 °C, salinidad de 25 ups y fotoperiodo de 8 h de luz. Los organismos fueron alimentados con alga roja (*Sea Veggies Porphyra* sp.) y se les adicionó por semana un aditivo con calcio y magnesio con una concentración de 16.6 y 3.6 mg l<sup>-1</sup> respectivamente (Azoo AZ17235).

**Análisis de organismos en vivo:** Además de trabajar con los organismos depositados en la colección, también se analizaron los organismos vivos utilizando un estereoscopio (ZEISS Stremi DV4) para observar las características morfológicas principales de la especie estudiada. Las características macroscópicas descritas por Mortensen (1940) y Caso (1978) se utilizaron para analizar a los especímenes de *A. pulvinata* depositados en la Colección Nacional de Equinodermos “Dra. María Elena Caso Muñoz” del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (siglas de la colección: ICML-UNAM).

**Obtención de espículas y pedicelarios:** Las espículas y los pedicelarios se obtuvieron de diferentes regiones de la testa, membrana

bucal, peristoma y de órganos internos (intestino, esófago y gónadas). Para la obtención de estas microestructuras se empleó la metodología propuesta por Solís-Marín et al., (2009), en la cual los tejidos se colocan en un tubo Eppendorf de 1.5 ml, se les adiciona hipoclorito de sodio, se deja reposar 10 min y se centrifuga a 1 000 rpm durante 10 min.

Para determinar cuál era el mejor tratamiento para la remoción de la materia orgánica para obtener las microestructuras, se hicieron diluciones de cloro comercial con agua en la siguiente proporción 1:0, 1:1 y 1:2; y también se empleó una solución de peróxido de hidrógeno al 20% (Sigma) sugerida por Coppard y Campbell (2006).

Una vez removida la materia orgánica se realizaron una serie de lavados con agua destilada, filtrada y desionizada por intervalos de 10 min centrifugados a 1 000 rpm. En cada lavado el sobrenadante se removió con una pipeta Pasteur (este paso se realizó dos veces).

**Tratamiento de espículas y pedicelarios para el Microscopio Electrónico de Barrido:** Una vez obtenidas las espículas y los pedicelarios estos se sometieron a una serie de lavados con etanol en el siguiente gradiente: 70, 80, 90 y 100 %. En cada lavado el tubo se centrifugó a 1 000 rpm por 10 min y el sobrenadante se eliminó con una pipeta Pasteur. Después del último lavado, las muestras se sometieron a secado por medio de punto crítico (T = 31 °C y P = 72.9 bar) en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Biología, UNAM. Las muestras fueron colocadas sobre una etiqueta de carbón previamente adherida a un porta-muestras metálico, para posteriormente ser recubiertas con una capa de oro y de esa manera obtener las imágenes en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) (Solís-Marín et al., 2009).

## RESULTADOS

**Análisis *in vivo*:** Se midieron y revisaron 29 ejemplares de *A. pulvinata* depositados en la Colección Nacional de Equinodermos del

ICML, de los cuales 14 estaban preservados en seco y 15 en alcohol. La altura máxima de la testa en los ejemplares analizados fue de 3 cm, con un diámetro máximo de 11 cm. El ejemplar más pequeño revisado en este trabajo (ICML-UNAM 4.8.8, ambitus = 8 cm) (Cuadro 1) corresponde al registro más profundo de la especie hasta ahora reportado (95 m), con el ánimo de validar taxonómicamente su identidad taxonómica (dado su tamaño tan pequeño) se corroboró la morfología a partir de la comparación de la forma de la base de las espinas y forma de las espículas del peristoma (entre éste y ejemplares adultos de la especie) con ayuda del MEB (Fig. 1).

En base a las medidas presentadas en cuadro 1, se puede determinar existe una relación

directa entre la altura de la testa y el diámetro del peristoma; el peristoma presenta una media de  $28.5 \pm 2.1$  mm y la altura de las testas  $27.7 \pm 2.3$  mm.

Las observaciones de los organismos *in vivo*, bajo un microscopio estereoscópico, revelaron que los puntos iridiscentes de la zona interambulacral se encuentran alineados oblicuamente (Fig. 2 A). Se identificaron las rosetas calcáreas que conforman el disco suctor de los podios ambulacrales las cuales presentan forma de coronas con distintas crestas (Fig. 2 B). Se observó que los pedicelarios están unidos al pedúnculo calcáreo por medio de un tejido elástico (Fig. 2 C). Cada uno de los puntos iridiscentes está compuesto por aproximadamente de 35 células gigantes (aproximadamente 0.01

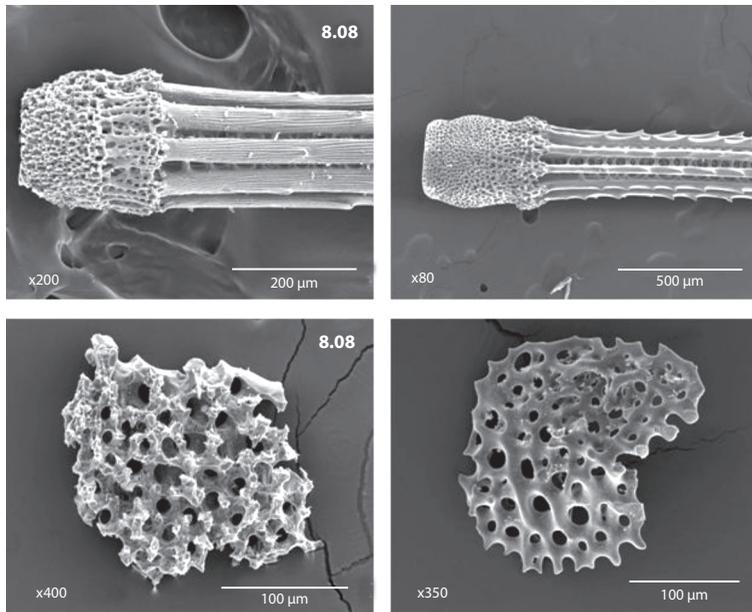
CUADRO 1

Medidas de los ejemplares de *Astropyga pulvinata* depositados en la Colección Nacional de Equinodermos, ICML

TABLE 1

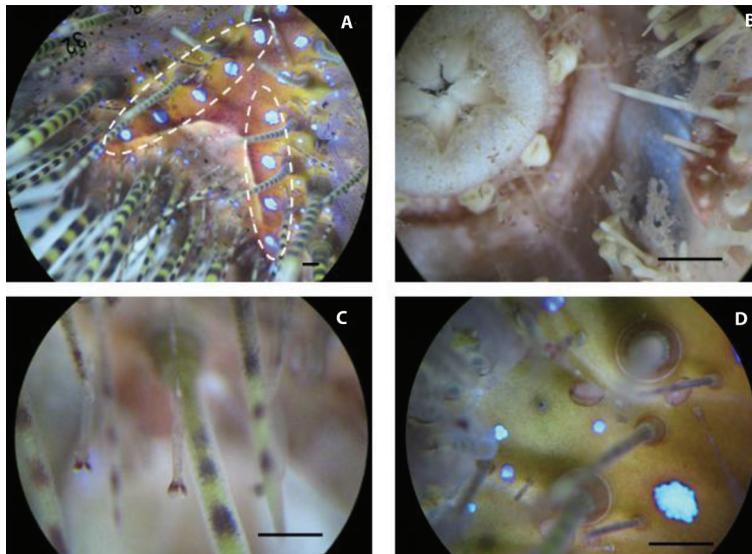
Specimen sizes of *Astropyga pulvinata* records held at the Colección Nacional de Equinodermos, ICML

No. Catálogo (ICML-UNAM)	Ambitus (mm)	Alto (mm)	Disco apical (mm)	Peristoma (mm)	Ancho de linterna de Aristóteles (mm)	Profundidad (m)
4.8.0	89	29	22	29	3	12.0-21.0
4.8.1	94	28	26	30	3	ND
4.8.1	92	26	27	33	4	ND
4.8.2	48	13	11	14	2	30.09-33.436
4.8.2	42	12	10	13	2	30.09-33.436
4.8.2	34	12	9	12	2	30.09-33.436
4.8.2	37	12	9	12	1	30.09-33.436
4.8.3	61	18	13	19	1	ND
4.8.3	57	18	13	19	1	ND
4.8.3	58	18	14	18	1	ND
4.8.3	91	30	20.5	ND	ND	ND
4.8.3	72	26	17	24	3	ND
4.8.4	105	33	26	ND	ND	ND
4.8.4	103	35	21	31	5	ND
4.8.4	83	22	19	25	4	ND
4.8.6	35	11	8	14	1	10
4.8.7	33	13	11	11	2	3.5
4.8.7	39	11	7	11	1	3.5
4.8.8	8	1	1	4	0	95
4.8.9	34	10	9	12	1	ND
4.8.9	22	8	6	8	0.5	ND
4.8.10	35	12	8	12	1	ND
4.8.10	29	11	9	13	1	ND
4.8.11	140	36	28	35	5	ND
4.8.12	50	16	11	11	1	6
4.8.13	88	29	17	27	3	12
4.8.14	110	28	25	31	6	ND
4.8.14	103	28	23	30	6	ND
4.8.14	79	25	17	24	6	ND



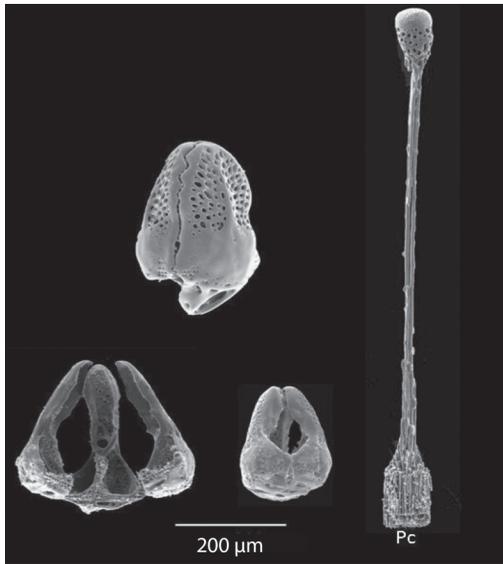
**Fig. 1.** Comparación de estructuras entre un juvenil y un adulto de *Astropyga pulvinata*. Lado izquierdo, ejemplar juvenil (ICML-UNAM 4.8.8), lado derecho, ejemplar adulto. Forma de la base de las espinas primarias (superior); espículas del peristoma (inferior).

**Fig. 1.** Comparison of structures between a juvenile and an adult of *Astropyga pulvinata*. Left side, juvenile specimen (ICML-UNAM 4.8.8), right side, adult specimen. Shape of the base of primary spines (up); ossicles from the peristome (below).



**Fig. 2.** *Astropyga pulvinata*, animal vivo. A = detalle de la zona apical interambulacral mostrando la alineación de los puntos iridescentes, B = peristoma, C = pedicelarios con tejido y pedúnculo, y D = detalle de los puntos iridescentes de un área apical ambulacral; A-D escala = 0.5 mm.

**Fig. 2.** *Astropyga pulvinata*, living animal. A = detail of the apical interambulacral area showing the arrangement of the iridescent dots, B = peristome, C = pedicelariae showing its tissue and stalk, and D = details of the iridescent dots at one apical ambulacral area; A-D scale bar = 0.5 mm.



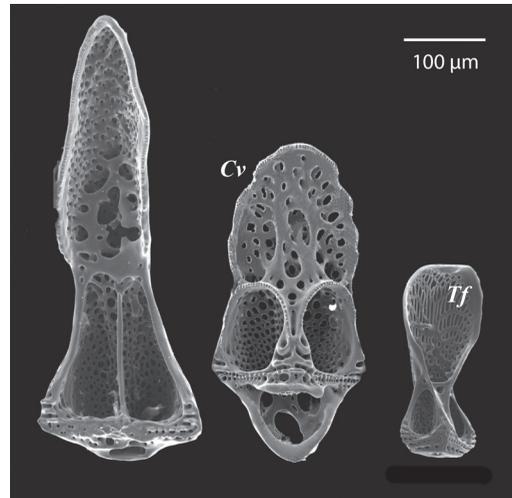
**Fig. 3.** *Astropyga pulvinata*. Pedicelarios trivalvados y pedúnculo calcáreo (Pc).

**Fig. 3.** *Astropyga pulvinata*. Triphyllous pedicellariae and rod-like calcareous stalk (Pc).

- 0.02 mm de diámetro cada una) (Fig. 2 D) y están articulados a la testa por un pedúnculo de tejido; no obstante, se observaron puntos más pequeños sobre toda la superficie del ambitus formado por ocho células (Fig. 2 D).

Mediante las imágenes del MEB, se observó que los pedicelarios presentes en *A. pulvinata* son trivalvados (Fig. 3) y de tres tipos: a) *tridentados*, que se encuentran cerca del peristoma (Fig. 4 [Td]); b) *Trifoliados*, que son los más abundantes y pequeños, y se ubican por toda la testa excepto en las zonas interambulacrales; y c) *claviformes*, presentes en el ambulacro (Fig. 4 [Cv]). Los pedicelarios tridentados y trifoliados son los únicos que presentan pedúnculo calcáreo, y se encuentran unidos directamente a la testa por un tejido (Fig. 2 C y Fig. 3 [Pc]).

En lo que respecta a las espículas, se encontraron 10 tipos de espículas: seis en el peristoma, una en el intestino y tres en la membrana anal. De las espículas presentes en el peristoma cuatro se asemejan a los bosquejos realizados por Mortensen (1940), mientras que los dos tipos de espículas restantes presentan

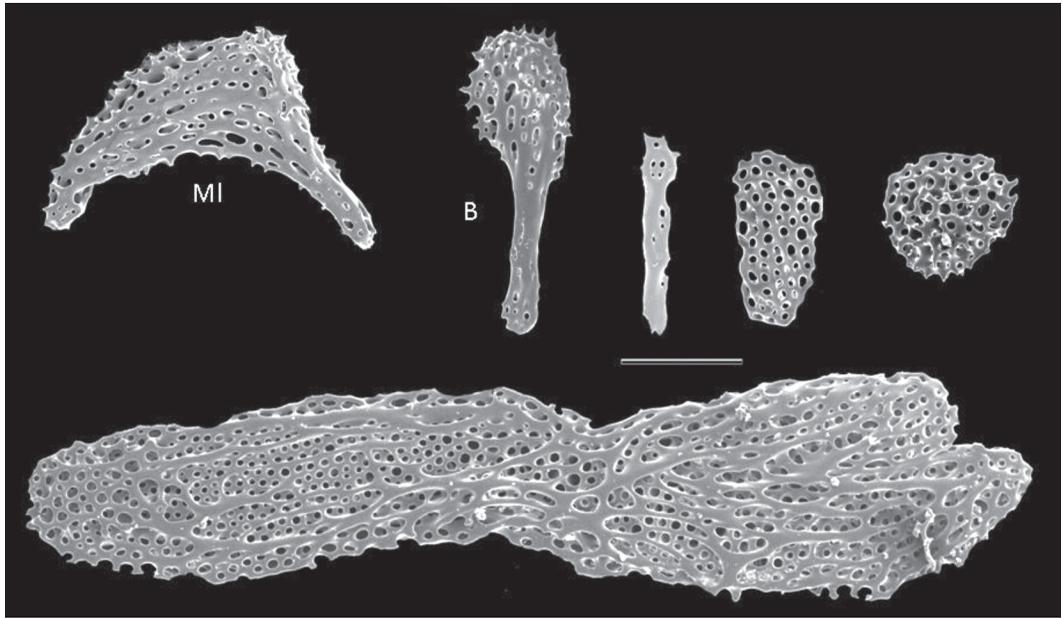


**Fig. 4.** *Astropyga pulvinata*. Vista interna de las valvas de pedicelarios, Td = tridentados, Cv = claviformes y Tf = trifoliados.

**Fig. 4.** *Astropyga pulvinata*. Internal view of the pedicellariae valves, Td = tridentated, Cv = claviform and Tf = Triphyllous.

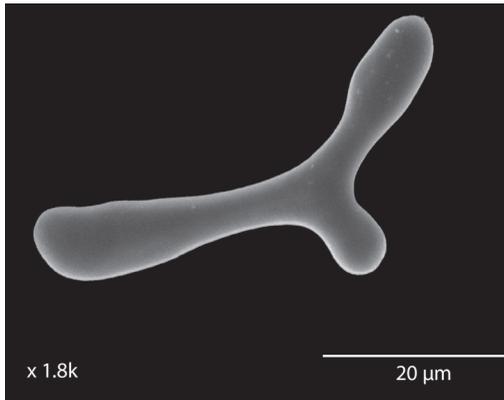
las siguientes características: 1) *Media luna*, son estructuras porosas con forma de luna creciente con uno de los extremos truncado de manera angular (Fig. 5 [MI]) y 2) *Basto*, estructuras porosas que presenta un extremo más ancho que el otro (Fig. 5 [B]). La espícula obtenida del intestino (Fig. 6) es similar a la descrita por Mortensen (1940). Las espículas encontradas en la membrana anal (Fig. 7) pueden ahora sumarse a los caracteres anteriores (ya conocidos) para la identificación de esta especie. También se identificaron las rosetas calcáreas que conforman el disco suctor de los podios ambulacrales (Fig. 8B), las cuales presentan forma de coronas con distintas crestas (Fig. 8A).

De los tratamientos empleados para la obtención de las microestructuras, el tratamiento de cloro al 3 % fue el que dio mejor resultados porque permitió la obtención de los pedicelarios claviformes, mientras que la técnica con peróxido reaccionó en forma violenta con la piel de los órganos internos, y en los tejidos externos de la testa no degradaba por completo la materia orgánica, dañando las espículas



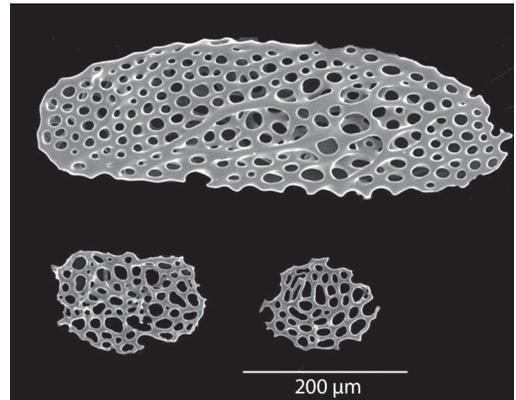
**Fig. 5.** *Astropyga pulvinata*. Espículas del peristoma, *MI* = media luna y *B* = basto. Escala = 200  $\mu$ m.

**Fig. 5.** *Astropyga pulvinata*. Ossicles from the peristome, *MI* = waning crescent shape and *B* = rod. Scale = 200  $\mu$ m.



**Fig. 6.** *Astropyga pulvinata*, espícula de la pared intestinal.

**Fig. 6.** *Astropyga pulvinata*, ossicles from the intestinal wall.



**Fig. 7.** *Astropyga pulvinata*, espículas de la membrana anal.

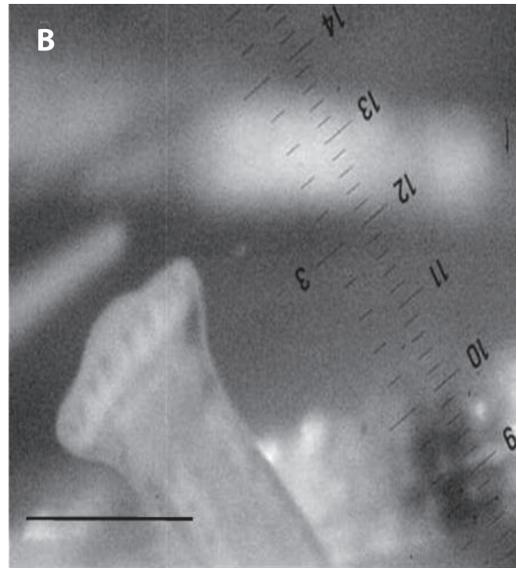
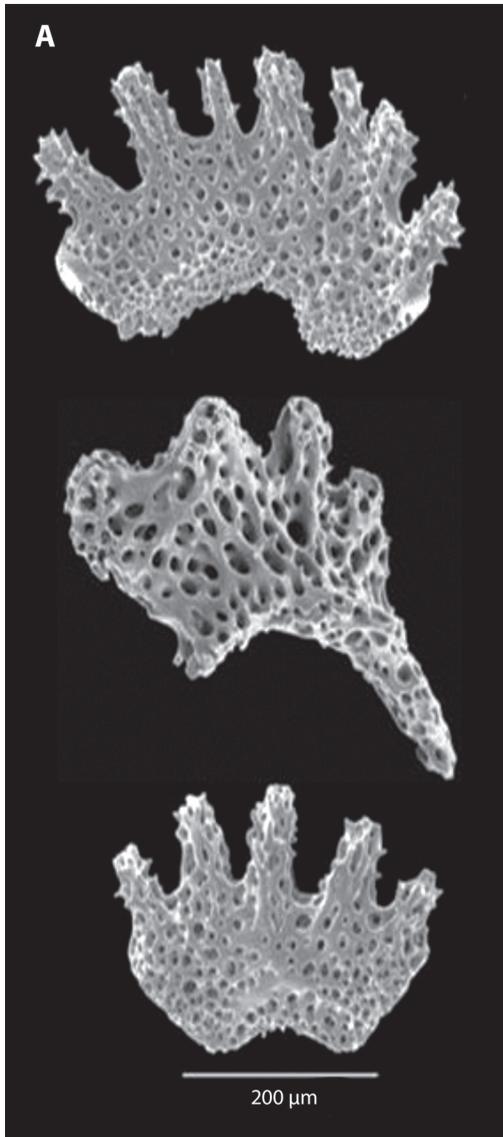
**Fig. 7.** *Astropyga pulvinata*, ossicles from the anal membrane.

y dejando material (residuos) que ocultaban la morfología de las espículas (Fig. 9).

## DISCUSIÓN

*Astropyga pulvinata* presenta tres de los cuatro tipos de pedicelarios reportados en la literatura. D'yakonov (1969) menciona que los

miembros de la familia Diadematidae carecen de pedicelarios globíferos. Los pedicelarios tridentados son comunes en la zona oral, están unidos al pedúnculo por un cuello de tejido conectivo y sus valvas son alargadas en forma de hojas, característicos de la familia Diadematidae (Fig. 4 [*Td*]) (D'yakonov, 1969); estos responden a estímulos mecánicos para remover



**Fig. 8.** *Astropyga pulvinata*. A- rosetas calcáreas presentes en los podios ambulacrales. B- detalle de un podio ambulacral, escala = 0.25 mm.

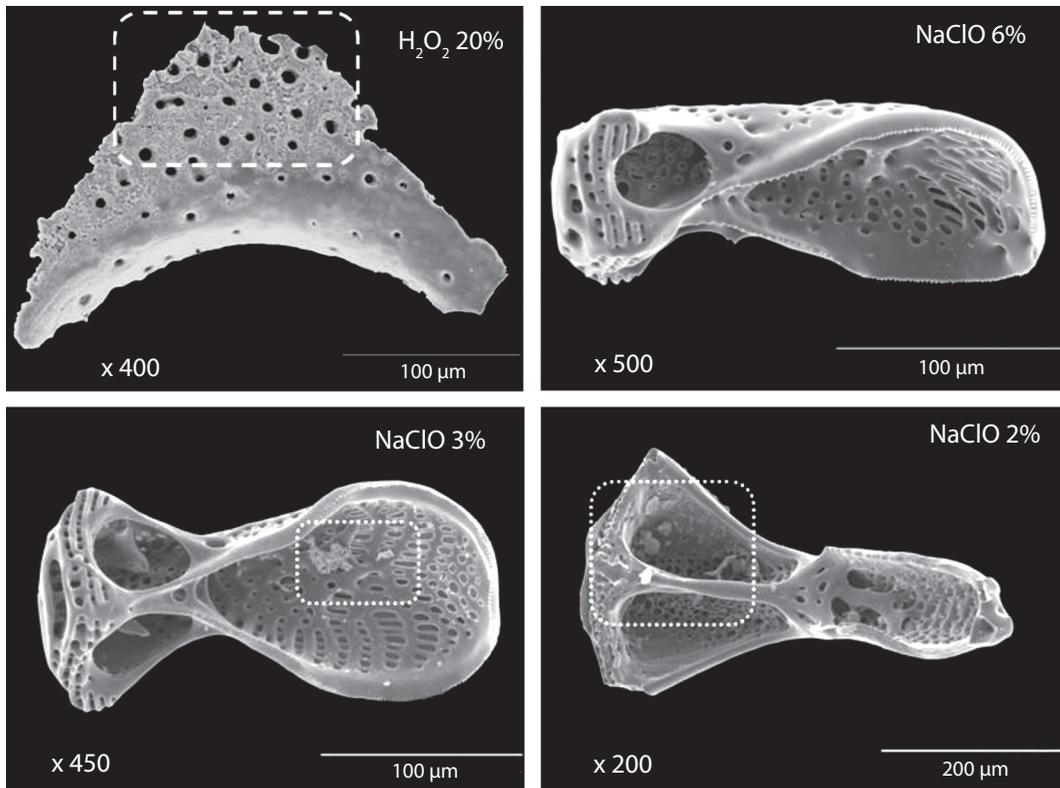
**Fig. 8.** *Astropyga pulvinata*. A- calcareous rosettes of the tubefeet. B- detail of a tubefeet, scale = 0.25 mm.

partículas u organismos parásitos. Los pedicelarios tridentados de diademátidos presentados por Coppard et al. (2010) son muy diferentes a los encontrados en *A. pulvinata* esto debido quizá a que estos autores usaron otro miembro de la familia Diadematidae (*Diadema* sp.), en el trabajo antes mencionado, se puede observar que la región distal (superior del pedicelario) es más alargada y armada con ornamentaciones en el borde de la valva, mientras que en *A. pulvinata* es más corta y solo presenta pequeños

dientecillos en el borde de la región distal (Mortensen, 1940; Campbell, 1972; Lawrence, 1987; Coppard & Campbell, 2006).

Los pedicelarios trifoliados son los más pequeños de todos los pedicelarios (Fig. 4 Tf); están unidos a un pedúnculo con un cuello de tejido y distribuidos por toda la testa (Campbell, 1972; Lawrence, 1977; Coppard & Campbell, 2006) y las valvas son más redondeadas; los pedicelarios son más parecidos a los descritos por Mortensen (1940) que a los encontrados por Coppard et al. (2010).

Los pedicelarios claviformes son una variedad de pedicelarios oficéfalos, los cuales carecen de pedúnculo (Fig. 4 Cv) (D'yakonov, 1969; Coppard et al., 2010) y son característicos de los diademátidos juveniles. Los pedicelarios claviformes identificados por Coppard et al. (2010) no presentan ninguna similitud con los encontrados en este trabajo y las descripciones de Mortensen (1940). Mientras que el pedúnculo calcáreo encontrado en este trabajo (Fig. 3 [Pc]) es de tipo diadematoide según



**Fig. 9.** *Astropyga pulvinata*. Fotografías de microscopio de barrido electrónico mostrando los resultados con los distintos tratamientos empleados en este trabajo para la obtención de pedicelarios; rectángulo de línea cortada = daño en la estructura; rectángulo de línea punteada = restos en la estructura.

**Fig. 9.** *Astropyga pulvinata*. Scanning electron microscope pictures showing the results on different techniques using in this work to obtaining pedicellariae; dashed line rectangle = damage on the microstructure; dotted lined rectangle = debris on the microstructure.

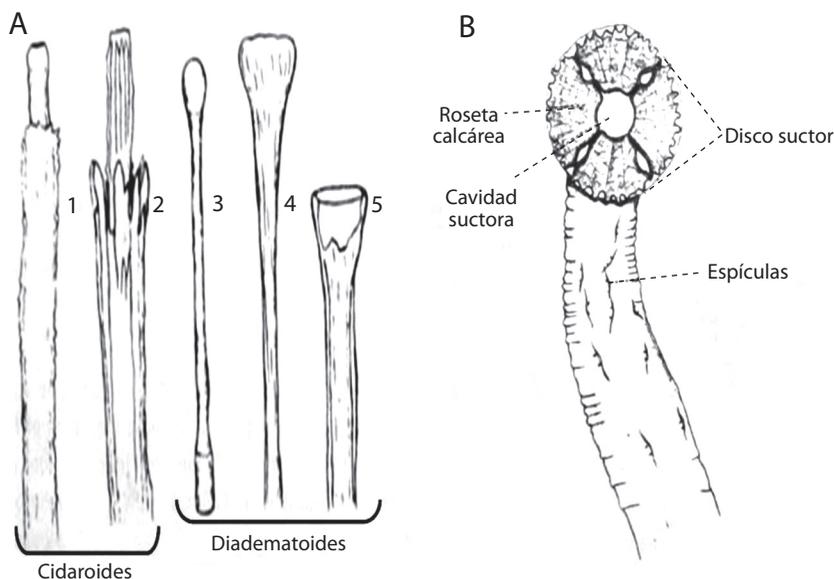
D'yakonov (1969) (Fig. 10 A[3]), el cual fue obtenido de *Strongilocentrotus purpuratus*.

Es posible que método con  $H_2O_2$  emplea- do por Coppard et al., (2010), no sea el más adecuado para la limpieza de los pedicelarios y espículas, debido a que no permite comparar este tipo de estructuras con las descritas por Mortensen (1940) y las del presente trabajo. No obstante, esta metodología conserva el cuello del pedicelario (Fig. 2C), el cual está unido al pedúnculo calcáreo (Fig. 3 [Pc]).

De las espículas obtenidas de *A. pulvinata*, solo la del intestino (Fig. 6) y las cuatro del peristoma (Fig. 5) se asemejan a los bosquejos de Mortensen (1940), en los cuales las espículas del intestino son de tipo trirradiadas y las del peristoma son de forma irregular (Mortensen,

1940; D'yakonov, 1969). Lawrence (1987) también reporta espículas del peristoma de otras especies de equinoideos, pero éstas no se parecen a las obtenidas en el presente trabajo, ya que son cuerpos en forma de "C" (semi-lunar) y las de *A. pulvinata* son porosas y diversas (Fig. 5). Las dos espículas restantes del peristoma (Fig. 5 [MI] y [B]) y las de la membrana anal (Fig. 7) no fueron reportadas por Mortensen (1940); sin embargo, las medias lunas presentan similitud con un bosquejo presentado por D'yakonov (1969) obtenido en ejemplares de *Parasalenia graciosa*, la cual es nombrada como espícula en forma de "C" característica en equinoideos.

En base a los tipos de pedicelarios y espículas encontradas en *A. pulvinata* se puede



**Fig. 10.** A- tipos de pedicelarios. B- podio ambulacral (Tomado de D'yakonov, 1969).

**Fig. 10.** A- types of pedicellariae. B- tubefeet (from D'yakonov, 1969).

corroborar la taxonomía actual propuesta por Kroh y Smith (2010), ya que los pedicelarios tridentados y el pedúnculo son característicos de la familia Diadematae y la espícula de forma de media luna son características de la clase Echinoidea.

D'yakonov (1969) propone usar la forma de las rosetas calcáreas y la forma de sus crestas como un carácter taxonómico para distinguir a *A. pulvinata* de sus congéneres, sin embargo, durante el transcurso de este trabajo, se revisaron las formas de las rosetas y las crestas que presentan, llegando a la conclusión de que presentan una gran variedad de formas (Fig. 8 A), lo cual sugiere, por su amplia variación morfológica, que tal carácter merece un estudio más detallado, para poder ser propuesto o descartado como un carácter taxonómico para la identificación de esta especie de equinoideo.

#### AGRADECIMIENTOS

P.A.J.E. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca de posgrado (maestría); a la M. en C. Ma. Berenit Mendoza Garfias del Instituto

de Biología UNAM por el procesado de las muestras de MEB; al Dr. Alfredo Laguarda Figueras y M. en C. Alicia Durán González de la Colección Nacional de Equinodermos ICML, UNAM, por permitirnos el acceso al estudio de los ejemplares depositados en ella.

#### RESUMEN

*Astropyga pulvinata* es un diademático que posee cinco pares de series de puntos iridiscentes presentes en los interambulacros. A partir de la observación 20 individuos *in vivo* a través de un estereoscopio y el análisis con un Microscopio Electrónico de Barrido se identificaron los pedicelarios, las espículas y las rosetas calcáreas de los pies ambulacrales. Los pedicelarios presentes en *A. pulvinata* son trivalvados y de tres tipos: claviformes (oficéfalos) presentes en ambulacro; tridentados distribuidos en el peristoma; y trifoliados presentes en toda la testa excepto en los interambulacros. Los pedicelarios claviformes son los únicos que no están unidos por un pedúnculo calcáreo de tipo diadematoide. Se obtuvieron diez tipos de espículas de diversos tejidos blandos: uno del intestino; tres de la membrana anal y seis del peristoma, dos de las cuales no han sido descritas hasta el momento. Uno de estos nuevos tipos de espículas reportados posee forma de basto y otro de media luna. De las observaciones *in vivo* se encontraron puntos iridiscentes más pequeños presentes en el ambitus constituidos por aproximadamente ocho células.

**Palabras clave:** Pedicellarias claviformes, trifoliadas, tridentadas; espículas; puntos iridiscentes.

## REFERENCIAS

- Alvarado, J. J. (2008). Seasonal occurrence and aggregation behavior of the sea urchin *Astropyga pulvinata* (Echinodermata: Echinoidea) in Bahía Culebra, Costa Rica. *Pacific Science*, 62, 579-592.
- Campbell, A. C. (1972). The form and function of the skeleton in pedicellariae from *Echinus esculentus* L. *Tissue & Cell*, 4, 641-661.
- Caso, M. E. (1978). Los equinoideos del Pacífico de México Parte primera- Órdenes Cidaroida y Aulodonta, Parte segunda- Órdenes Stirodonta y Camarodonta. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 1, 1-244.
- Caso, M. E. (1990). I. Las especies del género *Hesperocidaris* Mortensen, *Astropyga* Gray, *Arbacia* Gray y *Lytechinus* Agassiz, colectadas en las campañas oceanográficas Cortés 1, 2, 3 a bordo del B/O "El Puma". *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 17, 83-94.
- Coppard, S. E., & Campbell, A. C. (2006). Systematic significance of tridentate pedicellariae in the echinoid genera *Diadema* and *Echinothrix*. *Invertebrate Biology*, 125, 363-378.
- Coppard, S. E., Kroh, A., & Smith, A. B. (2010). The evolution of pedicellariae in echinoids: an arms race against pests and parasites. *Acta Zoologica*, 93, 125-148.
- D'yakonov, M. A. (1969). *Fauna of Russia and adjacent countries. Echinodermata. Volume I. Echinoidea*. Jerusalem, Israel: Program for Scientific Translation.
- Killian, C. E., & Wilt, F. H. (2008). Molecular aspects of biomineralization of the echinoderm endoskeleton. *Chemical Reviews*, 108, 4463-4474.
- Kroh, A., & Smith, A. B. (2010). The phylogeny and classification of post-Palaeozoic echinoids. *Journal of Systematic Palaeontology*, 8, 147-212.
- Lawrence, J. (1987). *A functional biology of echinoids*. The Johns Hopkins University Press. Florida.
- Mortensen, T. (1940). *A monograph of the Echinoidea III, Aulodonta with additions to vol. II (Lepidoncentroidea and Stirodonta)*. Copenhagen: Reital Publisher.
- Mortensen, T. (1977). *Handbook of Echinoderms of British Isles*. The Netherlands: Clarendon Press Oxford.
- Ruppert, E. E. & Barnes, R. D. (1996). *Zoología de los Invertebrados*. México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Solis-Marín, F.A., Arriaga-Ochoa, J., Laguarda-Figueras, A., Frontana-Urbe, S., & Durán-González, A. (2009). *Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California*. México: CONABIO ICML-UNAM.
- Solis-Marín, F.A., Alvarado, J. J., Pérez-Ruzafa, A., Hernández, J. C., Morata, A., Marcos, C., ... Williams, S. M. (2013). Appendix. In: J. J. Alvarado & F. A. Solis-Marín (Eds.), *Echinoderm research and Diversity in Latin America* (pp. 543-654). Berlin: Springer.