



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON  
CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS  
HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS  
BIOLOGÍA MARINA**

PRESENTA:  
**BIÓL. YOSSELLIN TAPIA DE LA O**

**TUTORA PRINCIPAL:**  
DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**COMITÉ TUTOR**  
DR. ALFREDO LAGUARDA FIGUERAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA  
DR. FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
DR. RODOLFO RIOJA NIETO  
UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN SISAL

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON  
CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS  
HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS  
BIOLOGÍA MARINA**

PRESENTA:  
**BIÓL. YOSSELLIN TAPIA DE LA O**

**TUTORA PRINCIPAL:**  
DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**COMITÉ TUTOR**  
DR. ALFREDO LAGUARDA FIGUERAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA  
DR. FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
DR. RODOLFO RIOJA NIETO  
FACULTAD DE CIENCIAS

**MÉXICO, CD. MX., ENERO, 2018**

## Agradecimientos institucionales

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi *alma mater* por abrirme las puertas para continuar con mi desarrollo profesional y personal.

Al posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por permitirme realizar los estudios de posgrado y continuar mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca 713718/590698 que me permitió completar mis estudios de posgrado.

A mi tutora, la Dra. Elva Escobar por abrirme las puertas al increíble y fascinante mundo de la oceanografía, por confiar en mi trabajo, por permitirme crecer como estudiante y navegar en cruceros de investigación, por su apoyo constante y la guía para la conclusión de este trabajo.

A los integrantes de mi comité por aceptar ser parte de él, por creer en este trabajo y por el apoyo constante que se ahora se ve materializado en este escrito.

Al Dr. Alfredo Laguarda por todos los comentarios positivos que recibí sobre este trabajo que me motivaron a seguir adelante y a dar lo mejor de mí. Por compartir su extraordinaria experiencia y pasión por los equinodermos.

A la Dra. Blanca Buitrón por siempre recibirme con una sonrisa y hacer más amenos los exámenes tutorales, por sus valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron esta tesis. Por la amena compañía y pláticas en el Congreso Latinoamericano de Equinodermos en Costa Rica.

Al Dr. Francisco Solís por compartirme la pasión por los equinodermos, por el apoyo brindado desde el inicio con la taxonomía y la dedicación para lograr identificar los ofiuroideos hasta especie, un trabajo duro y que aún falta pulir pero no dude que continuará. Por desafiarme con la microscopía electrónica y lograr que me apasionara de ella montando cada una de mis muestras, admirando cada una de las fotografías e interpretándolas. Por todos los comentarios que hizo a este trabajo y los consejos que me dio para hacerlo mejor.

Al Dr. Rodolfo Rioja, por todos los comentarios que me hicieron replantear ideas y preguntas, buscar nueva información y encontrar soluciones para enriquecer este trabajo. Por las observaciones en la parte estadística que me permitieron comprender muchas cosas nuevas.



To the Monterey Bay Aquarium Research Institute, whom in collaboration with Instituto de Ciencias del Mar y Limnología completed the oceanographic cruise "Gulf of California 2015 Sea Floor" which provided all the samples used in this study. Also for the willfulness to share all the data from the dives of the cruise.

To Dr. Jim Barry, chief scientist, for all the support on board RV Western Flyer to get samples, data and video, his guidance on board, sharing his work and experience.

To the ROV Dock Ricketts pilots, Knute, Bryan, Mark, Ben and Randy, for their extraordinary work they do collecting samples and data. For always asking "¿uno mas?" and their kindness.

To Natalya Gallo, for her disposition to collect samples and doing ophiuroid transects. For being so amiable and patient.

To Dr. Tim O'Hara, for his valuable time to analyze the photographs from structures of the ophiuroid specimens and taxonomical corrections, which greatly helped the development and conclusion of this study.

A la maestra Yolanda Hornelas del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por la toma de fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y por las muy amenas platicas que tuvimos, por compartir la pasión por la biología y encontrar formas e historias en las fotografías obtenidas. Por la dedicación con la que realizó su trabajo.

Al M. en C. Rafael Quintanar del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por la toma de fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), por las platicas tan amenas que tuvimos, por resolver las dudas más simples sobre microscopía y por su disposición y entusiasmo para trabajar.

A la Biól. Susana Guzmán del Laboratorio de Microscopía y Fotografía de la Biodiversidad, del Instituto de Biología por la capacitación en el uso del microscopio estereoscópico Leica y el espacio físico para la toma de fotografías de estructuras diagnósticas.

Al Dr. Pablo Hernández Alcántara por su asesoría en la utilización del Software PRIMER7, por resolver todas y cada una de las pequeñas dudas que tenía y exponer comentarios que reforzaron la parte estadística de este trabajo.

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

Al Ing. Francisco Ponce Núñez por la elaboración de los mapas que muestran los sitios recolecta de especies que aparecen en este trabajo.

A la M. en C. Tania Pineda-Enríquez por enseñarme como preparar y montar las muestras para MEB, por su disponibilidad para discutir sobre taxonomía y compartir su conocimiento y pasión por los ofiuroideos.

Al Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por ser el espacio físico en el que se desarrollo este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	1
1.1.	Hábitat	1
1.2.	Zonas de Oxígeno Mínimo (ZOM)	3
1.3.	Áreas Marinas biológica o ecológicamente significativas (EBSA's)	6
1.4.	Ofiuroideos en el Golfo de California	10
2.	Antecedentes	14
2.1.	Identificación de especies	14
2.2.	Caracterización de hábitats	15
2.3.	Hábitats bénticos de ofiuroideos	15
2.4.	Complejidad arquitectónica del hábitat	17
2.5.	Protección en ambientes marinos	17
3.	Justificación académica	20
4.	Preguntas de investigación	21
5.	Objetivos	22
6.	Área de estudio	23
6.1.	Golfo de California	23
7.	Metodología	27
7.1.	Trabajo de campo	27
7.2.	Trabajo de laboratorio	31
8.	Resultados	37
8.1.	Identificación de especies	37
8.2.	Especies recolectadas por cuenca	137
8.3.	Identificación de hábitats	144
8.4.	Especies y hábitats por cuenca y estrato de profundidad	157
8.5.	Riqueza de especies	170
8.6.	Abundancia de especies	171
8.7.	Importancia en propuestas de conservación	172
8.8.	Ampliaciones batimétricas, geográficas y nuevos registros	173
9.	Discusión	174
10.	Conclusiones	181
	Referencias	184
	Anexos	I
	Anexo I	I
	Anexo II	II
	Anexo III	III
	Anexo IV	V

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución mundial de las zonas de oxígeno mínimo (ZOM). Las ZOM presentes en aguas abiertas se muestran en negro y las ubicadas en mares cerrados se muestran punteadas [Tomado de Levin, 2003]. 3
- Figura 2.** Alcance batimétrico de las familias de ofiuroides reconocidas en el Golfo de California, dentro del intervalo de profundidad de este estudio. [Datos tomados de Laguarda-Figueras *et al.*, 2009] 13
- Figura 3.** Caracteres taxonómicos para identificar las especies de ofiuroides. (A) Ornamentaciones presentes en el disco [Modificada de Laguarda-Figueras *et al.*, 2011]; (B) Vista dorsal; (C) Vista oral [Tomada de Pineda-Enríquez, 2013]. 14
- Figura 4.** Regiones Marinas Prioritarias en el Golfo de California. Mapa elaborado a través de la Unidad de Informática Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología [UNINMAR, 2016]. 19
- Figura 5.** Ubicación del Golfo de California. [Modificada de GeoMapApp]. 23
- Figura 6.** Concentraciones de oxígeno en relación con la profundidad de las cuencas con presencia de ZOM. [Datos ambientales tomados de Gooday *et al.*, 2009]. 25
- Figura 7.** Ubicación de los sitios de recolecta de ofiuroides en ZOM del Golfo de California [Modificada de [visibleearth.nasa.gov](http://visibleearth.nasa.gov)]. 26
- Figura 8.** Recolecta de ejemplares. (A) ROV *Doc Ricketts*; (B) aspirador; (C) brazo ROV; (D) núcleo tubular. 27
- Figura 9.** Estratos de profundidad utilizados para elaborar la matriz de datos de composición y presencia y ausencia de las especies de ofiuroides identificadas. 34
- Figura 10. *Asteronyx longifissus* Döderlein, 1927.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan algunas escamas entre los escudos radiales; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas con forma de gancho. 44
- Figura 10.1. *Asteronyx longifissus* Döderlein, 1927. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F-G) Placas orales; (H-J) Placas laterales del brazo; (K) Espinas; (L-P) Vértebras. 45

**Figura 11. *Asteronyx loveni* Müller & Troschel, 1842.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan algunas escamas entre los escudos radiales; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas con forma de gancho. 48

**Figura 11.1. *Asteronix loveni* Müller & Troschel, 1842. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Placa dental; (G-H) Placas orales; (I-K) Placas laterales del brazo; (L) Espinas; (M-Q) Vértebras. 49

**Figura 12. *Astrodia excavata* Lütken & Mortensen, 1899.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas. 52

**Figura 12.1. *Astrodia excavata* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F-G) Placas orales; (H) Placa dental; (I-L) Vértebras; (M-N) Placas laterales del brazo; (O-P) Espinas. 53

**Figura 13. *Asteroschema inornatum* Koehler, 1906.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos de gránulos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dentales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo cubiertas de gránulos; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas. 56

**Figura 13.1. *Asteroschema inornatum*, Koehler, 1906. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J-N) Placas laterales del brazo; (O) Espinas; (P-T) Vértebras. 57

**Figura 14. *Ophiura* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas. 60

**Figura 15. *Ophiura* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes. Hilera de papilas genitales sobre la

hendidura genital y escamas tentaculares del primer poro; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas. 63

**Figura 15.1. *Ophiura* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Placa dental; (G-H) Placas orales; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras. 64

**Figura 16. *Ophiosphalma jolliensis* McClendon, 1909.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales separados por una línea de escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y poros tentaculares. 67

**Figura 16.1. *Ophiosphalma jolliensis* McClendon, 1909. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras. 68

**Figura 17. *Ophiocten* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas lisas. 70

**Figura 18. *Ophiernus polyporum* Lütken & Mortensen, 1899.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos en el centro; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas. 73

**Figura 18.1. *Ophiernus polyporum* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista

ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 74

**Figura 19. *Ophiomastix* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos y espinas; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas. 77

**Figura 19.1. *Ophiomastix* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo oral, vista dorsal; (B) Escudo oral, vista ventral; (C) Escudo adoral, vista dorsal; (D) Escudo adoral, vista ventral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 78

**Figura 20. *Ophiomastix* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas. 81

**Figura 20.1. *Ophiomastix* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Placa dental; (G-H) Placas orales; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras. 82

**Figura 21. *Ophiacanthidae* A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos finos; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas. 85

**Figura 21.1. *Ophiacanthidae* A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A-D) Escudos radiales; (E) Escudo oral; (F) Escudo adoral; (G) Placa genital; (H) Escama genital; (I) Placa dental; (J-K) Placas orales; (L) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (M) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (N) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (O) Placa ventral del brazo, vista ventral; (P-R) Placas laterales del brazo; (S) Espinas; (T-U) Vértebras. 86

**Figura 22. *Ophiacantha rhachophora* H.L. Clark, 1911.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales y espinas bifurcadas en el interrradio; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudo oral; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espina bifurcada a lado. 87

**Figura 23. *Ophiacantha* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas. 91

**Figura 23.1. *Ophiacantha* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial; (B) Escudo oral; (C) Escudo adoral; (D) Placa genital; (E) Escama genital; (F) Placa dental; (G) Diente; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 92

**Figura 24. *Ophiacantha* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas delgadas; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas lisas. 94

**Figura 25. *Ophiacantha* sp. C.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 96

**Figura 26. *Ophiotreta* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos y escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas largas. 99

**Figura 26.1. *Ophiotreta* sp. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del



brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 100

**Figura 27. *Ophiolimna* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos espinosos; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales con la fila de gránulos espinosos; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo y escama tentacular. 103

**Figura 27.1. *Ophiolimna* sp. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo oral; (B) Escudo adoral; (C) Placa genital; (D) Escama genital; (E) Placa dental; (F-G) Placas orales; (H) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (I) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (J) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (K) Placa ventral del brazo, vista ventral; (L-N) Placas laterales del brazo; (O) Espinas; (P-Q) Vértebras. 104

**Figura 28. *Ophiophthalmus normani* Lyman, 1879.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudo oral; (G) Placas dorsales del brazo con línea de gránulos y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 107

**Figura 28.1. *Ophiophthalmus normani* Lyman, 1879. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial; (B) Escudo oral; (C) Placa genital; (D) Escama genital; (E-F) Placas orales; (G) Placa dental; (H) Diente; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras. 108

**Figura 29. *Ophiopholis* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas; (D) Escudos radiales separados por escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas. 111

**Figura 29.1. *Ophiopholis* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del

brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 112

**Figura 30. *Ophiopholis* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas. 115

**Figura 30.1. *Ophiopholis* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 116

**Figura 31. *Ophiopholis longispina* H.L. Clark, 1911.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas y espinas; (D) Escudos radiales separados por escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas. 119

**Figura 31.1. *Ophiopholis longispina* H.L. Clark, 1911. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras. 120

**Figura 32. *Amphiura* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, apical y subapical; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 122

**Figura 33. *Amphiura* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales desnudos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, apical y subapical; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 124

**Figura 34. *Amphipholis* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Se observa la ausencia del disco; (D) Área de los escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales e infradental; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas. 126

**Figura 35. *Amphipholis* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales e infradental; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas. 129

**Figura 35.1. *Amphipholis* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Placa dental; (G-H) Placas orales; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras. 130

**Figura 36. *Ophiothrix galapagensis* Lütken & Mortensen, 1899.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las espinas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas dentales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 133

**Figura 36.1. *Ophiothrix galapagensis* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital; (F) Escama genital; (G) Placa dental; (H-I) Placas orales; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N) Espinas; (O-Q) Placas laterales del brazo; (R-S) Vértebras. 134

**Figura 37. *Ophiothrix* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las espinas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas dentales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas. 136

**Figura 38.** Mapa de especies recolectadas en Isla Tortuga Este. 137

**Figura 39.** Mapa de especies recolectadas en Cabo Pulmo. 138

- Figura 40.** Mapa de especies recolectadas en Cuenca Sal Sipuedes. 139
- Figura 41.** Mapa de especies recolectadas en Isla San Pedro Mártir Norte. 140
- Figura 42.** Mapa de especies recolectadas en Isla Cerralvo 141
- Figura 43.** Mapa de especies recolectadas en Isla San Pedro Mártir Sur 142
- Figura 44.** Mapa de especies recolectadas en Isla Tortuga Sur 143
- Figura 45. Hábitat 1Dr.** Ophiacanthidae A, Isla Tortuga Este, profundidad 538.72 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>. 149
- Figura 46. Hábitat 1Dr.** *Ophiothrix galapagensis*, Isla Tortuga Este, profundidad 237.22m. 149
- Figura 47. Hábitat 1Dr.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de la roca, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 902.46 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca se observan las especies Ophiacanthidae A y *Amphipholis* sp. B. 150
- Figura 48. Hábitat 1Dt.** *Amphipholis* sp. B, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 781.15 m. 150
- Figura 49. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de la esponja adherida a una roca, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 828.22 m; (B) Acercamiento de la esponja; (C) Acercamiento a la esponja y especies asociadas, se observa Ophiacanthidae A y *Amphipholis* sp. B. 151
- Figura 50. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de una roca con diferentes especies de esponjas adheridas a ella, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 610.39 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca con esponjas, se observa Ophiacanthidae A y *Amphipholis* sp. B. 151
- Figura 51. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de una roca con diferentes especies de esponjas adheridas a ella, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 781.15 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca con esponjas, se observa Ophiacanthidae A y *Amphipholis* sp. B. 152
- Figura 52. Hábitat 1Dc.** *Asteroschema inornatum*, Cabo Pulmo, profundidad 1205.37 m. 152

**Figura 53. Hábitat 1Dp.** *Asteronix loveni* y *Asteronix longifissus*, Isla Cerralvo, profundidad 902.76 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.

153

**Figura 54. Hábitat 1Ds.** Ophiacanthidae A, Isla Tortuga Este, profundidad 710.73 m. 153

**Figura 55. Hábitat 2BLa.** *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1239.32 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>. 154

**Figura 56. Hábitat 2BLa.** *Ophiernus polyporum*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1309.67 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>. 154

**Figura 57. Hábitat 2Ba.** *Ophiacantha* sp. A y *Ophiomastix* sp. A, Isla Tortuga Este, profundidad 311.07 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.

155

**Figura 58. Hábitat 2BBt.** *Brisaster townsendi* y *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1345.77 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.

155

**Figura 59. Hábitat 2Bs.** Ophiacanthidae A, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 848.19 m. 156

**Figura 60. Hábitat 2Bt.** Tunicado (*Megalodicopia*) y *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1354.54 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>. 156

**Figura 61.** Dendograma construido con un análisis cluster de similitud con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada cuenca hipóxica. 158

**Figura 62.** Análisis MDS no métrico con el eje 1 y eje 2, construido con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada cuenca hipóxica. 159

**Figura 63.** Dendograma construido con un análisis cluster de similitud con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada estrato de profundidad. 161

**Figura 64.** Análisis MDS no métrico con el eje 1 y eje 2, construido con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada estrato de profundidad. 162

**Figura 65.** Zonas identificadas en las cuencas hipóxicas del Golfo de California con base en las condiciones de oxígeno disuelto presentes. 165

- Figura 66.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Cuenca Sal Sipuedes. 166
- Figura 67.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla San Pedro Mártir N. 167
- Figura 68.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla San Pedro Mártir S 167
- Figura 69.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Tortuga E. 168
- Figura 70.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Tortuga S. 168
- Figura 71.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Cerralvo. 169
- Figura 72.** Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Cabo Pulmo. 169

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Zonas físicas reconocidas en zonas de oxígeno mínimo (ZOM) en el Pacífico oriental (a) y en el NW del mar Árabe (b).	2
<b>Tabla 2.</b> Zonas tipo ubicadas dentro de la ZOM (Gooday <i>et al.</i> , 2009)	4
<b>Tabla 3.</b> Nombre que reciben las zonas tipo de la ZOM y valores de oxígeno disuelto según varios autores	5
<b>Tabla 4.</b> Criterios científicos adoptados en la COP (2008).	7
<b>Tabla 5.</b> Especies de ofiuroides reconocidas en el Golfo de California en un intervalo de profundidad de 200 a 1300 m.	10
<b>Tabla 6.</b> Modalidades de conservación para hábitats y ecosistemas marinos.	18
<b>Tabla 7.</b> Características de las masas de agua en el Golfo de California. Modificada de Torres [1993].	24
<b>Tabla 8.</b> Inmersiones donde se recolectaron ofiuroides, identificación, equipo de recolecta, profundidad y localidad de recolecta.	28
<b>Tabla 9.</b> Especies de ofiuroides identificadas.	37
<b>Tabla 10.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Isla Tortuga Este (D732) y número de organismos recolectados y revisados.	38
<b>Tabla 11.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Cabo Pulmo (D738) y número de organismos recolectados y revisados.	39
<b>Tabla 12.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Cuenca Sal Sipuedes (D735) y número de organismos recolectados y revisados.	39
<b>Tabla 13.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Isla San Pedro Mártir Norte (D736) y número de organismos recolectados y revisados.	40
<b>Tabla 14.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Isla Cerralvo (D737) y número de organismos recolectados y revisados.	40
<b>Tabla 15.</b> Especies de ofiuroides identificadas en Isla San Pedro Mártir Sur (D734) y número de organismos recolectados y revisados.	41

<b>Tabla 16.</b> Especies de ofiuroideos identificadas en Isla Tortuga Sur (D731) y número de organismos recolectados y revisados.	41
<b>Tabla 17.</b> Hábitats de ofiuroideos identificados en las cuencas hipóxicas del Golfo de California.	144
<b>Tabla 18.</b> Hábitats identificados en Isla Tortuga Sur y especies presentes en cada uno.	145
<b>Tabla 19.</b> Hábitats identificados en Isla Tortuga Este y especies presentes en cada uno.	145
<b>Tabla 20.</b> Hábitats identificados en Isla San Pedro Mártir Sur y especies presentes en cada uno.	146
<b>Tabla 21.</b> Hábitats identificados en Cuenca Sal Sipuedes y especies presentes en cada uno.	146
<b>Tabla 22.</b> Hábitats identificados en Isla San Pedro Mártir Norte y especies presentes en cada uno.	147
<b>Tabla 23.</b> Hábitats identificados en Isla Cerralvo y especies presentes en cada uno.	147
<b>Tabla 24.</b> Hábitats identificados en Cabo Pulmo y especies presentes en cada uno.	148
<b>Tabla 25.</b> Número de especies de ofiuroideos que ocurren por cuenca.	157
<b>Tabla 26.</b> Número de especies de ofiuroideos que ocurren por estrato de profundidad. *1 estrato significa que la especie se encuentra sólo en un intervalo de 200 m sin que este forme parte de la ZOM.	160
<b>Tabla 27.</b> Valores mínimos y máximos de O <sub>2</sub> donde ocurren los ofiuroideos por cuenca.	162
<b>Tabla 28.</b> Valores mínimos y máximos de O <sub>2</sub> donde ocurren los ofiuroideos por estrato de profundidad.	163
<b>Tabla 29.</b> Especies de ofiuroideos que ocurren en condiciones hipóxicas, no subóxicas y subóxicas, por estrato de profundidad. Condiciones de oxígeno disuelto modificadas de Stramma, <i>et al.</i> , [2010] *En el caso de Isla Tortuga S las condiciones no subóxicas ocurren entre los 1200 y 1400 m y en Cabo Pulmo entre los 1100 y 1200 m. .	164



**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS  
DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<b>Tabla 30.</b> Riqueza de especies de ofiuroides por cuenca.	170
<b>Tabla 31.</b> Riqueza de especies de ofiuroides por hábitat.	170
<b>Tabla 32.</b> Abundancia de ofiuroides por hábitat.	171
<b>Tabla 33.</b> Criterios de conservación por cuenca.	172

## RESUMEN

Las zonas de oxígeno mínimo (ZOM) son regiones de los márgenes del fondo marino que experimentan hipoxia natural, con concentraciones de oxígeno  $<22.33 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  ( $<0.5 \text{ ml.L}^{-1}$ ). Se recolectaron 773 organismos de ofiuroides en Cuenca Sal Sipuedes, Isla San Pedro Mártir N, Isla San Pedro Mártir S, Isla Tortuga E, Isla Tortuga S, Isla Cerralvo y Cabo Pulmo caracterizadas por la presencia de ZOM en el Golfo de California y se reconocieron 28 especies diferentes agrupadas en nueve familias, en 11 tipos de sustrato y hábitats bióticos. Las concentraciones de oxígeno a lo largo de la columna de agua varían en zona hipóxica ( $60\text{-}120 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  /  $1.34\text{-}2.68 \text{ ml.L}^{-1}$ ), la zona no subóxica ( $10\text{-}50 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  /  $0.22\text{-}1.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ) y la zona subóxica ( $<5 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  /  $<0.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ). Un análisis de similitud basado en la presencia y ausencia de especies reconoció una semejanza en composición de especies entre las cuencas localizadas en el N y separa a las cuencas del S. Así mismos los estratos de profundidad de 401-1000 m se agruparon por la composición de sus especies separándolos de los de 1001-1400 m. La mayor diversidad de especies ocurre entre  $< 5\text{-}50 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  y profundidades de 601 a 1000 m, reconociendo que los ofiuroides pueden sobrevivir a concentraciones bajas de oxígeno disuelto ( $<5 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  /  $<0.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ). La mayor diversidad de especies ocurre en Isla Tortuga E con nueve especies diferentes, el hábitat con mayor riqueza es el 1Dr (sustrato duro, roca). Los hábitats con mayor abundancia son 1De (sustrato duro con esponja) y 2BLa (sustrato blando con limos y arcillas) con  $12.8 \text{ ind/m}^2$  y  $12.6 \text{ ind/m}^2$ , respectivamente. Las características de los hábitats identificados fueron evaluadas con los criterios de unicidad o rareza, vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación; diversidad biológica elevada y naturalidad para identificar EBSA's ofreciendo las localidades Isla San Pedro Mártir N, Isla Tortuga E y Cabo Pulmo un potencial como ecosistemas de conservación.

## ABSTRACT

Oxygen minimum zones (OMZ) are regions of the ocean that naturally hypoxic, showing dissolved oxygen concentration values  $< 22.330 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  ( $<0.5 \text{ ml.L}^{-1}$ ). 773 specimens of ophiuroid were collected in seven sites along the Gulf of California, where the sea bottom overlaps with the OMZ: Salsipuedes Basin, San Pedro Martir Island north slope, San Pedro Martir south slope, Tortuga Island east slope, Tortuga Island south slope, Cerralvo Island and Cabo Pulmo. The organisms were classified as pertaining to 28 species from 9 different families, which were associated to 11 types of substrate and biotic habitats. Dissolved oxygen concentration in the water column ranges from the hypoxic zone ( $60 - 120 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / 1.34-2.68 \text{ ml.L}^{-1}$ ), non-suboxic zone ( $10 - 50 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / 0.22-1.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ) and suboxic zone ( $< 5 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / <0.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ). Similarity analysis based upon the presence and absence of species shows likeness in species composition between northern GoC basins, and separates the southern GoC basins. Moreover, depth strata from 401 m to 1000 m were also grouped by species composition, and shows difference with depths from 1001 m to 1400 m. Most diversity of species occurs in the  $<5-50 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  range and depths from 601 m to 1000 m, showing that ophiuroid can survive in low concentration of dissolved oxygen ( $<5 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / <0.11 \text{ ml.L}^{-1}$ ). The most diversity of species was found in Tortuga East site, with 9 different species, the habitat with the most richness is 1Dr (hard substrate, rock). The ones with most abundance are 1De (hard substrate with sponge) and 2BLa (soft substrate with silt and clay), with  $12.8 \text{ ind/m}^2$  and  $12.6 \text{ ind/m}^2$  respectively. Characteristics of the identified habitats were evaluated with the following criteria for an EBSA: uniqueness – rareness, vulnerability, fragility, sensitivity – slow recovery, high biological diversity and natural occurrence. From this evaluation, Isla San Pedro Martir Norte, Isla Tortuga Este and Cabo Pulmo show potential as ecosystems for preservation

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Hábitat.

El hábitat corresponde a un ámbito espacial delimitado con condiciones ambientales específicas, en el que pueden vivir especies particulares formando una asociación, gremio o comunidad distintivos. Éste es definido por la escala de tiempo y espacio, a partir de los parámetros usados en su observación [Levin, 1992]. La definición del Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES) lo reconoce como un ambiente particular que se distingue por sus características abióticas y por la presencia de sus comunidades biológicas, que operan particularmente en una escala y dinámica espacio-temporal de un área geográfica determinada [ICES, 2008].

Los estudios que describen hábitats de mar profundo son limitados en número [Gage & Tyler, 1991]. En el caso de hábitats bénticos se requiere de cartografía precisa y con resolución espacial alta, cuyo uso apoye su manejo y conservación [Costa *et al.*, 2009].

Siendo que los hábitats están bien definidos [Gray, 1997] la evaluación de éstos [Huston, 1994] es útil en aspectos del estudio de la diversidad alfa [Fisher *et al.*, 1943; Whittaker, 1967] y beta [Whittaker, 1960, 1975] contemplando diferentes gradientes ambientales [Whittaker, 1977].

En el intervalo de profundidad (200 a 1300 m aproximadamente) que comprende el muestreo de este estudio se han descrito diferentes hábitats característicos de los ecosistemas quimiosintéticos batiales y abisales, infiltraciones de metano y ventilas hidrotermales [Sibuet & Olu, 1998; Tapia-De la O, 2014; Jiménez-Guadarrama, 2015] como son: tapetes de bacterias, agregaciones de gusanos, de bivalvos vesicómidos, fondos rocosos o fondos suaves; en los cuales ocurren entre otras especies con abundancia elevada ofiuroides y galateidos. En aguas profundas también se han descrito hábitats de coral [Wienberg *et al.*, 2009; Bullimore *et al.*, 2013], fondos rocosos preferidos por peces (*Sebastes* sp.) y abulón (*Haliotis sorenseni*) [Cochrane & Lafferty, 2002].

En las zonas de oxígeno mínimo se reconocen zonas físicas (Tabla 1) que se encuentran en fondos suaves y de grano grueso.

**Tabla 1.** Zonas físicas reconocidas en zonas de oxígeno mínimo (ZOM) en el Pacífico oriental (a) y en el NW del mar Árabe (b).

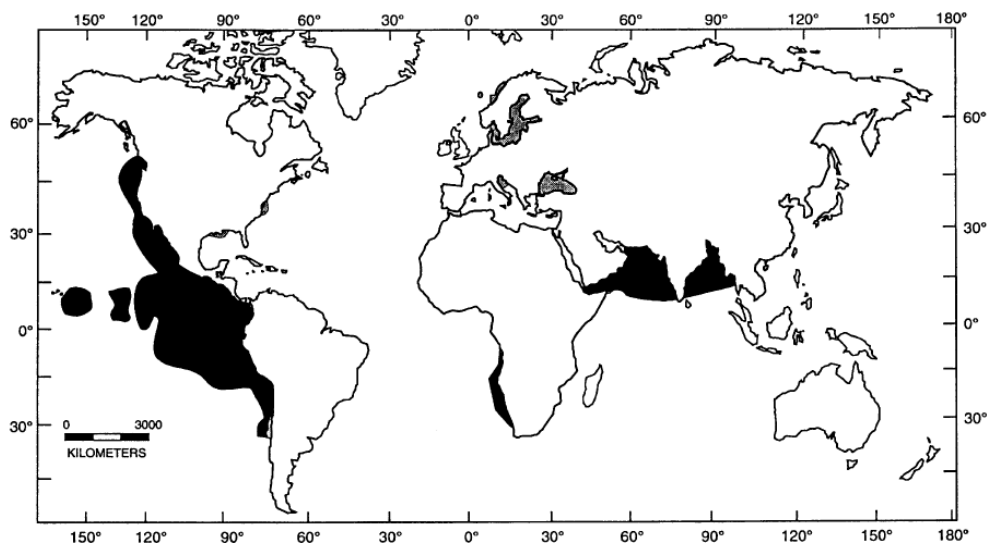
Zona física	Caracterizada por:	Referencia
a. Límite superior con grano grueso (730-770 m)	Densidad media. Megafauna dominada por peces cola de rata y anémonas solitarias. Concentración de oxígeno entre 0.08-0.09 ml.L <sup>-1</sup> (3.57-4.01 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin et al., 1991
a. Límite inferior con grano grueso (770-1000 m)	Densidad más alta. Megafauna dominada por peces cola de rata, anémonas, galatéidos, poliquetos serpúlidos, esponjas y ofiuroides. Concentración de oxígeno entre 0.11-0.16 ml.L <sup>-1</sup> (4.91-7.14 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin et al., 1991
a. Flanco con grano grueso (1000-2000 m)	Densidad media. Se observaron aglutinaciones de xenophyophoros (protozoos). Concentración de oxígeno entre 0.7-0.9 ml.L <sup>-1</sup> (31.26-40.19 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin et al., 1991
a. Base con grano fino (2000-3500 m)	Densidad media. Se observaron aglutinaciones de xenophyophoros (protozoos). Los valores de oxígeno exceden los 2.5 ml.L <sup>-1</sup> (111.65 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin et al., 1991
b. Límite superior (por debajo de 400 m)	Densidad media. Presencia de organismos de cuerpo blando, principalmente poliquetos. Concentración de oxígeno 0.13 ml.L <sup>-1</sup> (5.80 μmol.Kg <sup>-1</sup> ), concentración de carbono orgánico entre 4 y 5%.	Levin et al., 2000
b. Núcleo de la ZOM (700 - 1000 m)	Densidad más alta (entre los 700 y 850 m), hay dominancia de poliquetos. Los moluscos y crustáceos son raros o ausentes. El oxígeno aumenta gradualmente desde los 400 m y llega a 0.27 ml.L <sup>-1</sup> (12.05 μmol.Kg <sup>-1</sup> ) a los 1,000 m, el porcentaje de carbono orgánico es de 1.6%.	Levin et al., 2000
b. Límite inferior (por debajo de 1,250 m)	Anfípodos, cumáceos y tanaidáceos forman el 2.7% del total de la macrofauna, aparecen taxa comunes como nemertinos, ofiuroides, antozoos y priapúlidos. Se presenta la densidad más baja. La concentración de oxígeno sube bruscamente a los 1,250 m con valores de 0.52 ml.L <sup>-1</sup> (23.22 μmol.Kg <sup>-1</sup> ) cerca de la base de la ZOM, el porcentaje de carbono orgánico aumenta a 2.7%.	Levin et al., 2000

Las acciones para la conservación de los hábitats vulnerables o frágiles requieren de la evaluación de la diversidad biológica y el reconocimiento de aquellas especies que son sensibles a cambios de los factores ambientales, como es el oxígeno disuelto para establecer propuestas de conservación (ver tabla de EBSA's).

## 1.2 Zonas de Oxígeno Mínimo (ZOM)

Las zonas de oxígeno mínimo son regiones de los márgenes del fondo marino que experimentan hipoxia natural y que interceptan el lecho marino a profundidades de entre 100-1,000 m [Helly & Levin, 2004]. En estas zonas las concentraciones de oxígeno son  $< 0.5 \text{ ml.L}^{-1}$  ( $22.33 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ) [Gooday *et al.*, 2009]. Su origen está asociado a elevada productividad primaria superficial exportada hacia el fondo y con su subsecuente descomposición que agota el oxígeno disuelto de la columna de agua. También se vinculan a localidades de baja circulación con tiempos de residencia largos y limitado intercambio de aguas bien oxigenadas [Sarmiento *et al.*, 1988].

Comúnmente se ubican en los márgenes continentales (Figura 1) y representan zonas de almacén de carbono orgánico [Levin, 2003]. Geográficamente se han reconocido en el Pacífico Oriental con una extensión del 31%, el Mar Arábigo y la Bahía de Bengala con una extensión del 59% [Gooday *et al.*, 2009] y un 10% en el Atlántico sureste [Helly & Levin, 2004].



**Fig. 1** Distribución mundial de las zonas de oxígeno mínimo (ZOM). Las ZOM presentes en aguas abiertas se muestran en negro y las ubicadas en mares cerrados se muestran punteadas [Tomado de Levin, 2003].

Las localidades caracterizadas por la presencia de oxígeno mínimo se zonifican (Tabla 2), el espesor de sus límites superior e inferior varía geográficamente en función de la hidrografía en patrón consistente [Levin, 2003]. En la columna de agua las concentraciones de oxígeno decaen rápidamente y por debajo de la zona núcleo que separa estas dos zonas de transición con el ambiente bien oxigenado, se elevan gradualmente variando estacionalmente [Gooday *et al.*, 2009].

**Tabla 2.** Zonas tipo ubicadas dentro de la ZOM. Tomado de Gooday *et al.*, 2009.

Zona	Caracterizada por:
<b>Zona estacionalmente hipóxica</b>	Ocurre entre los 140-250 m de profundidad. Concentraciones de oxígeno entre 0.11-2.05 ml.L <sup>-1</sup> (4.91-91.55 μmol.Kg <sup>-1</sup> ). Aparecen laminaciones completamente formadas a los 250 m de profundidad.
<b>Núcleo de la ZOM</b>	Ocurre entre los 250-750 m de profundidad. Concentraciones de oxígeno entre 0.10-0.14 ml.L <sup>-1</sup> (4.46-6.25 μmol.Kg <sup>-1</sup> ). El sedimento es completamente laminado y hay tapetes bacterianos.
<b>Zona de transición</b>	Ocurre entre los 750-1000 m de profundidad. Concentraciones de oxígeno entre 0.12-0.17 ml.L <sup>-1</sup> (5.35-7.59 μmol.Kg <sup>-1</sup> ). Los sedimentos están parcialmente laminados.
<b>Límite de la ZOM</b>	Ocurre de los 1000 hasta los 1300 m de profundidad. Concentraciones de oxígeno entre 0.15-0.50 ml.L <sup>-1</sup> (6.69-22.33 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).
<b>Región debajo de la ZOM</b>	Ocurre entre los 1300-1850 m de profundidad. Concentración de oxígeno >0.50 ml.L <sup>-1</sup> (>22.33 μmol.Kg <sup>-1</sup> )

Las zonas tipo de una ZOM se describen tomando en cuenta las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua y como éstas cambian, sin embargo, existen diferentes propuestas para nombrar cada una de estas zonas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Nombre que reciben las zonas tipo de la ZOM y valores de oxígeno disuelto según varios autores.

Zona	Región	Concentraciones de oxígeno disuelto	Referencia
Límite superior	NW Mar Árábigo	0.13 ml.L <sup>-1</sup> (5.80 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin <i>et al.</i> , 2000
Núcleo de la ZOM	NW Mar Árábigo	0.27 ml.L <sup>-1</sup> (12.05 μmol.Kg <sup>-1</sup> )	Levin <i>et al.</i> , 2000
Límite inferior	NW Mar Árábigo	0.52 ml.L <sup>-1</sup> (23.22 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Levin <i>et al.</i> , 2000
Zona estacionalmente hipóxica	Pacífico Oriental, Mar Árábigo y Bahía de Bengala.	0.11-2.05 ml.L <sup>-1</sup> (4.91-91.55 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Gooday <i>et al.</i> , 2009
Núcleo de la ZOM	Pacífico Oriental, Mar Árábigo y Bahía de Bengala.	0.10-0.14 ml.L <sup>-1</sup> (4.46-6.25 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Gooday <i>et al.</i> , 2009
Zona de transición	Pacífico Oriental, Mar Árábigo y Bahía de Bengala.	0.12-0.17 ml.L <sup>-1</sup> (5.35-7.59 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Gooday <i>et al.</i> , 2009
Límite de la ZOM	Pacífico Oriental, Mar Árábigo y Bahía de Bengala.	0.15-0.50 ml.L <sup>-1</sup> (6.69-22.33 μmol.Kg <sup>-1</sup> ).	Gooday <i>et al.</i> , 2009
Zona hipóxica	Pacífico Oriental	1.34-2.68 ml.L <sup>-1</sup> (60-120 μmol.Kg <sup>-1</sup> )	Stramma <i>et al.</i> , 2010
Zona no subóxica	Pacífico Oriental	0.22-1.11 ml.L <sup>-1</sup> (10-50 μmol.Kg <sup>-1</sup> )	Stramma <i>et al.</i> , 2010
Zona subóxica	Pacífico Oriental	<0.11 ml.L <sup>-1</sup> (<5 μmol.Kg <sup>-1</sup> )	Stramma <i>et al.</i> , 2010

La reducción en la concentración de oxígeno disuelto influye inversamente en la degradación de la materia orgánica y el contenido de materia orgánica en el sedimento [Levin & Gage, 1998]. La elevada concentración de contenido de carbono orgánico en sedimento (4 - 20.5%) caracteriza estas zonas [Gooday *et al.*, 2009].



Los sedimentos de las ZOM son heterogéneos [Levin *et al.*, 2002] caracterizados por sustrato grueso con fosforita autigénica, carbonatos o material volcánico como el basalto [Sellanes *et al.*, 2010], en el núcleo, los sedimentos no están consolidados, tienen un contenido elevado de agua, y son ricos en materia orgánica [Gooday *et al.*, 2009].

En la pequeña escala espacial la heterogeneidad del hábitat provee de estructuras biogénicas (esponjas, corales) que proporcionan a la fauna superficie de anclaje y fijación. Animales móviles más grandes que incluyen a los cangrejos araña, ofiuroideos, gasterópodos y bivalvos también representan una serie de sustratos para diversos organismos [Gooday *et al.*, 2009]. Estas zonas exportan carbono a ecosistemas vecinos bien oxigenados.

Los organismos que ocurren en abundancia elevada y riqueza de especies baja [Levin & Sibuet, 2012] se ven expuestos a un pH bajo, concentraciones elevadas de sulfuros y de carbono orgánico particulado (POC) [Gooday *et al.*, 2009] lo cual conlleva a endemismos. La simbiosis es una estrategia de sobrevivencia de la biota [Levin, 2003].

### 1.3 Áreas marinas biológica o ecológicamente significativas (EBSA's)

Existe una gran diversidad de estrategias de conservación, en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) se usan Áreas Naturales Protegidas (ANP). Desde el ámbito internacional la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) ha propuesto tanto para la ZEE como en áreas fuera de su jurisdicción nacional (AFJN) las áreas marinas biológica o ecológicamente significativas (EBSA's), que son aquellas que proporcionan servicios importantes a una o más especies y/o poblaciones de un ecosistema, o al ecosistema en su conjunto, en comparación con otras áreas o zonas adyacentes con características ecológicas similares. Estas áreas cumplen con los criterios científicos aceptados por la Conferencia de las Partes (COP) mencionados en anexo I de la Decisión IX/20 párrafo 14 [Azores Scientific Criteria and Guidance, 2008].

El plan estratégico para la diversidad biológica tiene como misión “... *detener la pérdida de diversidad biológica a fin de asegurar, que para 2020, los ecosistemas sean resilientes y sigan suministrando servicios esenciales, asegurando de este modo la variedad de la vida del planeta y contribuyendo al bienestar humano y a la erradicación de la pobreza...*”. Las 20 metas de Aichi para la diversidad biológica se agrupan en torno a cinco objetivos específicos, que deberán alcanzarse en 2020 y que forman parte del plan estratégico para la diversidad biológica [UICN, 2011].

Éstas [Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets] trascienden por prever la protección de la diversidad biológica y tratar aspectos del desarrollo sostenible. Los aspectos que abarcan incluyen la reducción de las presiones directas sobre la diversidad biológica y la integración de la naturaleza en los distintos sectores, hasta la promoción del uso sostenible y la participación de todos en los beneficios derivados de la utilización de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

El objetivo estratégico C de las metas de Aichi para la diversidad biológica plantea mejorar la situación de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética. En el marco marino la meta 11 establece que para 2020 el 10% de las zonas marinas y costeras que revisten particular importancia para la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas, deberán conservarse por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz y equitativa, ecológicamente representativos y bien conectados, y de otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, integradas a paisajes marinos más amplios [UICN, 2011].

Resultado del taller de expertos de la Convención de la Diversidad Biológica en 2007 (Expert Workshop on Ecological Criteria and Biogeographic Classification Systems for Marine Areas in Need of Protection) están los siete criterios científicos (Tabla 4) y ecológicos para la identificación de áreas marinas que necesitan protección, mismos que fueron adoptados en 2008, en la COP (COP Decisión IX/20 párrafo 14 y Anexo I). Los criterios elegidos para la identificación de EBSA's en AFJN fueron definidos en el taller de expertos de Ottawa, Canadá, reconociendo que los criterios elegidos serían comunes a los de las ANP permitiendo generar redes interconectadas.

**Tabla 4.** Criterios científicos adoptados en la COP (2008).

CRITERIO	DEFINICIÓN	EJEMPLO DE EBSA
1. <i>Unicidad o rareza</i>	Zona que contiene especies, poblaciones o comunidades exclusivas (única en su tipo), raras (sólo ocurren en escasos lugares) o endémicas; y/o ecosistemas o hábitats únicos, raros o distintos, con características oceanográficas o geomorfológicas exclusivas o inusuales.	Ventilas hidrotermales

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<b>2. Importancia especial en las etapas de los ciclos de vida de las especies</b>	Áreas requeridas por una población para sobrevivir, prosperar y/o reproducirse.	Áreas de importancia para los tiburones blancos del Pacífico
<b>3. Importancia para especies y/o hábitats amenazados, en peligro o en declive</b>	Área que contiene hábitats para la supervivencia y recuperación de especies en peligro, amenazadas o disminuidas y áreas con ensamblajes significativos de dichas especies.	Áreas de importancia en el Pacífico para la tortuga laúd
<b>4. Vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación</b>	Áreas que contienen una proporción relativamente elevada de hábitats sensibles, biotopos o especies que son funcionalmente frágiles (altamente susceptibles a la degradación o agotamiento por actividades humanas o eventos naturales) o con una recuperación lenta.	Zonas de aguas frías que propician la formación de arrecifes de corales
<b>5. Productividad biológica</b>	Área que contiene especies, poblaciones o comunidades con comparativamente mayor productividad biológica. Este criterio identifica regiones del océano abierto que regularmente exhiben altos niveles de productividad primaria o secundaria.	Frentes de temperatura superficial del mar
<b>6. Diversidad biológica</b>	Zona que contiene una diversidad relativamente superior de especies, hábitats, comunidades o ecosistemas, o que tiene mayor diversidad genética. Este criterio identifica áreas de alta diversidad relativa taxonómica o de hábitats.	La superposición entre los hotspots de diversidad de mamíferos marinos y la distribución de los montes submarinos mundiales
<b>7. Naturalidad</b>	Área con un grado relativamente mayor de naturalidad como resultado de la falta o bajo nivel de perturbación inducida por el hombre o la degradación.	Montes submarinos del Atlántico sureste

Para el presente trabajo se tomarán en cuenta los criterios 1 (especies únicas), 4 (vulnerabilidad), 6 (diversidad biológica) y 7 (naturalidad) propuestos por la COP en 2008.

Para poder evaluar plenamente la importancia biológica o ecológica de un área marina que requiera protección se necesita información, representada como datos y se ha clasificado por Ardrón *et al.*, [2009] en:

1. **Físicos.** Datos oceanográficos que incluyen atributos batimétricos estáticos y atributos hidrográficos dinámicos.
2. **Biológicos.** Incluyen las medidas de productividad, así como datos modelados de la observación directa de las especies, predicción del hábitat y mapas de distribución.

Actualmente México cuenta con ANP en mar profundo, la Cuenca de Guaymas y la Dorsal del Pacífico Occidental a 21° N [Diario Oficial de la Federación, 2009]. Al presente se ha decretado el área del Pacífico Mexicano Profundo que comprende 57.9 millones de hectáreas de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, además del ANP Archipiélago de Revillagigedo decretada en octubre de 2017. A la fecha se han llevado a cabo 13 reuniones regionales por la CDB para describir áreas que llenan criterios EBSA a nivel mundial. México ha participado en 2 de éstas, Pacífico N y Pacífico SE proponiendo EBSA's. Aumentando el porcentaje que se ha propuesto como meta y atendiendo a la meta 14 del desarrollo sustentable.

#### 1.4 Ofiuroides en el Golfo de California

A nivel mundial se han descrito 2,064 especies de ofiuroides [Stöhr *et al.*, 2012] entre los que se reconocen diversas formas que incluyen a las estrellas frágiles o canasta (Euryálidos que presentan brazos ramificados) y las estrellas serpiente (Euryálidos que no presentan brazos ramificados).

México alberga alrededor de 600 especies [Solís-Marín *et al.*, 2005] de las cuales 185 son ofiuroides, encontrándose en el Golfo de California el 52% de éstas [Durán-González *et al.*, 2005; Laguarda-Figueras *et al.*, 2005, 2009; Solís-Marín *et al.*, 2005; Honey-Escandón *et al.*, 2008; Hernández-Herrejón *et al.*, 2008; Granja-Fernández *et al.*, 2014] a profundidades de hasta 5,000 m. En México esta región es la más diversa en ofiuroides que se ha atribuido al esfuerzo de prospección (el cual data aproximadamente del año 1870) y la riqueza de hábitats [Laguarda-Figueras *et al.*, 2009].

Las familias de ofiuroides Ophiomyxidae, Asteronychidae, Ophiuridae, Ophioleucidae, Ophiocomidae, Ophionereididae, Ophiochitonidae, Ophiodermatidae, Ophiacanthidae, Hemieurylidae, Ophiactidae, Amphiuridae y Ophiothrichidae se han reconocido en el intervalo de profundidad ( $\approx$  200-1,300 m) de las recolectas de este estudio.

En el intervalo de profundidad de este estudio ocurren 32 especies de ofiuroides (Tabla 5), pertenecientes a 12 familias (Figura 2), que se han reconocido previamente en el Golfo de California.

**Tabla 5.** Especies de ofiuroides reconocidas en el Golfo de California en un intervalo de profundidad de 200 a 1,300 m.

Familia	Especie	Intervalo batimétrico	Referencias
Ophiomyxidae	<i>Ophiomyxa panamensis</i>	19 a los 293 m	Maluf, 1988
Asteronychidae	<i>Asteronyx longifissus</i>	266 a los 1,800 m	Hendler, 1996
	<i>Asteronyx loveni</i>	100 a los 4,721 m	Paterson, 1988
	<i>Ophiolepis crassa</i>	6 a los 230 m	Maluf, 1988
Ophiuridae	<i>Ophiomusium lymani</i>	651 a los 4,829 m	Paterson, 1985
	<i>Ophiosphalma glabrum</i>	878 a los 5,203 m	Maluf, 1988

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

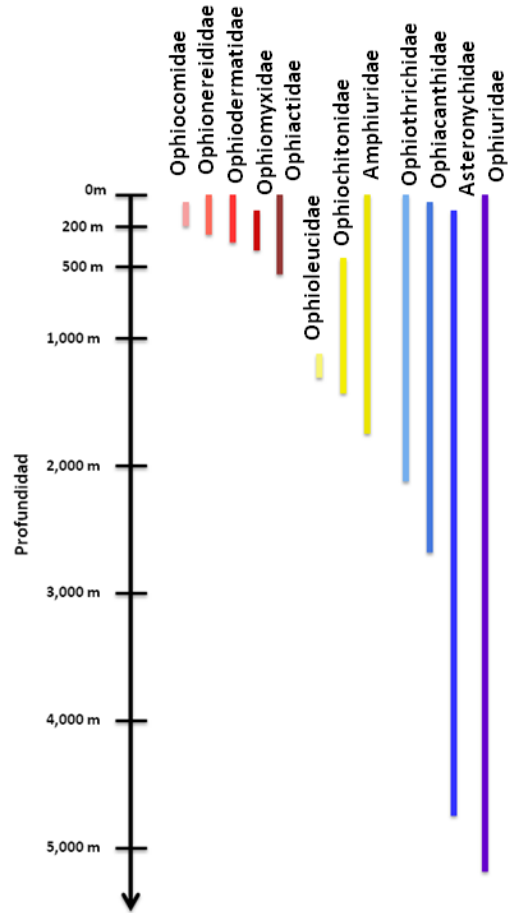
	<i>Ophiosphlama jolliensis</i>	17 a los 1,230 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiura scutellata</i>	1,557 a los 1,580 m	Tapia-De la O, 2014
Ophioleucidae	<i>Ophiernus polyporum</i>	1,207 a los 1,244 m	Downey, 1969
Ophiocomidae	<i>Ophiopsila californica</i>	33 a los 201 m	Maluf, 1988
Ophionereididae	<i>Ophioneris annulata</i>	0 a los 229 m	Maluf, 1988
Ophiochitonidae	<i>Ophiochiton carinatus</i>	489 a los 1,355 m	Maluf, 1988
Ophiodermatidae	<i>Schozoderma diplax</i>	0 a los 230 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiacantha diplasia</i>	9 a los 1,408 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiacantha hirta</i>	1,244 a los 1,558 m	Lütken y Mortensen, 1899; Maluf, 1988
Ophiacanthidae	<i>Ophiacantha lepidota</i>	A los 1,143.7 m	H.L. Clarkm 1911
	<i>Ophiacantha meridionalis</i>	433.7 a los 598.4 m	Lyman, 1869
	<i>Ophiacantha phragma</i>	13 a los 644 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiacantha quadrispina</i>	183 a los 549 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiacantha rhachophora</i>	115 a los 1,152 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiophthalmus normani</i>	51 a los 2,600 m	Maluf, 1988
Ophiactidae	<i>Ophiactis savignyi</i>	Del intermareal a los 518 m	Pineda-Enríquez, 2011
	<i>Ophiactis simplex</i>	Del intermareal a los 302 m	Maluf, 1988
	<i>Amphiura acrystata</i>	6 a los 849 m	Maluf, 1988
	<i>Amphiura diomedae</i>	44 a los 3,017 m	Maluf, 1988

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<b>Amphiuridae</b>	<i>Amphichondrius laevis</i>	3 a los 1,375 m	Ziesenhenne, 1940
	<i>Amphiodia urtica</i>	0 a los 1,624 m	Maluf, 1988
	<i>Amphipholis pugetana</i>	4 a los 1,620 m	Maluf, 1988
	<i>Amphipholis puntarenae</i>	0 a los 508 m	Maluf, 1988
<b>Ophiothrichidae</b>	<i>Ophiocnida hispida</i>	0 a los 794 m	Maluf, 1988
	<i>Ophiothrix galapagensis</i>	0 a los 549	Maluf, 1988
	<i>Ophiothrix spiculata</i>	0 a los 2,059 m	Maluf, 1988

Las colectas en mar profundo se realizan con redes y dragas de arrastre. El estudio de la escala pequeña en áreas con sustrato duro requiere de tecnología sofisticada y cartografía de alta resolución. Los vehículos operados vía remota (ROV's) y los sumergibles tripulados se equipan con cámaras, lámparas y herramientas de colecta para registrar los hábitats, realizar acercamientos en los sitios de ocurrencia de las especies y los organismos son preservados generalmente en etanol filtrado y enfriado a 4°C al llegar a cubierta para que pueda preservarse el ADN.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA



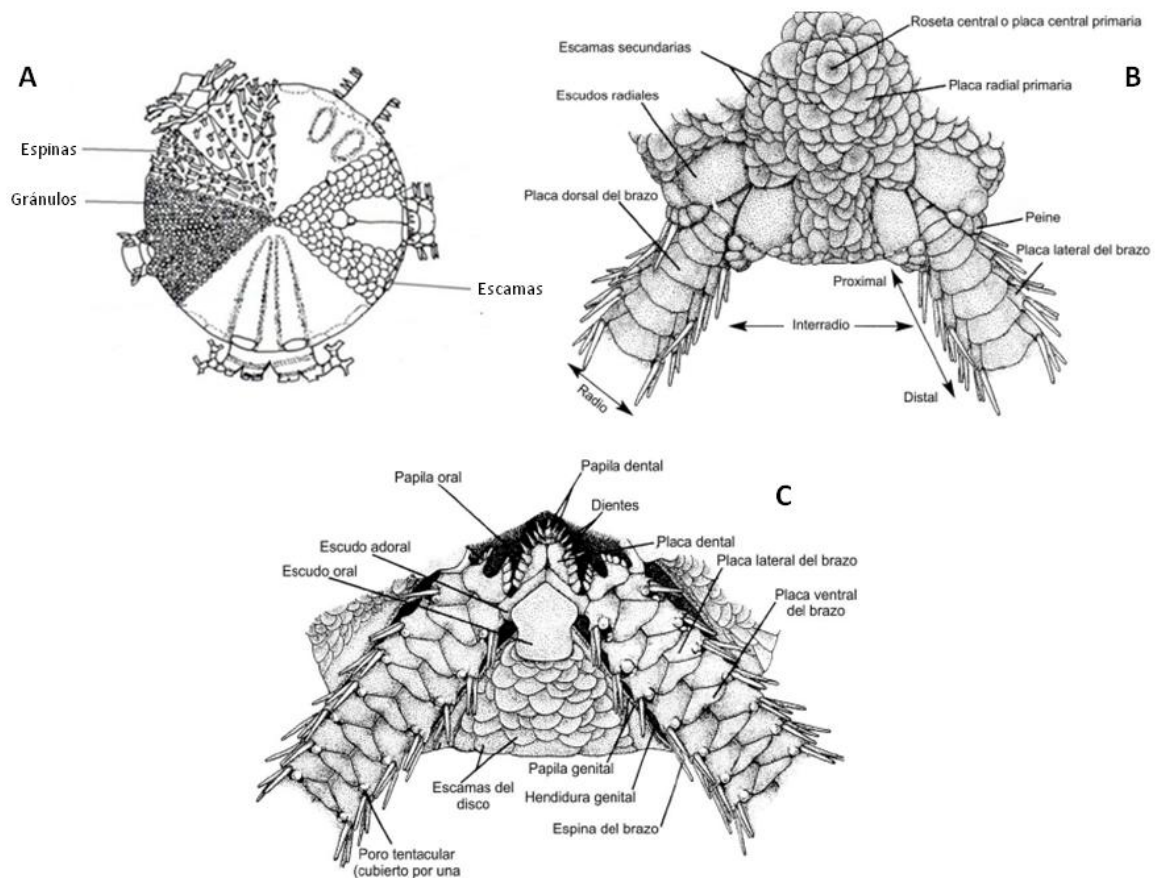
**Fig. 2** Alcance batimétrico de las familias de ofiuroides reconocidas en el Golfo de California, dentro del intervalo de profundidad de este estudio [Datos tomados de Laguarda-Figueras *et al.*, 2009].



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Identificación de especies

Los ofiuroides se clasifican tomando en cuenta su arreglo corporal y las ornamentaciones presentes sobre el disco (Figura 3A) y las placas dorsales de los brazos. Los caracteres que determinan los órdenes, familias, géneros y especies son: presencia/ausencia de ornamentaciones en el disco (gránulos, espinas, placas, escamas), placas dorsales, escudos radiales (Figura 3B), escudos orales, placas adorales, placas orales, papilas orales, papilas dentales, hendiduras genitales, escamas tentaculares, placas ventrales, laterales y espinas de los brazos (Figura 3C) [Laguarda-Figueras *et al.*, 2009].



**Fig. 3.** Caracteres taxonómicos para identificar las especies de ofiuroides. (A) Ornamentaciones presentes en el disco [Modificada de Laguarda-Figueras *et al.*, 2009]; (B) Vista dorsal; (C) Vista oral [Tomada de Pineda-Enríquez, 2013].

## 2.2 Caracterización de hábitats

Actualmente se utilizan diversos tipos de tecnología para caracterizar hábitats. La teledetección y batimetría son útiles para determinar las propiedades geofísicas del fondo marino, con esta información se elaboran mapas de hábitats bénticos basados en el principio de que diferentes sustratos mostrarán diferentes firmas acústicas [Brown, 2007].

Anderson y colaboradores [2007] describen un método de rápida recolección y procesamiento de datos del fondo marino en tiempo real, para determinar hábitats de fondo marino. Con datos acústicos de sonar de barrido lateral, recogidos a través de transectos multidireccionales de un área del fondo marino se obtiene un mapa del fondo marino. Esta información se obtiene mediante una cámara-trineo que es remolcada, al mismo tiempo se obtienen vídeos que permiten caracterizar los distintos hábitats. Esta tecnología permite caracterizar aspectos bióticos y abióticos de los fondos marinos en tres niveles diferentes: el tipo de sustrato, la estructura física y la ocurrencia béntica de biota.

Amend y colaboradores [2007] proponen la utilización la tecnología llamada línea de escaneo láser que permite la producción de imágenes para el mapeo del hábitat y el desarrollo de mosaicos de hábitats bénticos. Los autores consideran esta tecnología como un paso intermedio entre los hábitats caracterizados con imágenes de sistemas geofísicos y métodos *in situ* como la utilización de vídeos obtenidos con vehículos operados remotamente (ROV).

Rioja-Nieto & Sheppard [2008] e Hinojosa-Arango *et al.*, [2014] caracterizaron hábitats someros diferentes en el Parque Nacional de Arrecifes en Cozumel y en Bahía Concepción respectivamente, utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y el modelo estadístico de Bray-Curtis de similitud para calcular los valores entre cada hábitat. En hábitats profundos ésta estrategia está limitada a las capacidades de los ROV's para el levantamiento de mosaicos y geoposicionamiento.

## 2.3 Hábitats bénticos de ofiuroides

Los estudios bénticos sobre ofiuroides en aguas profundas son relativamente escasos y han sido definidos para zonas geográficas limitadas [Summers & Nybakken, 2000]. Los trabajos que describen la estructura comunitaria o los hábitats de ofiuroides corresponden principalmente a aguas someras con diferencias en la composición de especies, densidad, preferencia de hábitat, entre otros factores [Kissling & Tylor, 1977; Bray, 1975, 1981; Lewis & Bray, 1983].

Caso *et al.*, [1996] describieron la comunidad de equinodermos para la Bahía de Mazatlán, incluidas 10 especies de ofiuroides, consideraron dos grupos para la ocurrencia de las especies, el primero de amplia distribución con especies distribuidas sobre fondos arenosos en áreas protegidas de la bahía y el segundo donde las especies de ofiuroides se encontraron sobre sustratos rocoso-arenosos. Encontraron que algunas especies de ofiuroides presentan una acentuada selectividad a determinado tipo de sustrato y concluyen que la presencia de especies de ofiuroides estuvo más condicionada al tipo de sustrato que a otras variaciones en factores ambientales.

Los microhábitats incluyen materiales y características del fondo marino, por ejemplo estructuras biogénicas como corales solitarios, esponjas, y anémonas [Greene *et al.*, 1999]. Algunos organismos usan otras especies como sustratos para refugio, alimentación o parasitismo, pero también puede haber beneficios mutuos de asociación. La importancia de las especies bénticas como sustrato parece aumentar con la profundidad, como la complejidad de los alrededores, por ejemplo el sustrato geológico y la disminución del suministro de alimentos [Buhl-Mortensen *et al.*, 2009].

Algunos trabajos de aguas profundas describen la estructura comunitaria de diversas regiones del fondo marino, mencionando algunas veces la presencia de ofiuroides con información sobre su hábitat, pero sin que éstos lleguen a ser el objetivo central del trabajo. Manso [2010] realizó un listado de especies de ofiuroides de mar profundo para las costas de Chile, reportando 15 especies diferentes. Sibuet y Olu [1998] describen la diversidad y distribución de la biota de infiltraciones de metano en márgenes pasivos y activos, mencionando la presencia de ofiuroides.

Levin *et al.*, [2000] describieron la estructura comunitaria de una ZOM en el noreste del mar Árabe. Muestrearon seis estaciones a diferentes profundidades (400, 700, 850, 1,000, 1,250 y 3,400 m), éstas estaciones fueron caracterizadas con respecto a la macrofauna, abundancia, biomasa, tamaño corporal, composición taxonómica, diversidad, estilos de vida y la relación de estos parámetros con las variables ambientales. Solo mencionan a los ofiuroides como un taxón común durante los transectos, sin establecer su identidad, abundancia o el tipo de hábitat que ocupan.

Cook y colaboradores [2000] estudiaron la relación entre la abundancia de nematodos y las concentraciones de oxígeno. Llegaron a la conclusión de que la abundancia de nematodos no era consecuencia de los bajos niveles de oxígeno, sino de la alta abundancia de organismos más grandes en particular ofiuroides.

## 2.4 Complejidad arquitectónica del hábitat

La complejidad del hábitat y la heterogeneidad se han relacionado con los cambios en la abundancia y diversidad de los organismos en diversos entornos terrestres y acuáticos [Bell, 1985; Levin y Dayton, 2009]. Los márgenes del océano están caracterizados por una heterogeneidad topográfica que incluye pendientes variables, diferentes tipos de sedimentos y variables abióticas [Buhl-Mortensen *et al.*, 2009]. Los organismos que proporcionan una posición elevada en un sustrato estable representan un hábitat escaso y complejo, que contribuye sustancialmente a la riqueza de especies [Beaulieu, 2001; Buhl-Mortensen y Mortensen, 2004]. La complejidad arquitectónica del organismo formador de hábitat está relacionada positivamente con la diversidad de especies tanto sésiles como móviles [Buhl-Mortensen *et al.*, 2009].

La rugosidad del hábitat es una estimación entre la relación del área de superficie 3D con respecto al área plana que se encuentra alrededor y puede actuar como una medida de la complejidad estructural del hábitat [Ross y Howell, 2012]. Los sustratos rocosos a menudo generan estructuras para el asentamiento de diversos organismos [Buhl-Mortensen *et al.*, 2009]. Se tienen registros de especies de ofiuroides que ocupan exclusivamente estructuras de posición elevada sobre el sustrato, específicamente las comisuras de grandes columnas de roca [Chavarro *et al.*, 2004].

## 2.5 Protección en ambientes marinos

La conservación de los recursos costeros y oceánicos en el país se enmarca dentro de la legislación ambiental y diferentes compromisos contraídos por México; entre los que destacan el CDB, el programa “Mandato de Yakarta sobre diversidad biológica marina y costera” acordado por el CDB, la convención de las Naciones Unidas sobre la Ley del Mar, la Agenda 21, los objetivos de Aichi [CONABIO, 2016] y las 17 metas del desarrollo sustentable (Meta 14: conservación y uso sustentable de los océanos, mares y recursos marinos) [un.org, 2017]

Existen diferentes modalidades para la conservación de ecosistemas y hábitats marinos, a continuación se enlistan algunas de ellas (Tabla 6):

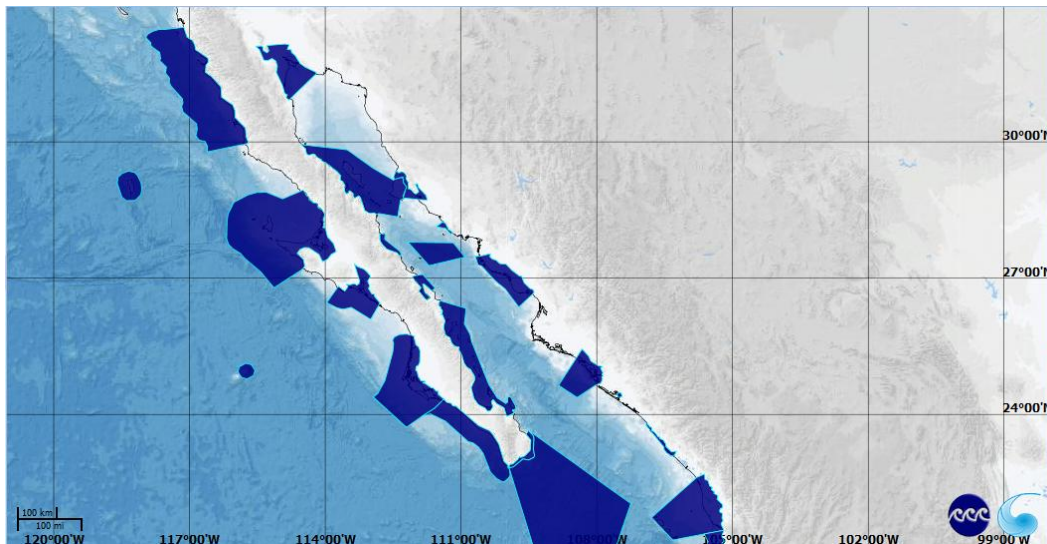
**Tabla 6.** Modalidades de conservación para hábitats y ecosistemas marinos.

MODALIDAD	DEFINICIÓN
Área Natural Protegida (ANP)	Son áreas del territorio nacional sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y son aprobadas por la Federación [CONANP, 2016].
Área con particular interés ambiental (APEI)	Son áreas marinas situadas en fondos marinos fuera de Jurisdicción Nacional que presentan especies, hábitats o características topográficas únicas o representativas y son aprobadas por la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos de Naciones Unidas [Wedding <i>et al.</i> , 2013].
Área marina biológica o ecológicamente significativa (EBSA)	Son áreas en los océanos que se reconocen como especiales por el valioso soporte que dan al buen funcionamiento de los mares y a los servicios ecosistémicos que ofrecen, son aprobadas en la COP en las Naciones Unidas [Azores Scientific Criteria and Guidance, 2008].
Regiones prioritarias	Son áreas costeras y oceánicas consideradas prioritarias por su alta diversidad biológica, por el uso de sus recursos y por su falta de conocimiento sobre biodiversidad y son reconocidas por los sectores del país [CONABIO, 2016].

Dentro del Golfo de California se reconocen 24 áreas demarcadas por alguna de estas modalidades (Ver anexo I). De las cuales tres son terrestres, 20 costeras o complejos insulares y una de mar profundo.

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

La Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) instrumentó el *Programa de Regiones Marinas Prioritarias de México* (Figura 4) con el apoyo de diversas agencias, fundaciones y fondos. Con este programa reunió un grupo multidisciplinario de expertos con el objetivo de identificar, caracterizar y delimitar las regiones marinas prioritarias. Se llevó a cabo una clasificación de 70 áreas prioritarias considerando criterios ambientales, económicos y de amenazas. Dentro de los primeros se tomó en cuenta la diversidad y riqueza de especies, entre los organismos considerados se encuentra la diversidad de equinodermos [Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998].



**Fig. 4.** Regiones Marinas Prioritarias en el Golfo de California. Mapa elaborado a través de la Unidad de Informática Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología [UNINMAR, 2016].

### 3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Los trabajos en mar profundo en la escala pequeña, de metros (hábitat, especie) son limitados por requerir de tecnología especializada y de muy alto costo. Los estudios abarcan predominantemente la escala grande, es decir de kilómetros (ecosistema).

Con este trabajo se pretende establecer los hábitats y las condiciones bajo las cuales ocurre uno de los componentes dominantes de las comunidades bénticas, los ofiuroideos (talla promedio) en fondos afectados por oxígeno mínimo, que define su distribución y abundancia en el Golfo de California. Los resultados de este estudio contribuyen como un primer estudio a estas profundidades con la línea base para reconocer la diversidad e importancia de estas zonas en el Pacífico oriental tropical en México.

#### **4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿La riqueza de ofiuroideos tiene alguna relación con la complejidad arquitectónica del hábitat?
2. ¿Qué tipo de estructuras bióticas aumentan la complejidad del hábitat?
3. ¿La abundancia de especies de ofiuroideos varía entre cada hábitat?



## 5. OBJETIVOS

### Generales

Evaluar la diversidad de ofiuroides de hábitats de cuencas hipóxicas del Golfo de California.

Reconocer hábitats bénticos donde ocurren ofiuroides en cuencas con presencia de oxígeno mínimo en el Golfo de California.

### Particulares

1. Identificar las especies de ofiuroides asociadas a cuencas hipóxicas del Golfo de California.
2. Identificar los hábitats donde ocurren ofiuroides.
3. Describir la riqueza de especies y abundancia de especies por hábitat.
4. Valorar el potencial de conservación de hábitats (por el elevado número de especies).

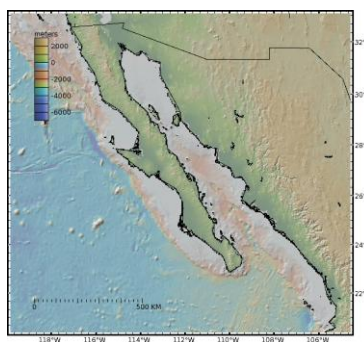
## 6. ÁREA DE ESTUDIO

### 6.1 Golfo de California

El Golfo de California (Figura 5) es una cuenca marginal situada al noroeste de la República Mexicana, delimitada al occidente por la península de Baja California y al oriente por las costas de los estados de Sonora y Sinaloa, se encuentra ubicada entre los 23° y 32° de latitud Norte y los 107° a 115° de longitud Oeste. Es un mar semicerrado de 1,200 km de longitud, tiene un promedio de 150 km de ancho con comunicación directa al sureste con el Océano Pacífico. Su formación se inicio hace unos cuatro a cinco millones de años [Lugo, 1985]. Alberga alrededor de 102 islas (casi todas de origen volcánico) [Laguada-Figueras *et al.*, 2009]. El ambiente geomorfológico presente es complejo, conformado por cuencas submarinas de fallas tectónicas [SEMARNAT, 2006]. Las cuencas son más profundas hacia el sur y están separadas entre sí por cordilleras transversales [Álvarez-Borrego, 2002].

Esta provincia oceanográfica corresponde al límite tectónico entre la placa oceánica del Pacífico y la placa continental de Norteamérica. Dicho límite está definido por el sistema transformante del Golfo de California, el cual ocurre desde el sistema de Falla de San Andrés (al norte) hasta la Dorsal del Pacífico Este (East Pacific Rise) donde limita con la placa oceánica de Rivera al sur [Figueroa, 2013].

Por su latitud, así como por la cordillera de 1 a 3 km de altura que corre a lo largo de la península de Baja California en el Occidente, la cual obstruye el efecto termorregulador del Océano Pacífico y la presencia del desierto de Sonora en la zona Oriente, el Golfo de California se encuentra en medio de los ambientes áridos que le proporcionan la característica de ser la única gran cuenca de evaporación en América que tiene comunicación directa con el Océano Pacífico [Roden, 1964], por lo que el clima es principalmente continental con grandes variaciones anuales y diurnas de temperatura.



**Fig. 5.** Ubicación del Golfo de California.  
[Modificada de GeoMapApp].

En el Golfo de California se reconocen seis diferentes masas de agua (Tabla 7).

**Tabla 7.** Características de las masas de agua en el Golfo de California [Modificada de Torres 1993].

Masa de agua	Salinidad ups (unidades prácticas de salinidad)	Temperatura (°C)	Profundidad (m)
Agua del Golfo de California	$S \geq 35.0$	$T > 12$	0-50
Agua superficial ecuatorial	$S < 35.0$	$T \geq 18$	< 50
Corriente de California	$S < 34.5$	$12 \leq T \leq 18$	400
Agua subtropical del subsuelo	$34.5 < S < 35.0$	$9 \leq T \leq 18$	400-500
Agua intermedia del Pacífico	$34.5 \leq S \leq 34.8$	$4 \leq T \leq 9$	500-1 000
Agua profunda del Pacífico	$S > 34.5$	$T < 4$	$\leq 1 500$

Las profundidades en las que se alcanzan valores críticos de oxígeno disuelto (menores a  $0.5 \text{ ml.L}^{-1}$ ) para el proceso de respiración no es igual en todos los océanos del mundo y tampoco todas las regiones oceánicas presentan estas condiciones, las cuencas del Golfo de California tienen cambios en la concentraciones de oxígeno que se relacionan con la ocurrencia de las ZOM (Figura 6). Por ejemplo, frente a las costas del estado de Sinaloa, estos valores se encuentran a profundidades mayores a 70 m, mientras que frente a las costas de Guerrero y Michoacán se encuentra a profundidades mayores a 50 m [Hendrickx & Serrano, 2010]. Estas concentraciones de oxígeno disuelto, cercanas a cero, se mantienen casi sin variación entre 700 y 800 m, formando una franja conocida como zona de oxígeno mínimo. Por debajo de esta franja el oxígeno disuelto se incrementa progresivamente alcanzando valores mayores a  $0.5 \text{ ml.L}^{-1}$  [Serrano, 2012].

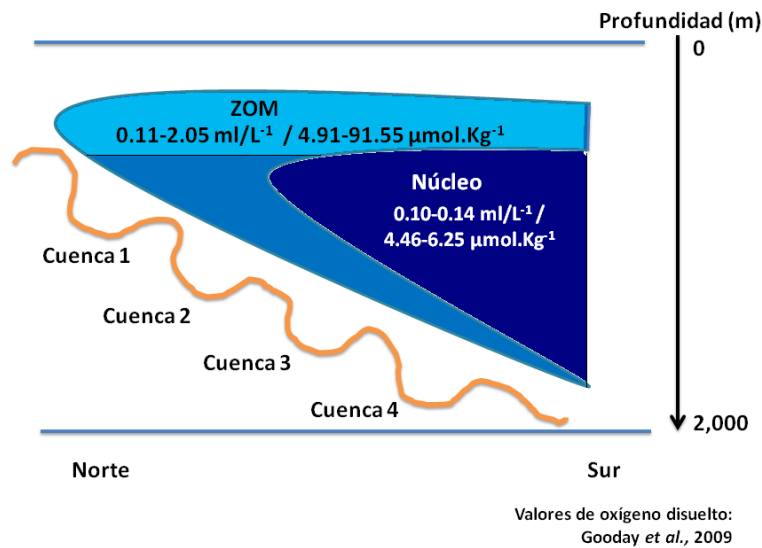


Fig. 6. Concentraciones de oxígeno en relación con la profundidad de las cuencas con presencia de ZOM [Datos ambientales tomados de Gooday *et al.*, 2009].

En el Golfo de California se reconocen cuatro áreas oceanográficas generales [Case *et al.*, 1983; De la Lanza, 1991]: el Golfo Norte o Alto Golfo, Región de las Grandes Islas, Golfo Central y Región Sur.

La región norte está caracterizada por una batimetría general somera, las cuencas se encuentran rellenas por paquetes sedimentarios de grandes espesores [Figuerola, 2013], las pendientes son ligeras, hay alta turbidez, temperaturas extremas, gran evaporación, baja precipitación, altas salinidades, grandes amplitudes de marea y corrientes de marea fuertemente rotatorias que generan mezcla. Además, experimenta fuertes fluctuaciones estacionales en cuanto a las variaciones de las condiciones termohalinas y en lo que se refiere a las corrientes [Laguarda-Figueras *et al.*, 2009].

Mientras que en la región sur, la corteza continental se va adelgazando a medida que avanza a la boca del golfo y de esta manera evoluciona a una corteza completamente oceánica [Lizarralde *et al.*, 2011]. Las pendientes son diferenciales en virtud de la falta de sedimentación en el lado occidental, las amplitudes de marea son pequeñas y las diferencias en la intensidad de las corrientes son menos importantes que aquellas producidas por el viento, las variaciones de salinidad son mínimas y existe una marcada variación estacional de temperatura [Laguarda-Figueras *et al.*, 2009].

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Los sedimentos depositados en el golfo son de origen orgánico e inorgánico, los primeros constituidos por formas planctónicas y bentónicas, siendo en su mayoría autóctonos. Los de origen inorgánico han sido producto de la erosión y depositación en ambos márgenes, dominando la depositación o construcción en las costas de Sonora y Sinaloa, por lo que el margen continental presenta costas más extensas de pendientes suaves con predominio de arenas, desde granos gruesos hasta muy finos. En el margen costero de la península de Baja California la erosión ha sido más común y destructiva, debido a la carencia de sistemas fluviales permanentes que depositen sedimentos a lo largo de las costas, aquí la erosión marina genera líneas de costa rocosas y escarpadas [Aguayo, 1981].

La campaña GOC-15 Leg 4 *Sea Floor* exploró varias cuencas e islas del Golfo de California caracterizadas por la presencia de ZOM (Figura 7).



Fig. 7. Ubicación de los sitios de recolección de ofiuroides en ZOM del Golfo de California [Modificada de [visibleearth.nasa.gov](http://visibleearth.nasa.gov)].

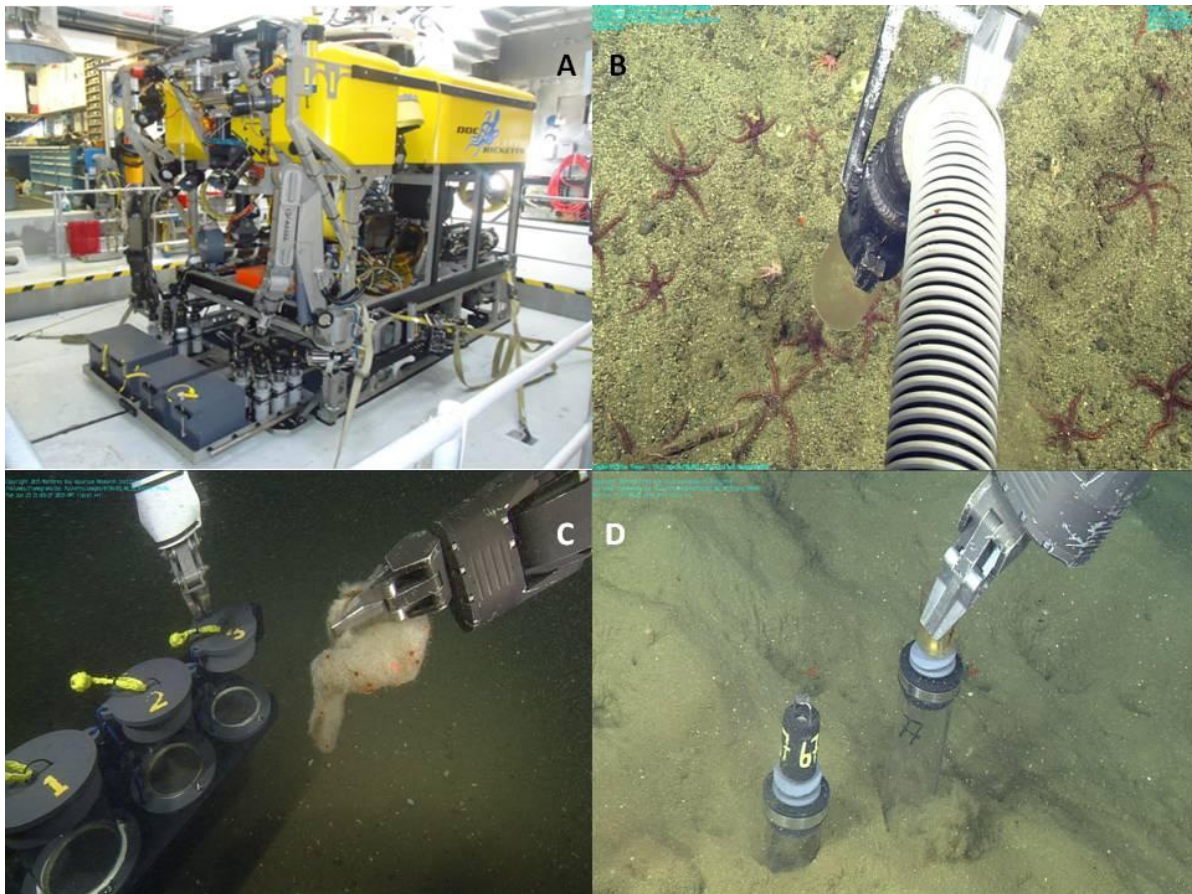


## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 TRABAJO DE CAMPO

#### *Procedencia y recolecta de los ejemplares*

Los ofiuroides provienen de cuencas e islas del Golfo de California caracterizadas por la presencia de ZOM, en localidades ubicadas entre los 23° y 29° de latitud N y los 109° y 113° de longitud W. Las muestras de sedimento y fauna fueron recolectadas durante la campaña GOC-15 Leg 4 *Sea Floor* a bordo del B/O *Western Flyer*, del Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) en marzo de 2015. Las muestras fueron recolectadas con el aspirador (Figura 8B), la mano robótica del brazo articulado (Figura 8C), el nucleador (Figura 8D) del vehículo operado vía remota (ROV) *Doc Ricketts* (Figura 8A) a profundidades de entre 217 y 1287 m. El total de muestras recolectadas con ofiuroides fue de 32 (Tabla 8).



**Fig. 8.** Recolecta de ejemplares. (A) ROV *Doc Ricketts*; (B) aspirador; (C) brazo ROV; (D) núcleo tubular.

*Separación de los ejemplares en campo*

Las muestras fueron separadas manualmente a bordo y se fijaron en etanol al 90% para garantizar la preservación de ADN y de los organismos. Algunas muestras contenían únicamente ofiuroideos y otras se encontraban con biota asociada. El sedimento contenido en la muestra se tamizó a través de un tamiz de 250  $\mu\text{m}$ , el material retenido fue colocado en frascos herméticos con etanol al 70% y etiquetado para su identificación.

Cuando las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología del ICML el etanol de cada muestra fue reemplazado por nuevo etanol con una concentración del 70% y nuevamente se tamizó la muestra a través de un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  para evitar la pérdida de organismos y/o sedimento.

**Tabla 8.** Inmersiones donde se recolectaron ofiuroideos, identificación, equipo de recolecta, profundidad y localidad de recolecta.

Identificación	Equipo de recolecta	Profundidad (m)	Localidad
D731 SH4	Aspirador	1287	Isla Tortuga Sur
D731 SH5	Aspirador	1253	Isla Tortuga Sur
D731 SH6	Aspirador	1238	Isla Tortuga Sur
D731 SH8	Aspirador	1215	Isla Tortuga Sur
D732 C57 1A 1-1	Núcleo tubular	620	Isla Tortuga Este
D732 SH4	Aspirador	918	Isla Tortuga Este
D732 SH7	Aspirador	716	Isla Tortuga Este
D732 SH10	Aspirador	306	Isla Tortuga Este
D732 SH11A	Aspirador	442	Isla Tortuga Este
D732 SH11B	Aspirador	267	Isla Tortuga Este

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<b>D732 SH12</b>	Aspirador	331	Isla Tortuga Este
<b>D734 SH2</b>	Aspirador	901	Isla San Pedro Mártir Sur
<b>D734 SH4</b>	Aspirador	653	Isla San Pedro Mártir Sur
<b>D734 SH12</b>	Aspirador	278	Isla San Pedro Mártir Sur
<b>D735 SH3</b>	Aspirador	792	Cuenca Sal Sipuedes
<b>D735 SH4</b>	Aspirador	1042	Cuenca Sal Sipuedes
<b>D735 SH9</b>	Aspirador	274	Cuenca Sal Sipuedes
<b>D735 SH12</b>	Aspirador	217	Cuenca Sal Sipuedes
<b>D736 SH2</b>	Aspirador	630	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH3</b>	Aspirador	850	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH5</b>	Aspirador	706	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH6</b>	Aspirador	780	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH8</b>	Aspirador	378	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH10</b>	Aspirador	561	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 SH11</b>	Aspirador	798	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D736 Brazo ROV</b>	Brazo ROV	397	Isla San Pedro Mártir Norte
<b>D737 SH2</b>	Aspirador	854	Isla Cerralvo
<b>D738 SH2</b>	Aspirador	1204	Cabo Pulmo
<b>D738 SH3</b>	Aspirador	1184	Cabo Pulmo
<b>D738 SH5</b>	Aspirador	1127	Cabo Pulmo
<b>D738 SH6</b>	Aspirador	703	Cabo Pulmo
<b>D738 SH10</b>	Aspirador	931	Cabo Pulmo
<b>D738 Brazo ROV</b>	Brazo ROV	1204	Cabo Pulmo



*Obtención de datos físicos y químicos*

Los datos físicos y químicos fueron obtenidos durante cada inmersión, utilizando un CTD con sensor de oxígeno montado en el ROV. Los datos recolectados por el CTD incluyen profundidad, salinidad, temperatura y concentración de oxígeno disuelto.

Debido a la elevada atenuación de la luz en el agua, la máxima altitud que puede emplearse en un reconocimiento óptico es de unos cuantos metros con una huella muy pequeña sobre el fondo marino. Una vista más extensa del fondo marino es solamente posible con múltiples fotografías o la reconstrucción de la escena a través de un vídeo. El ROV está equipado con una cámara HDTV con 10x aumentos y 12 canales de cámara disponibles. Y una cámara interna de giro e inclinación que puede visualizar hacia abajo y frontalmente, con este equipo se tomaron vídeos y fotografías a lo largo de cada inmersión, éstos serán utilizados para la descripción visual de diversos factores físicos presentes en cada hábitat (tipo de sustrato, proporción de roca, presencia de corales y/o asociación con diferente biota).

## 7.2 TRABAJO DE LABORATORIO

### *Identificación de especies*

Para identificar las especies de ofiuroides se revisaron 773 organismos y se seleccionaron los ejemplares mejor preservados, éstos fueron puestos a secar dentro de una caja petri durante 48 horas, con el fin de tener una mejor visualización de las estructuras diagnósticas. Posteriormente los organismos fueron almacenados en cajas de plástico de manera individual, evitando cualquier daño de las estructuras.

Se utilizó un microscopio estereoscópico Zeiss Stereo Discovery V8, para observar los caracteres diagnósticos de cada individuo. Los caracteres considerados fueron: escamas, gránulos y/o espinas del disco dorsal y ventral, posición, forma y tamaño de los escudos radiales, tamaño y forma de las placas dorsales y laterales, número, forma y tamaño de las espinas de las placas laterales, posición de la bursa, número y forma de las papilas genitales, número y posición de los dientes, número de papilas orales, número y tamaño de los poros y escamas tentaculares, forma y tamaño del escudo oral y adoral y finalmente la forma de las placas ventrales de los brazos.

Se utilizó principalmente la clave de identificación de Laguarda-Figueras *et al.*, [2009].

Adicionalmente se realizó un registro microfotográfico de las estructuras diagnósticas de cada una de las especies identificadas en el Laboratorio de Microscopía y Fotografía de la Biodiversidad, del Instituto de Biología. Utilizando un microscopio estereoscópico Leica con cámara de ocho megapíxeles, con módulos de multicon foco y montaje del programa Leica Application Suite.

Para corroborar la identidad a nivel específico de los organismos, se tomaron fotografías de microscopía electrónica de barrido (MEB) de algunas especies, en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología con un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM-6360 LV de bajo vacío con electrones retrodispersados y en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala con un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM-6380 LV de bajo vacío. Las estructuras morfológicas utilizadas para este fin fueron: escudos radiales, placas dorsales, placas ventrales, placas laterales, placas orales, placas genitales, placas dentales, escudo oral, escudo adoral, vértebras y espinas.

Para preparar las muestras de MEB se tuvo que desintegrar una parte del cuerpo del organismo. Se cortó una quinta parte del disco (con brazos) utilizando un bisturí, el

fragmento obtenido se colocó dentro de una caja Petri y se agregó una disolución de cloro comercial y agua destilada, hasta que el organismo quedará completamente cubierto y se dejó reposar entre dos y seis horas, hasta que las partes duras del organismo quedaran separadas del tejido blando. La concentración de cada disolución fue distinta, dependiendo de la especie y tamaño del ejemplar utilizado.

Después se decantó la disolución de cloro y agua destilada, y se enjuagó dos veces con agua destilada para eliminar el exceso de cloro. El último enjuague se realizó con alcohol etílico al 96%, se retiró el exceso y se dejó evaporar por completo. Una vez que las piezas del organismo se encontraban secas y separadas (en secciones ventral, dorsal y brazo) se montaron con pinzas de punta muy fina en un porta-muestras de aluminio (especial para MEB) sobre una tira adhesiva de carbón.

### *Identificación de hábitats*

Durante la campaña oceanográfica “GOC-15 Sea Floor” el equipo de biología béntica tuvo como objetivos: cuantificar la distribución de la fauna béntica, determinar la condición de los organismos (por ejemplo, la composición tisular y esquelética) y medir las tasas metabólicas de la megafauna clave, en relación con la variación de oxígeno y la química de los carbonatos. Las ZOM se encuentran bien desarrolladas en el Golfo de California, especialmente en la región Sur, razón por la cual previo al inicio de la campaña se tenían identificadas las cuencas que serían estudiadas.

Durante las ocho inmersiones realizadas se utilizó el vehículo operado remotamente (ROV por sus siglas en inglés) “*Doc Ricketts*”, para la recolecta de muestras y la toma de vídeos y fotografías, así como datos físicos y químicos. En cada inmersión se realizaron transectos desde la máxima profundidad alcanzada cuando el ROV tocaba fondo, hasta aproximadamente 200 m de la superficie.

Debido a que se trató de una campaña multidisciplinaria con el seguimiento de diversos objetivos, los transectos (que se encuentran grabados en vídeo) fueron realizados con diferentes acercamientos (zoom) a lo largo de cada inmersión. Se realizaron alternadamente un “zoom transect” y un “fish transect”. Por tal motivo se propone la siguiente metodología para identificar los diferentes hábitats en donde ocurren los ofiuroides.

Se revisaron los vídeos de cada inmersión y fotografías. Primero se reconoció el tipo de fondo, ya que no se cuenta con muestras físicas de sedimento. Los mapas de hábitats

se usan cada vez más en el manejo y conservación de los mares. Las áreas seleccionadas para este fin tienen diferentes escalas espaciales que van desde una zona en particular o de una estructura geográfica por ejemplo estructuras volcánicas, hidrotermales o carbonatadas y hasta grandes regiones por ejemplo el Alto Golfo de California. Los sistemas de clasificación ayudan a crear mapas integrales y detallados de hábitats. Una ventaja de los sistemas de clasificación es que permiten el uso de terminología estandarizada y tipo de hábitat al comparar localidades, cuencas y regiones. Los sistemas de clasificación pueden tener información y conceptos diferentes por ejemplo región, paisaje, biotopo. Éstos dependen del plan de manejo que se busque [Costello, 2009]. Un sistema jerárquico permite mapear hábitats a diferentes escalas usando datos diferentes en función a su disponibilidad, resolución, calidad, etc. Y se pueden ajustar a las necesidades y metas de cada programa [Van Der Beld *et al.*, 2017].

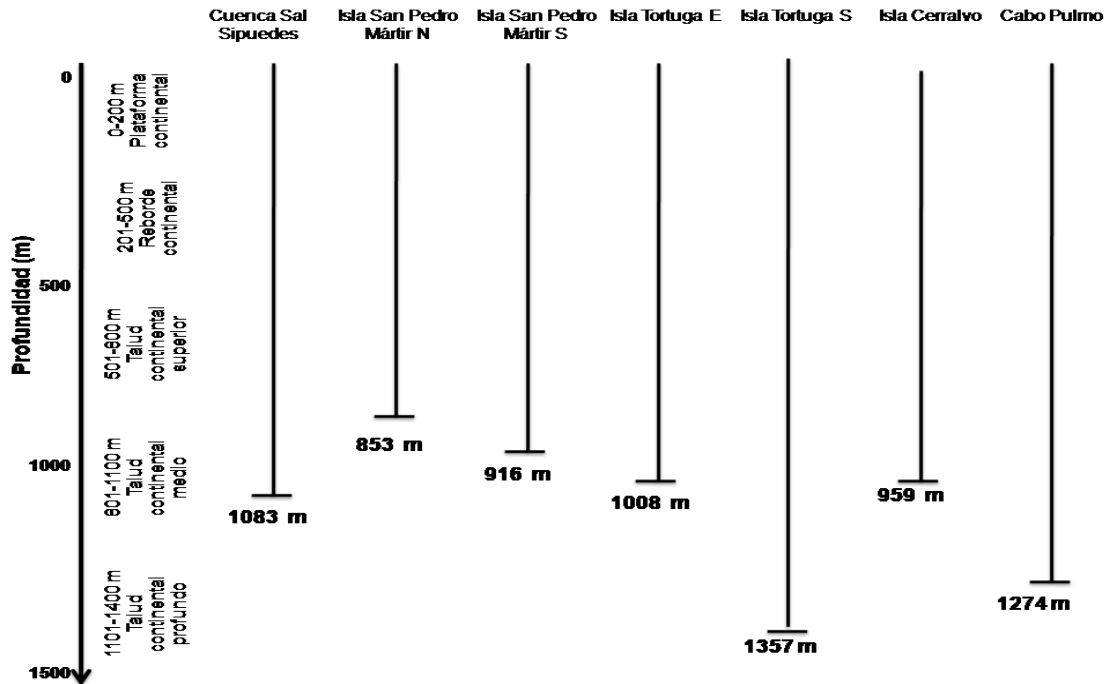
En este estudio la clasificación fue en escala pequeña por la huella en el fondo marino por el alcance del ROV y se basó en un primer paso en reconocer el tipo de sustrato presente en las imágenes y vídeos. Los tipos de fondo fueron con base en las características sedimentológicas del Golfo de California y el reconocimiento en las imágenes del ROV en los transectos de la campaña:

1. Blando
2. Rocoso

Se tienen datos de CTD, navegación, cuadros y vídeos de cada inmersión. La temperatura, profundidad, presión y condiciones químicas (oxígeno disuelto y salinidad) fueron tomadas durante las siete inmersiones utilizando un CTD con sensor de oxígeno cada 15 segundos. Mientras que los datos de navegación proporcionan información de latitud, longitud y profundidad cada segundo.

Con la revisión de los vídeos y cuadros se reconocieron los diferentes hábitats, tomando como característica principal el tipo de sustrato y la asociación biótica de los ofiuroideos con otros organismos (por ejemplo corales, esponjas, tunicados, etc.). Al mismo tiempo se elaboró una base de datos, que contiene todas las cuencas de N a S seccionadas en profundidad cada 200 m (Figura 9) tomando en cuenta la zonación de la plataforma y el talud continental y las 28 especies de ofiuroideos identificadas, señalando la presencia (1) o ausencia (0) de éstas en cada cuenca y estrato de profundidad.

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**



**Fig. 9.** Estratos de profundidad utilizados para elaborar la matriz de datos de composición y presencia y ausencia de las especies de ofiuroides identificadas.

La información de las matrices de datos de composición y presencia y ausencia de las especies identificadas (una para cuencas y otra para estratos de profundidad) fue procesada con el software estadístico PRIMER 7. Primero se realizó un análisis de similitud utilizando el índice de Jaccard, ya que se trata de datos no cuantitativos. Después, con las tablas obtenidas se corrió un análisis cluster y otro de escalamiento multidimensional (MDS).

Con el análisis cluster se busca obtener la agrupación de variables (cuencas y estratos de profundidad) con la máxima homogeneidad en cada grupo. Mientras que con el análisis MDS podemos establecer la proximidad entre los conjuntos de datos (cuencas y estratos de profundidad). Con ambos análisis podemos proponer cuáles son las cuencas y estratos de profundidad que tienen la mayor relación entre sí, tomando en cuenta las especies de ofiuroides que se encuentran en cada cuenca o estrato.

Finalmente, los parámetros físicos y químicos fueron vaciados en tablas (una tabla por cuenca) que asocian la profundidad, presión, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con los cuadros en donde se reconoce la presencia de ofiuroides. Esta información fue descrita cuando se encontró algún patrón entre alguno(s) de estos parámetros y un hábitat o especie de ofiuroides.

Con el objeto de unificar con los estudios de la región la concentración de oxígeno disuelto se transformó de  $\text{ml.L}^{-1}$  a  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  utilizando la siguiente equivalencia  $1 \mu\text{mol O}_2 = 0.022391 \text{ ml}$ , con el propósito de comparar los valores con las condiciones de oxígeno disuelto propuestas por Stramma *et al.*, [2010] y unificar con términos las zonas de la ZOM en el Golfo de California.

#### *Evaluación de la abundancia de ofiuroides para cada hábitat*

La abundancia de ofiuroides se determinó a partir de los cuadros y/o vídeos obtenidos durante la campaña. El ROV tiene integrados dos láseres rojos con una distancia de 29 cm entre ellos que permiten establecer la escala espacial del área de observación durante la inmersión considerando acercamientos por la cámara. Se seleccionaron cuadros por hábitat donde el área representada es igual a  $1\text{m}^2$  y se registro el número de individuos que se encuentran dentro de la imagen, de esta manera fue posible comparar la abundancia para cada hábitat.

El número de cuadros utilizados para cada hábitat fue diferente, este número corresponde al número de réplicas para describir cada hábitat. Éste dependió de la ocurrencia de cada hábitat a en las diferentes cuencas. Para los hábitats con mayor ocurrencia se utilizaron 30 réplicas que corresponden a diferentes estratos de profundidad.

La información fue presentada en una tabla comparativa con el número de réplicas, individuos y promedio para cada hábitat.

#### *Importancia en propuestas de conservación*

Las especies de ofiuroides y los hábitats descritos fueron utilizados como modelo para definir los criterios científicos que identifican las áreas marinas biológica o ecológicamente significativas (EBSAS's).

Para evaluar si las cuencas del Golfo de California con concentraciones de oxígeno disuelto bajas (hipoxia y anoxia) son un buen modelo para proponer un área de conservación de fondos marinos en las inmediaciones, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos tras utilizar la metodología propuesta por la COP de la CBD en los criterios 1, 4, 6 y 7 para identificar EBSAS's (Ver tabla 3). Estos cuatro criterios son útiles para determinar si el área de estudio o alguna de las cuencas afectadas por ZOM puede

incluirse como un área de conservación. El criterio 1 (*Unicidad o rareza*) se propone porque toma en cuenta zonas que contienen especies, hábitats o comunidades únicas. El criterio 4 (*Vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación*), toma en cuenta áreas que poseen una proporción elevada de hábitats o especies frágiles, que bien pueden encontrarse en zonas hipóxicas con una zonificación consistente, susceptible a los cambios más pequeños que pueden ser ocasionados por actividades antropogénicas. El criterio 6 (*Diversidad biológica*) toma en cuenta zonas que poseen una alta diversidad de especies o hábitats. Por último, el criterio 7 (*Naturalidad*) se propone por ser áreas con bajo nivel de perturbación inducida por el hombre o la degradación.

Con los criterios científicos anteriores se elaboró una tabla para definir que cuencas llenan éstos, siguiendo la estrategia descrita en el manual de entrenamiento para la descripción de EBSA's en aguas oceánicas y hábitats de mar profundo de la CDB en las propuestas de conservación [cdb.int, 2017].

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Identificación de especies

De la revisión de 773 organismos, se identificaron 28 especies diferentes de ofiuroides (Tabla 9) asociados a cuencas caracterizadas por la presencia de ZOM. Las especies pertenecen a nueve familias diferentes: Asteronychidae (tres especies), Asteroschematidae (una especie), Ophiuridae (cuatro especies), Ophioleucidae (una especie), Ophiocomidae (dos especies), Ophiacanthidae (ocho especies), Ophiactidae (tres especies) Amphiuridae (cuatro especies) y Ophiothrichidae (dos especies).

**Tabla 9.** Especies de ofiuroides identificadas.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
<b>Asteronychidae</b>	<i>Asteronyx longifissus</i> <i>Asteronyx loveni</i> <i>Astrodia excavata</i>
<b>Asteroschematidae</b>	<i>Asteroschema inornatum</i>
<b>Ophiuridae</b>	<i>Ophiura</i> sp. A <i>Ophiura</i> sp. B <i>Ophiosphalma jolliensis</i> <i>Ophiocten</i> sp.
<b>Ophioleucidae</b>	<i>Ophiernus polyporum</i>
<b>Ophiocomidae</b>	<i>Ophiomastix</i> sp. A <i>Ophiomastix</i> sp. B
<b>Ophiacanthidae</b>	<i>Ophiacanthidae</i> sp. A <i>Ophiacantha rhachophora</i> <i>Ophiacantha</i> sp. A <i>Ophiacantha</i> sp. B <i>Ophiacantha</i> sp. C <i>Ophiotreta</i> sp. <i>Ophiolimna</i> sp. <i>Ophiophthalmus normani</i>



<b>Ophiactidae</b>	<i>Ophiopholis</i> sp. A <i>Ophiopholis</i> sp. B <i>Ophiopholis longispina</i>
<b>Amphiuridae</b>	<i>Amphiura</i> sp. A <i>Amphiura</i> sp. B <i>Amphipholis</i> sp. A <i>Amphipholis</i> sp. B
<b>Ophiothrichidae</b>	<i>Ophiothrix galapagensis</i> <i>Ophiothrix</i> sp.

De las siete inmersiones realizadas, el mayor número de especies de ofiuroides ocurrió en Isla Tortuga Este con nueve especies diferentes (Tabla 10), seguida por Cabo Pulmo con ocho especies (Tabla 11), Cuenca Sal Sipuedes e Isla San Pedro Mártir Norte con siete especies cada una (Tabla 12 y 13 respectivamente), Isla Cerralvo con cinco especies (Tabla 14), Isla San Pedro Mártir Sur con cuatro especies (Tabla 15), y finalmente Isla Tortuga Sur con dos especies diferentes (Tabla 16).

**Tabla 10.** Especies de ofiuroides identificadas en Isla Tortuga Este (D732) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. de organismos</b>
<i>Amphipholis</i> sp. B	13
<i>Ophiura</i> sp. A	1
<i>Ophiura</i> sp. B	1
<i>Ophiopholis</i> sp. A	1
<i>Ophiotreta</i> sp.	3
Ophiacanthidae sp. A	10
<i>Ophiomastix</i> sp. A	1
<i>Ophiacantha</i> sp. A	3
<i>Ophiothrix galapagensis</i>	11

**Tabla 11.** Especies de ofiuroides identificadas en Cabo Pulmo (D738) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. de organismos</b>
<i>Ophiura</i> sp. B	3
<i>Ophiosphalma jolliensis</i>	5
<i>Ophiocten</i> sp.	1
<i>Ophiacantha</i> sp. C	3
<i>Amphiura</i> sp. B	3
<i>Ophiernus polyporum</i>	6
<i>Astrodia excavata</i>	1
<i>Asteroschema inornatum</i>	1

**Tabla 12.** Especies de ofiuroides identificadas en Cuenca Sal Sipuedes (D735) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. de organismos</b>
<i>Ophiomastix</i> sp. B	1
<i>Ophiacantha rhachophora</i>	1
<i>Ophiopholis</i> sp. B	1
<i>Ophiacantha</i> sp. B	1
<i>Amphipholis</i> sp. A	1
<i>Amphipholis</i> sp. B	1
<i>Ophiothrix</i> sp.	2

**Tabla 13.** Especies de ofiuroides identificadas en Isla San Pedro Mártir Norte (D736) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. de organismos</b>
<i>Ophiacanthidae</i> sp. A	169
<i>Amphipholis</i> sp. B	192
<i>Ophiopholis</i> sp. A	21
<i>Amphipholis</i> sp. A	4
<i>Ophiopholis longispina</i>	152
<i>Ophiotreta</i> sp.	8
<i>Amphiura</i> sp. A	1

**Tabla 14.** Especies de ofiuroides identificadas en Isla Cerralvo (D737) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. organismos</b>
<i>Asteronyx longifissus</i>	1
<i>Asteronyx loveni</i>	1
<i>Ophiolimna</i> sp.	1
<i>Ophiernus polyporum</i>	-
<i>Ophiacanthidae</i> sp. A	-

**Tabla 15.** Especies de ofiuroides identificadas en Isla San Pedro Mártir Sur (D734) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. organismos</b>
<i>Ophiacanthidae</i> sp. A	40
<i>Amphipholis</i> sp. B	94
<i>Ophiopholis</i> sp. B	5
<i>Amphiura</i> sp. A	4

**Tabla 16.** Especies de ofiuroides identificadas en Isla Tortuga Sur (D731) y número de organismos recolectados y revisados.

<b>Especies identificadas</b>	<b>No. organismos</b>
<i>Ophiernus polyporum</i>	1
<i>Ophiophthalmus normani</i>	4

**Guía fotográfica de especies identificadas**  
**Familia Asteronychidae**

***Asteronyx longifissus* Döderlein, 1927**  
**(Figuras 10, 10.1)**

**Descripción:** Disco muy delgado, cubierto por piel de apariencia desnuda (Figura 10A). Sólo se observan algunas escamas redondas y muy delgadas entre cada par de escudos radiales (Figura 10C). Los escudos radiales tienen forma de costilla, son largos y delgados, se unen en el centro del disco (Figura 10D). El borde distal es ligeramente más ancho que el proximal, y se articula con la proyección de la placa genital. El espacio interr radial es muy estrecho y está cubierto por piel delgada y algunas escamas. Las placas dorsales son tan anchas como largas, tienen forma de “W” y no se unen entre sí (Figura 10G), a través del tegumento que queda entre ellas pueden observarse las vértebras de los brazos. La parte ventral del disco está formada únicamente por piel (Figura 10B). Las hendiduras genitales se extienden hasta la cuarta placa ventral del brazo, cerca del contorno del disco. Las mandíbulas son tres veces más largas que anchas, hay tres papilas pequeñas y cónicas a cada lado de la abertura oral, seguidas de una papila dental más larga y cuatro dientes cuadrangulares que forman una fila (Figura 10E). El escudo oral es inconspicuo, de forma triangular. Los escudos adorales son largos y curvados, incluyen completamente al escudo oral (Figura 10F). Las placas ventrales tienen forma de “V” (Figura 10H). Una escama tentacular. Las placas laterales están situadas en la parte ventral de los brazos, cada una tiene de dos a tres espinas cortas con forma de gancho (Figura 10H).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son largos y anchos en la parte distal (Figura 10.1A), en la vista ventral (Figura 10.1B) se observa la superficie de articulación. El escudo oral es pequeño con forma de arco y se observa una línea central que lo divide a la mitad (Figura 10.1 D). El escudo adoral tiene forma de cuña y el extremo proximal es más ancho que el distal (Figura 10.1C). La placa genital adradial es larga, tiene una cresta en la parte central y después se forma una pequeña curvatura que la vuelve menos ancha en el extremo proximal, y una línea que forma dos surcos; en el extremo distal se forma un cóndilo grande moderadamente elevado (Figura 10.1E). Las placas orales son largas y anchas, la placa oral abradial (Figura 10.1F) tiene una elevación en la

parte central que forma una hendidura a cada lado, la placa adradial (Figura 10.1G) está redondeada en el extremo distal y tiene una perforación.

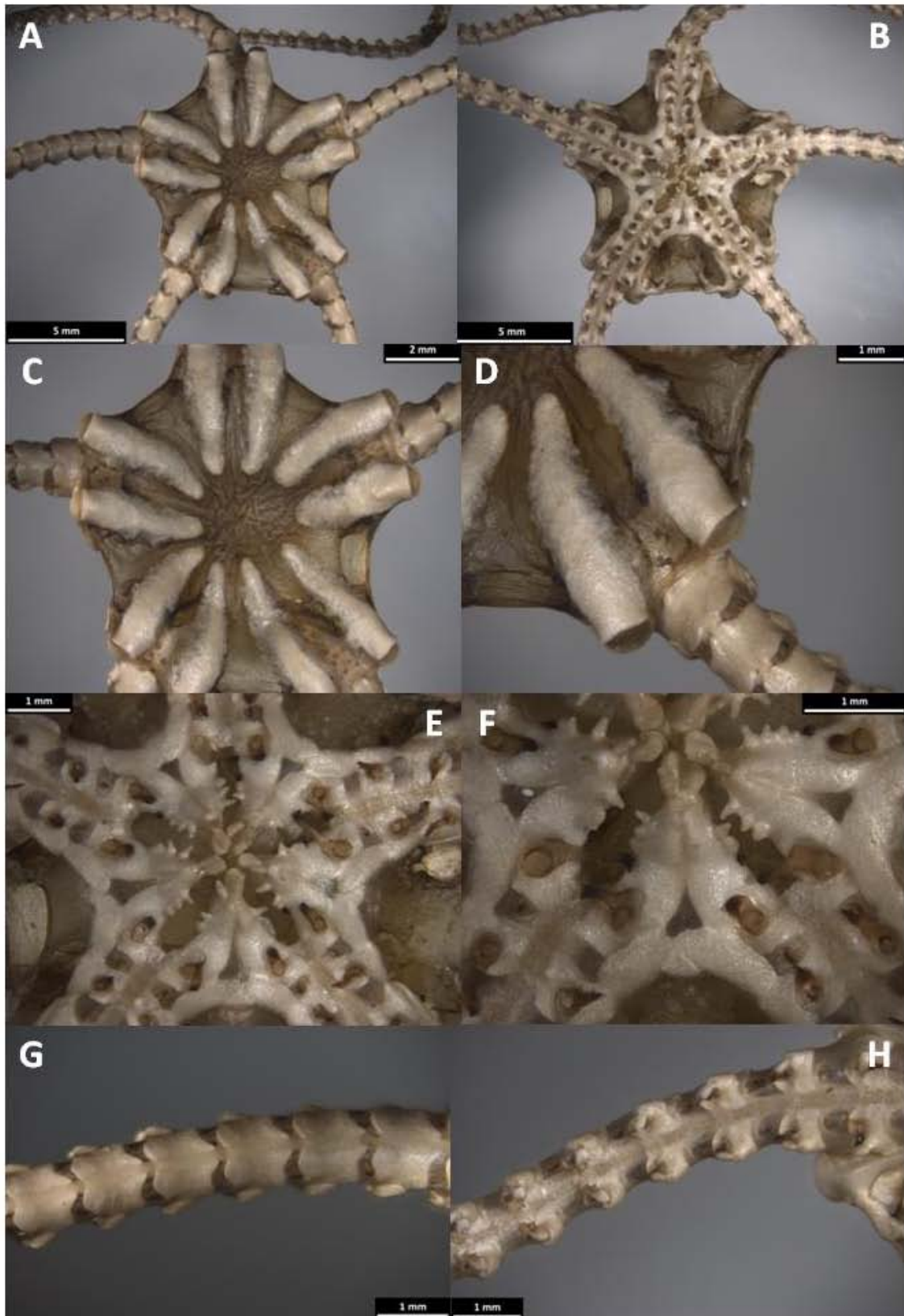
Las placas laterales son pequeñas y redondeadas, tienen una (Figura 10.1H) o dos (Figura 10.1I) articulaciones para las espinas, éstas aberturas son grandes y redondas. En la parte interna se forma un surco (Figura 10.1J). Las espinas son pequeñas con forma de gancho, el extremo proximal está redondeado y se observa un cóndilo elevando donde se articula a la placa lateral, en el extremo distal hay dos gachos largos y afilados (Figura 10.1K). Las vértebras proximal (Figura 10.1L) y distal tienen bordes redondeados (Figura 10.1M) con crestas en la parte central. En la vista ventral (Figura 10.1N) se observa un ligero surco central que divide a la vértebra en dos, en la vista dorsal (Figura 10.1O) hay una hendidura central profunda y alargada que divide a la vértebra. Lateralmente tienen dos perforaciones (Figura 10.1P).

**Localidad de recolecta:** Isla Cerralvo (24° 12.9606' N, 109° 47.3115' W).

**Distribución batimétrica:** De los 266 a los 1800 m [Hendler, 1996].

**Distribución geográfica:** Desde Oregon hasta San Diego California E.U.A [Maluf, 1988]; De Punta Concepción a San Diego California E.U.A. [Döderlein, 1927].

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 10. *Asteronyx longifissus* Döderlein, 1927.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan algunas escamas entre los escudos radiales; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas con forma de gancho.

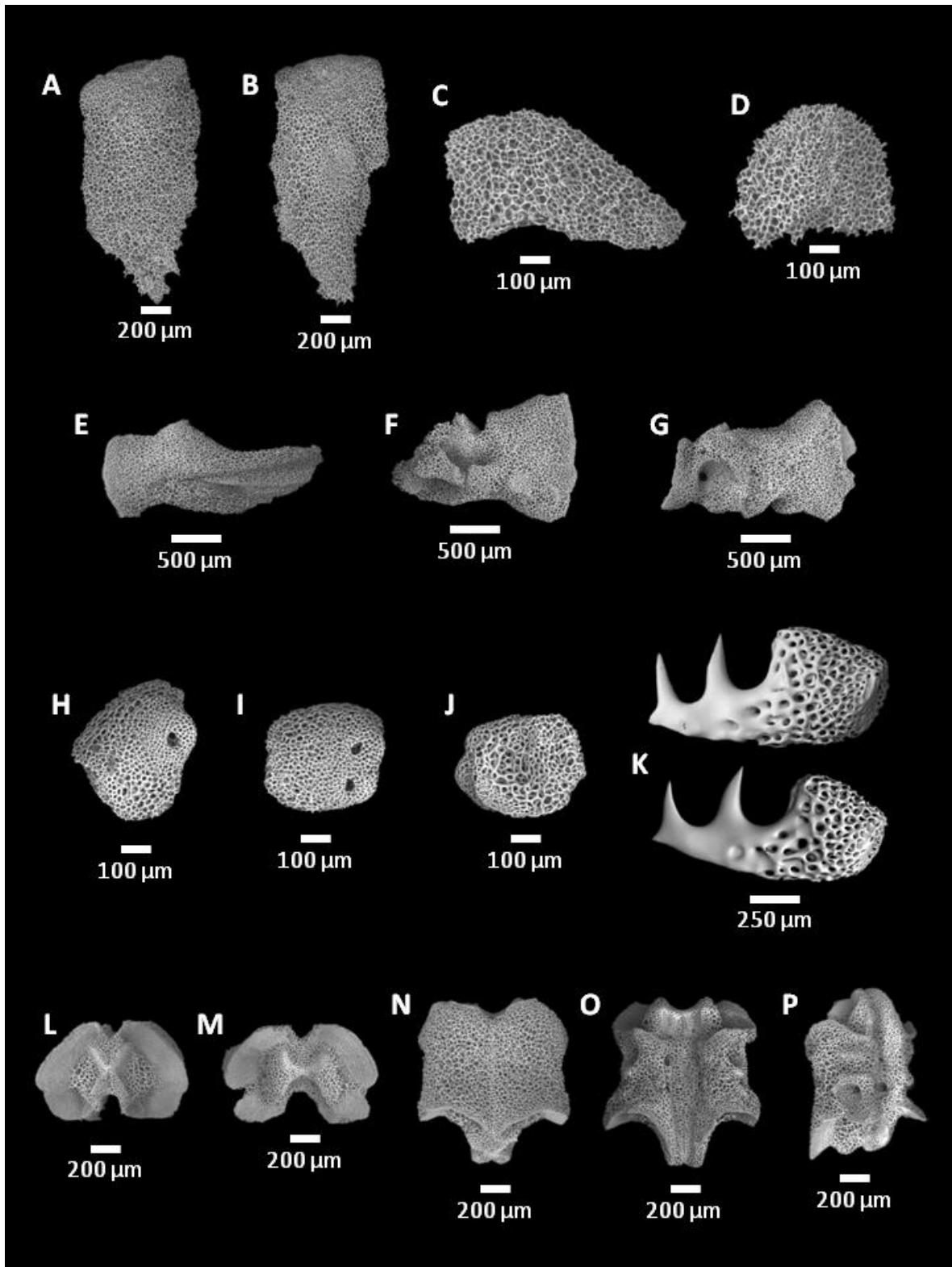


Fig. 10.1. *Asteronyx longifissus* Döderlein, 1927. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo adoral; (D) Escudo oral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa oral abradial; (G) Placa oral adradial; (H-J) Placas laterales del brazo; (K) Espinas; (L-P) Vértebras.



***Asteronyx loveni* Müller & Troschel, 1842**  
**(Figuras 11, 11.1)**

**Descripción:** Disco pentagonal cubierto por piel (Figura 11A), se observan algunas placas alargadas entre los escudos radiales (Figura 11C). Los escudos radiales son cinco veces más largos que anchos, con forma de barra, se extienden desde el centro del disco hasta el extremo distal del mismo (Figura 11D). Los extremos proximales están en contacto. El interrradio está cubierto por piel. Las placas dorsales tienen forma de “W”, la primera está cubierta por piel y algunas escamas (Figura 11G). El espacio ventral del disco está cubierto por piel oscura (Figura 11B). Las hendiduras genitales son cortas y se extienden hasta el tercer par de poros tentaculares. La abertura oral tiene papilas cortas que no están ordenadas en series regulares (hay de tres a cinco), se observa una papila dental afilada, seguida de cinco dientes rectangulares (Figura 11E). El escudo oral es muy pequeño con forma triangular. Los escudos adorales son rectangulares y se unen en el extremo proximal (Figura 11F). Las placas ventrales son pentagonales con el borde distal deprimido (Figura 11H). Las placas laterales están situadas en el área ventral-lateral del brazo, muy cerca de los poros tentaculares, cada uno con una escama tentacular. Las primeras dos o tres placas laterales del brazo no presentan espinas, las siguientes solo tienen una, después de la décima se observan dos, hasta las placas más distales que tienen cinco espinas. Todas las espinas tienen forma de gancho (Figura 11I).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son más largos que anchos (Figura 11.1A), en la vista ventral (Figura 11.1B) se observa la superficie de articulación. El escudo oral es redondo y tiene una pequeña depresión en el centro (Figura 11.1C). El escudo adoral tiene forma de triángulo y es ancho en el extremo distal (Figura 11.1D). La placa genital adradial es larga con forma de espada y tiene una cresta central que forma un surco a cada lado (Figura 11.1E). La placa dental es larga y está fragmentada en dos piezas irregulares, tiene cinco cuencas dentales que no perforan la placa y una final que es muy pequeña (Figura 11.1F). Las placas orales son más largas que anchas, la placa oral abradial (Figura 11.1G) tiene dos hendiduras, la primera en la parte central que corresponde al área de fijación muscular y la segunda en el extremo distal, la placa oral adradial (Figura 11.1H) está redondeada en el extremo distal y tiene una perforación. Las placas laterales son pequeñas, algunas son más anchas que largas (Figura 11.1I) y otras son muy alargadas (Figura 11.1K), todas tienen una articulación para las espinas, dichas

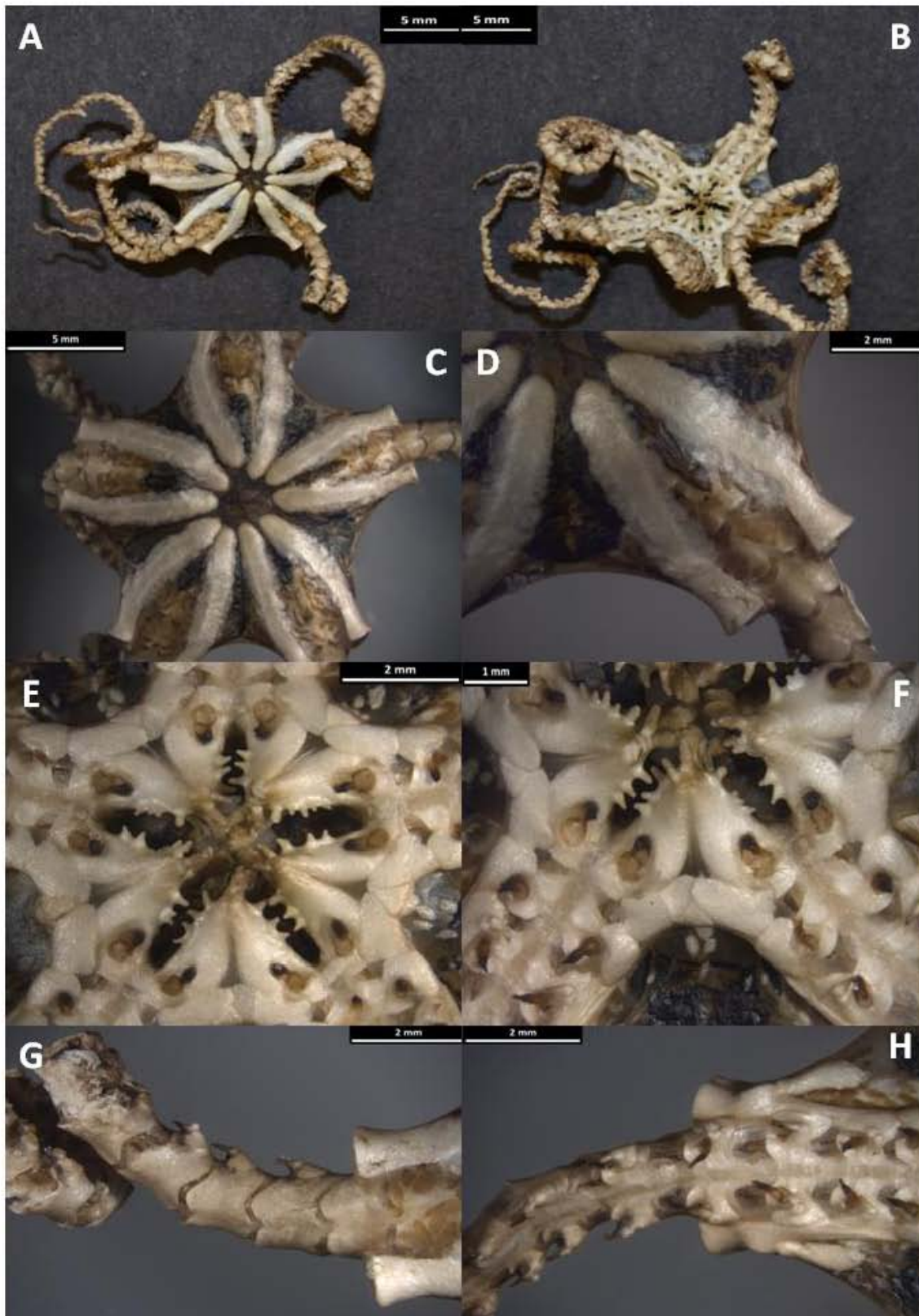
aberturas son grandes y redondas. La parte interna de las placas laterales se encuentra ligeramente deprimida (Figura 11.1J). Las espinas son pequeñas con forma de flecha, el borde de articulación a la placa lateral es romo y se observan minúsculas protuberancias puntiagudas a lo largo de toda la espina (Figura 11.1L). Las vértebras distal (Figura 11.1M) y proximal (Figura 11.1N) tienen bordes redondeados con crestas en la parte central; en el extremo distal de la vértebra distal se observan dos líneas (una a cada lado) de apariencia más traslúcida. En la vista ventral (Figura 11.1O) se observa un marcado surco central que divide a la vértebra en dos, la vista dorsal (Figura 11.1P) muestra una hendidura central profunda y alargada que divide a la vértebra. Lateralmente tiene una perforación (Figura 11.1Q).

**Localidad de recolecta:** Isla Cerralvo ( $24^{\circ} 12.9606' N$ ,  $109^{\circ} 47.3115' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 100 a los 4721 m [Paterson, 1988].

**Distribución geográfica:** Es de amplia distribución, únicamente no se ha encontrado en el Océano Ártico y algunas partes del Océano Antártico [Paterson, 1988].

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 11. *Asteronyx loveni* Müller & Troschel, 1842.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan algunas escamas entre los escudos radiales; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas con forma de gancho.

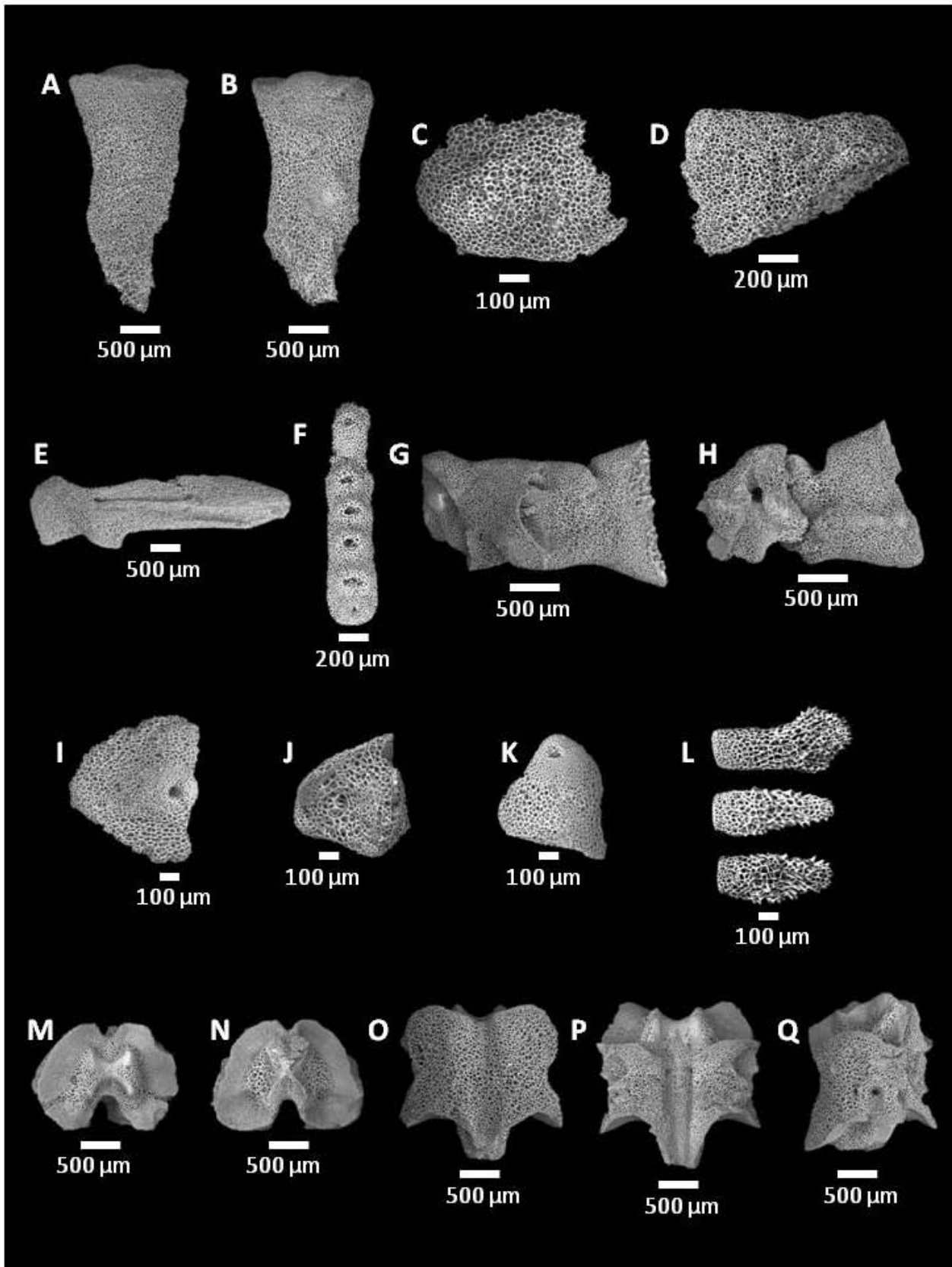


Fig. 11.1. *Asteronix loveni* Müller & Troschel, 1842. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa dental; (G) Placa oral abradial; (H) Placa oral adradial; (I-K) Placas laterales del brazo; Yossellín Tapia De la O (L) Espinas; (M-Q) Vértebras.

***Astrodia excavata* Lütken & Mortensen, 1899**  
(Figuras 12, 12.1)

**Descripción:** El disco es aplanado con una depresión en el centro (Figura 12A) y está cubierto por piel, sólo se observan algunas escamas muy delgadas entre cada par de escudos radiales (Figura 12C). Los escudos radiales son tres veces más largos que anchos, cubren casi todo el disco y se extienden desde el centro del mismo (Figura 12D). Están separados en el borde distal por escamas delgadas, dicho borde se articula con la proyección de la placa genital. El espacio interr radial está cubierto por piel. Las primeras placas dorsales no son visibles, las que pueden observarse son más largas que anchas, todas están cubiertas por piel (Figura 12G). La parte ventral del disco está cubierta por piel oscurecida y algunas escamas muy delgadas (Figura 12B). Las hendiduras genitales son cortas. Cada lado de la mandíbula tiene seis o siete papilas cortas, seguidas de 10 papilas orales acomodadas en pares. Hay más de 10 dientes con forma de punta de lanza (Figura 12E). El escudo oral es triangular y se encuentra cubierto por piel. Los escudos orales son rectangulares y están abultados, también se encuentran cubiertos por piel (Figura 12F). Las placas ventrales no son visibles porque están cubiertas por piel (Figura 12H). Las placas laterales son pequeñas y sólo se observan en la parte ventral. Los primeros dos pares de poros tentaculares no tienen espinas, el tercero sólo presenta una espina, hasta el sexto par hay una espina de cada lado, en los siguientes hay dos espinas y los más distales tienen tres espinas a cada lado. Las espinas son cortas y cilíndricas (Figura 12H).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son más largos que anchos (Figura 12.1A), la parte ventral (Figura 12.1B) es más porosa que la dorsal. El escudo oral tiene forma de rombo y se observa un patrón de líneas paralelas en la superficie (Figura 12.1C). El escudo adoral tiene forma rectangular (Figura 12.1D). La placa genital adradial es larga y ancha y tiene forma de cuña, cerca del extremo distal hay un pequeño surco que forma una hendidura a cada lado, en el extremo distal se forma un cóndilo grande y ligeramente elevado (Figura 12.1E). Las placas orales son tan largas como anchas y están formadas por dos segmentos, la placa abradial (Figura 12.1F) tiene un gran surco en la parte central que corresponde al área de fijación muscular y en el extremo proximal se observan una serie de estrías a lo largo de todo el borde; en la placa adradial (Figura 12.1G) el borde del extremo proximal es liso y hay una cresta en la parte central, el extremo distal tiene otra cresta de forma ovalada con una serie de

hendiduras. La placa dental (Figura 12.1H) es larga y está formada por tres piezas, tiene 17 cuencas dentales alargadas con borde definido y elevado, que no perforan la placa. Las placas laterales (Figura 12.1M) son más anchas que largas y tienen una abertura de articulación para las espinas con un borde elevado, la parte interna (Figura 12.1N) se encuentra ligeramente deprimida y tiene una cresta en la parte interna que cubre la mitad de la placa. Las vértebras proximal y distal tienen bordes redondeados, la vértebra proximal (Figura 12.1I) es más ancha que larga y tiene una cresta en forma de “X” que produce una hendidura a cada lado. La vértebra distal (Figura 12.1J) es tan larga como ancha y tiene una serie de dobleces en el extremo distal que le dan una apariencia más ancha. Lateralmente pueden ser cortas (Figura 12.1K) o alargadas (Figura 12.1L) dependiendo si se trata de vértebras distales o proximales respectivamente al disco, tienen una o dos perforaciones redondas y profundas donde se articulan espinas largas con forma de mazo (Figura 12.1P), su borde de articulación es romo y en el extremo opuesto sobresalen pequeñas espinas curvadas hacia afuera. Las espinas que se articulan a las placas laterales (Figura 12.1O) son cortas y anchas tienen un cóndilo corto en el extremo de articulación y forman una cresta en el extremo distal donde se vuelven más angostas. En la parte ventral tienen una depresión con forma triangular en el centro de la espina.

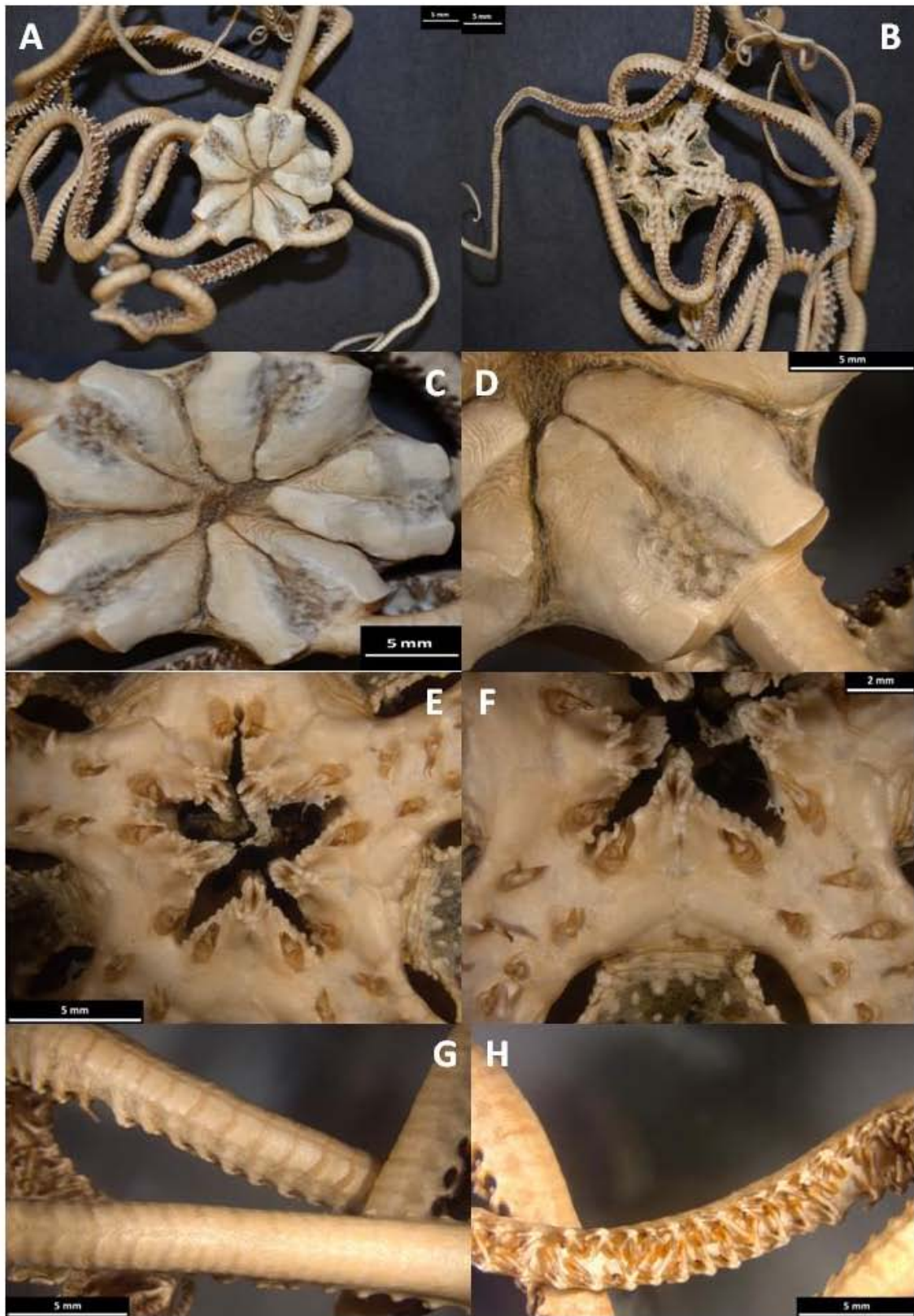
**Localidad de recolecta:** Cabo Pulmo (23° 25.1957' N, 109° 21.3404' W).

**Distribución batimétrica:** De los 267 a los 1273 m [Lütken y Mortensen, 1899].

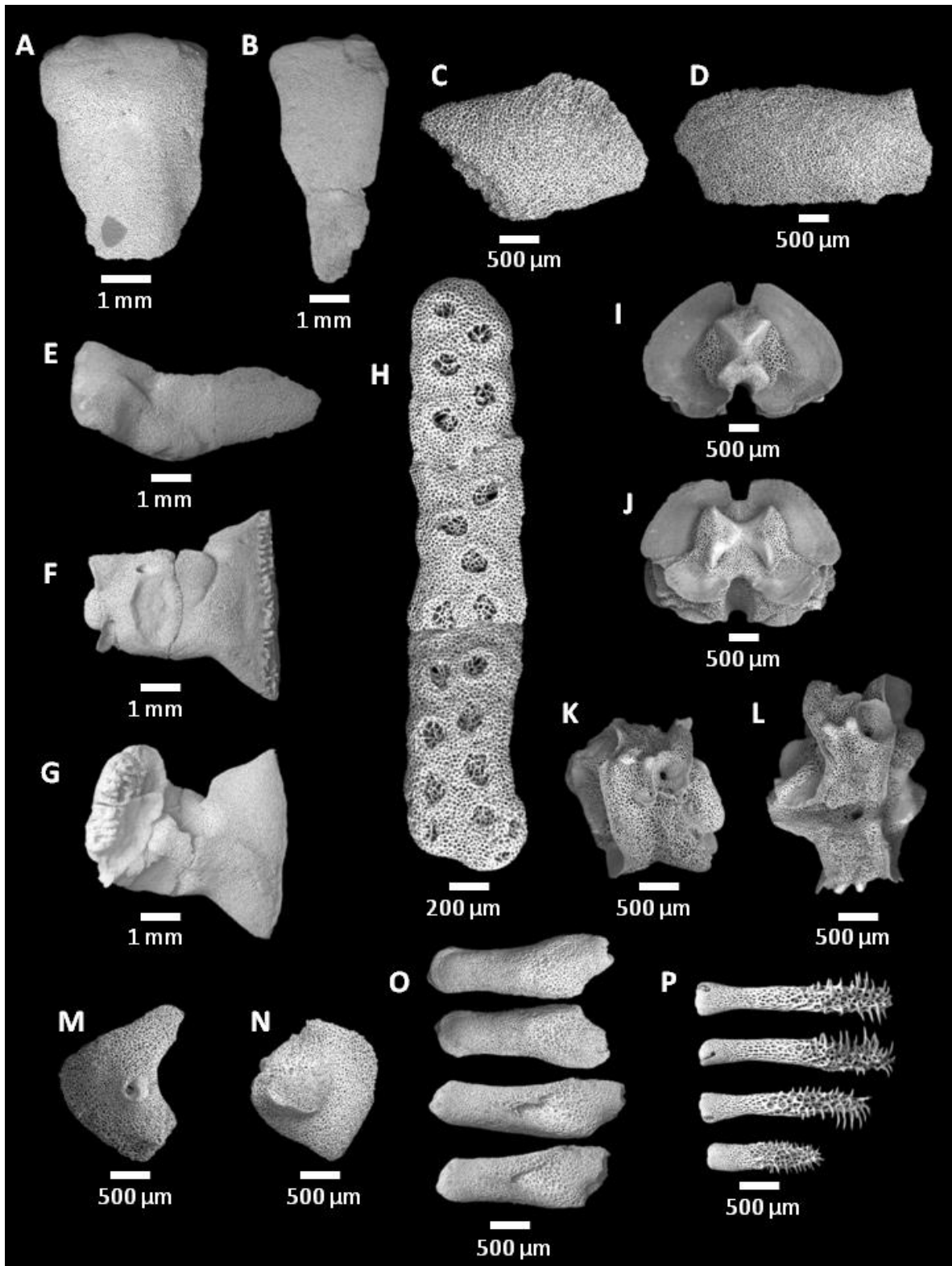
**Distribución geográfica:** Desde California E.U.A., hasta Perú [Yvonne, 1987].

**Material examinado:** Un organismo.





**Fig. 12.** *Astrodia excavata* Lütken & Mortensen, 1899. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas.



**Fig. 12.1.** *Astrodia excavata* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).

(A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa oral abradial; (G) Placa oral adradial; (H) Placa dental; (I-L) Vértebras; (M-N) Placas laterales del brazo; (O-P) Espinas.



## Familia Asteroschematidae

### *Asteroschema inornatum* Koehler, 1906 (Figuras 13, 13.1)

**Descripción:** Disco pentagonal cubierto por piel (Figura 13A), se observan algunos gránulos finos entre cada escudo radial (Figura 13C). Los escudos radiales tienen forma de costilla, son largos y delgados, se unen en el centro del disco, están completamente cubiertos por gránulos redondos y abultados (Figura 13D). El espacio interr radial está cubierto por gránulos. Las placas dorsales son más largas que anchas y están cubiertas por gránulos (Figura 13G), las placas más distales no son distinguibles. La parte ventral del disco está cubierta por piel oscura y algunos gránulos aplanados (Figura 13B). Las hendiduras genitales son amplias y se extienden hasta el margen del disco. Toda el área de la mandíbula está cubierta de gránulos aplanados. Hay dos papilas orales cortas a cada lado, seguidas de dos papilas dentales. Después se observan cuatro dientes anchos (Figura 13E). El escudo oral no se distingue porque está cubierto por piel y gránulos. Los escudos adorales son alargados y están abultados (Figura 13F). Las placas ventrales no son visibles (Figura 13H). Las placas laterales son pequeñas con forma de almohadilla. Los poros tentaculares no presentan escamas, a partir del segundo hay una espina larga y cilíndrica a cada lado (Figura 13H). Todos los brazos están cubiertos por gránulos.

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son cinco veces más largos que anchos (Figura 13.1A), la parte ventral tiene una cresta a lo largo de todo el escudo (Figura 13.1B) que forma un surco a cada lado. El escudo oral (Figura 13.1C) tiene forma de flecha y está centralmente deprimido. El escudo adoral (Figura 13.1D) es ancho con forma rectangular, en el extremo de articulación tiene un cóndilo elevado y se observa un patrón de líneas paralelas en la superficie. Las placas genitales tienen forma de media luna, la placa adradial (Figura 13.1E) tiene un borde romo en el extremo distal y a lo largo de toda la placa se forma un surco central. La placa abradial (Figura 13.1F) es lisa y abultada, el extremo distal tiene borde romo. La placa dental (Figura 13.1G) está formada por una sola pieza, tiene nueve cuencas dentales redondas que no perforan la placa (algunas no están completamente definidas). Las placas orales son más largas que anchas y están formadas por dos segmentos, la placa adradial (Figura 13.1H) tiene

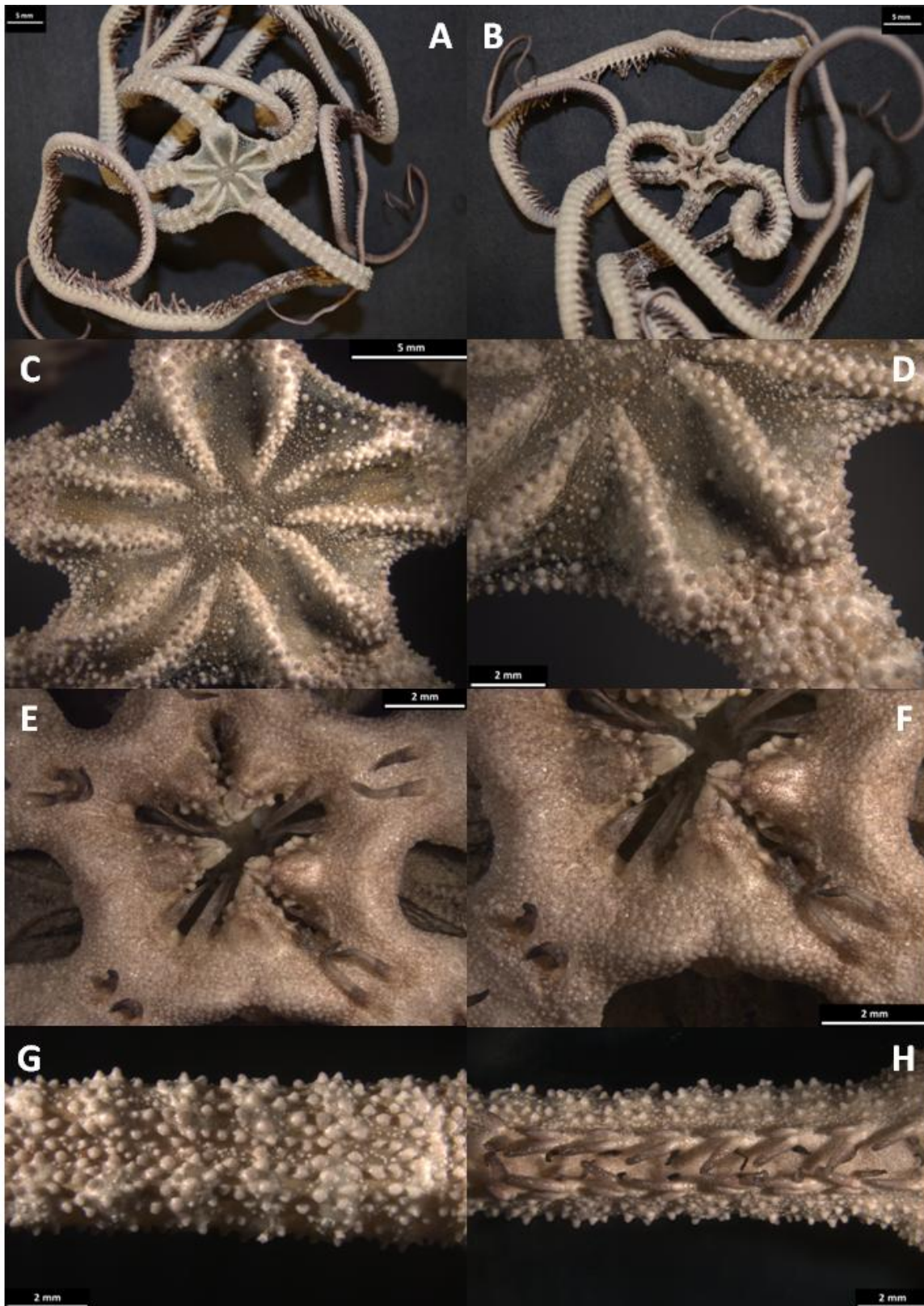
el borde proximal liso, se observa una pequeña cresta en la parte central y el extremo distal forma una cresta ovalada que sobresale con una serie de hendiduras.

La placa abradial (Figura 13.1I) tiene un surco grande de forma circular en la parte central, que corresponde al área de fijación muscular y en el borde del extremo proximal tiene una serie de estrías. Las placas laterales proximales al disco (Figura 13.1J) son alargadas y tienen una abertura de articulación para las espinas, en la parte interna (Figura 13.1K) tienen una cresta amplia que cubre el centro de la placa. Las placas laterales distales al disco son más pequeñas y tienen un cóndilo elevando en la articulación de la espina (Figura 13.1L), la parte interna (Figura 13.1M) tiene una hendidura en el centro de la placa. Tienen de cuatro a cinco perforaciones redondas donde se articulan las espinas (Figura 13.1N) algunas son profundas y otras no perforan la placa. Las espinas tienen forma de mazo (Figura 13.1O) con el borde de articulación romo en las más pequeñas, en las de mayor tamaño se observa un cóndilo elevado. En todas sobresalen pequeñas espinas curvadas hacia afuera. Las vértebras distal (Figura 13.1P) y proximal (Figura 13.1Q) son anchas con bordes redondeados. La vista ventral (Figura 13.1R) tiene un surco central que divide a la vértebra y a cada lado hay pequeños gránulos. Dorsalmente (Figura 13.1S) tienen una hendidura central ancha que va a lo largo de toda la vértebra y la divide, a cada lado se observan dos pares de abertura, las primeras son pequeñas y las segundas tienen un surco pronunciado, los bordes laterales forman una sucesión de crestas. Lateralmente se observan gránulos en la parte central de la vértebra (Figura 13.1T).

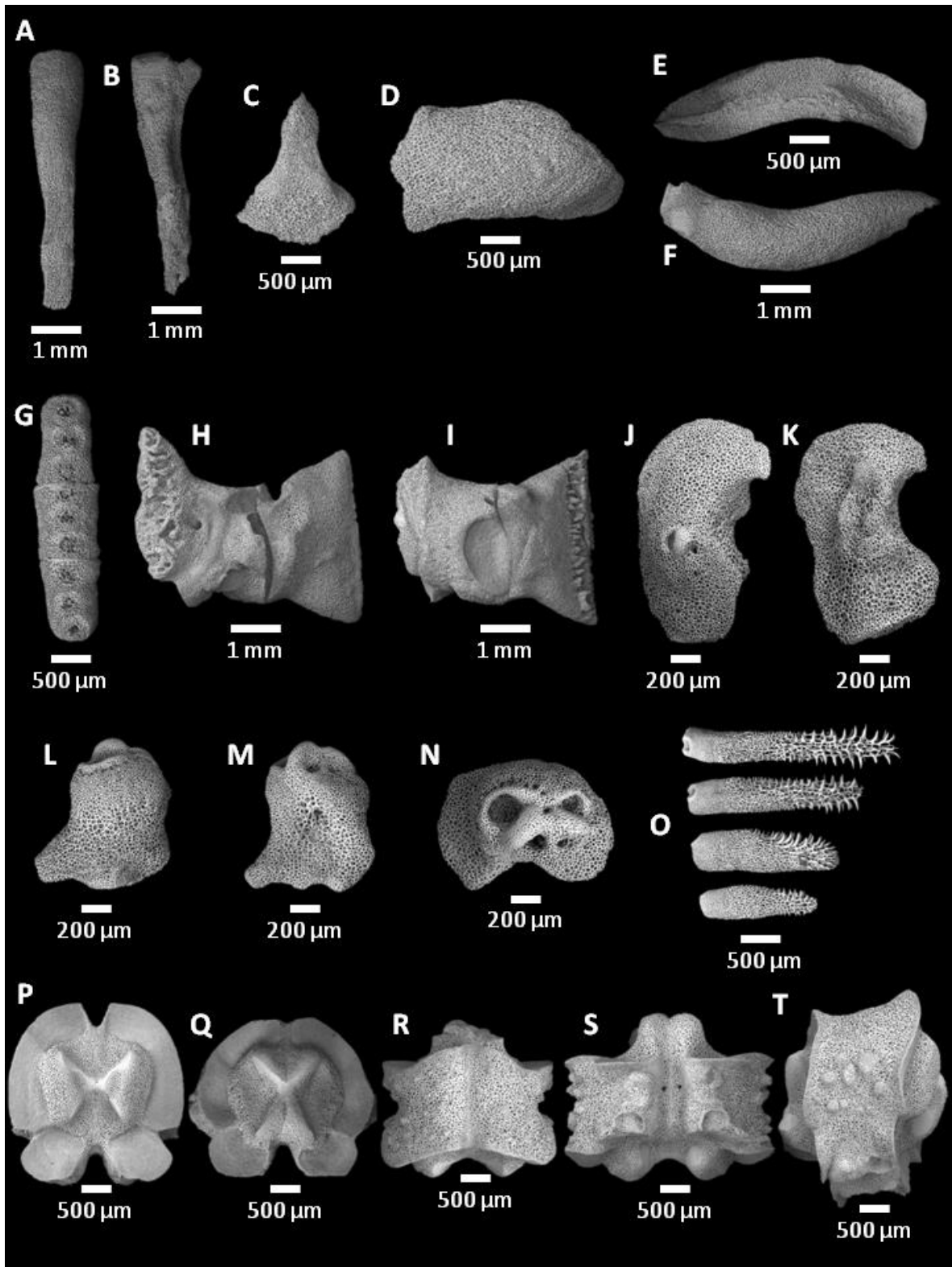
**Localidad de recolecta:** Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ).

**Profundidad:** 1204 m.

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 13. *Astroschema inornatum* Koehler, 1906.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos de gránulos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dentales; (F) Escudos oral y adoral; (G) Placas dorsales del brazo cubiertas de gránulos; (H) Placas ventrales del brazo y espinas cortas.



**Fig. 13.1. *Asteroschema inornatum*, Koehler, 1906. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral adradial; (I) Placa oral abradial; (J-N) Placas laterales del brazo; (O) Espinas; (P-T) Vértebras.

## Familia Ophiuridae

### *Ophiura* sp. A (Figura 14)

**Descripción:** Disco pentagonal cubierto por escamas hinchadas, se distingue la roseta central primaria rodeada por escamas hexagonales (Figura 14A). Los escudos radiales son lisos y ocupan un tercio del diámetro del disco, son más largos que anchos, la parte proximal es más delgada que la distal. Se encuentran separados en la parte proximal por una escama triangular (Figura 14D). El interrradio se encuentra cubierto por escamas. Las placas dorsales son casi dos veces más largas que anchas, el borde distal es redondeado y presenta una saliente al centro (Figura 14G). La parte ventral del disco se encuentra cubierta por escamas (Figura 14B). En la parte distal de la hendidura genital una hilera de papilas genitales rodea el brazo hasta la parte dorsal (Figura 14C). Las hendiduras genitales inician a la mitad de los escudos orales. La mandíbula tiene tres papilas cortas (que no se distinguen correctamente en toda la abertura oral, debido al tamaño del organismo), dos dientes puntiagudos (Figura 14E). El escudo oral es ovalado con la parte proximal ligeramente aguzada. Los escudos adorales son muy delgados, con forma de coma (,) (Figura 14F). Las primeras placas ventrales son cuadrangulares, hacia la parte distal del brazo adquieren una forma rectangular (Figura 14H); a cada lado de las placas ventrales se observa un orificio del poro tentacular y en la parte distal aparece una saliente redondeada (como en las placas dorsales). Cada placa lateral del brazo tiene tres espinas cortas y delgadas que terminan en punta (Figura 14G).

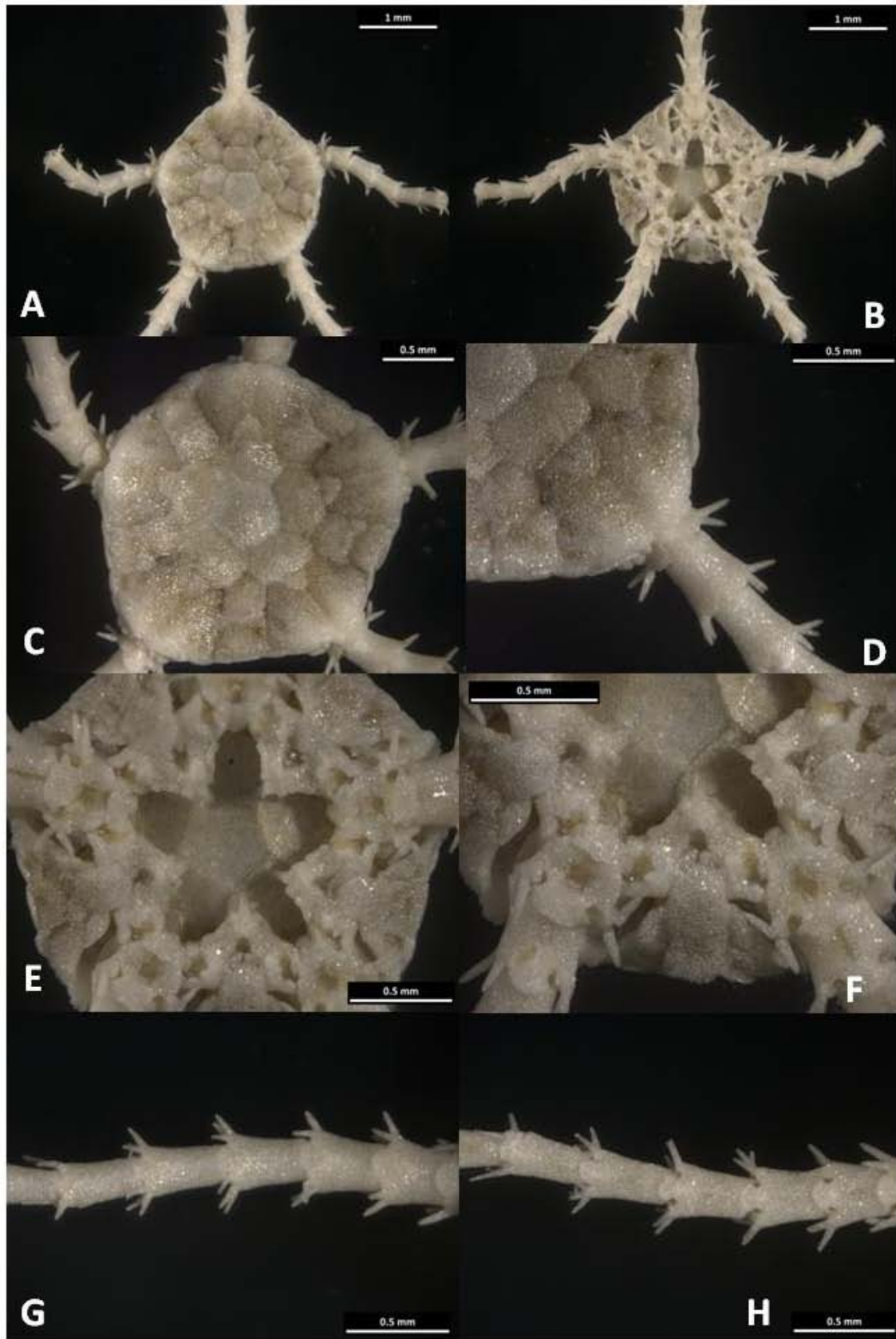
**Localidad de recolecta:** Isla Tortuga Este (27° 24.1105' N, 111° 52.3600' W).

**Profundidad:** 918 m.

**Material examinado:** Un organismo.

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**





**Fig. 14. *Ophiura* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas.

***Ophiura* sp. B**  
**(Figuras 15, 15.1)**

**Descripción:** Disco dorsal cubierto por escamas de diferentes tamaños (Figura 15A), las más pequeñas se encuentran en la parte central y las de mayor tamaño rodean a los escudos radiales (Figura 15C). Escudos radiales claramente definidos, son dos veces más largos que anchos, se encuentran parcialmente cubiertos por escamas proximales. Cada par de escudos está separado por una cuña, excepto en los extremos distales (Figura 15D). La primera placa dorsal es rudimentaria y es de menor tamaño que las siguientes, todas tienen un borde distal redondeado y los bordes laterales están curvados hacia el centro (Figura 15G). El brazo se inserta a través de una amplia incisión entre las placas radiales. El disco ventral está formado por escamas redondeadas y superpuestas (Figura 15B). Sobre la hendidura genital se observa una hilera de pequeñas y redondeadas papilas genitales (Figura 15E) que se continúan hacia el disco dorsal y rodean el brazo, articulándose con el escudo radial. Hay de tres a cinco papilas orales a cada lado de la mandíbula, ésta última tiene tres dientes (Figura 15E). El primer poro tentacular tiene seis escamas a cada lado, a partir de cuarto solo se observan dos escamas tentaculares. El escudo oral tiene forma de flecha, se encuentra constreñido en la parte central, los escudos adorales son estrechos y alargados (Figura 15F). Las placas ventrales son más largas que anchas y se encuentran separadas (Figura 15H), tienen un pico corto dentro y los bordes exteriores son rectangulares. Cada placa lateral del brazo tiene de cuatro a cinco espinas puntiagudas y cortas (Figura 15G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son tan largos como anchos, dorsalmente (Figura 15.1A) tiene espacios muy cerrados en el centro, en la parte ventral (Figura 15.1B) los espacios son más amplios y separados, y en la parte superior se observa el área de fijación muscular. El escudo oral (Figura 15.1C) tiene forma de flecha y está constreñido en la parte central, su base es ancha y el borde liso. El escudo adoral (Figura 15.1D) es muy parecido a los escudos radiales pero los espacios huecos son más pronunciados. La placa genital adradial (Figura 15.1E) tiene forma de media luna, sus bordes son delgados y tiene una cresta en la parte central que cubre toda la placa además de un cóndilo elevado. La placa dental (Figura 15.1F) es pequeña y ancha, de una sola pieza y tiene tres cuencas dentales de forma irregular que no perforan la placa. Las placas orales son dos veces más largas que anchas, la placa abradial (Figura 15.1G) tiene un surco central y alargado que corresponde con el área de fijación muscular, el borde proximal tiene una serie de hendiduras y el distal tiene una cresta



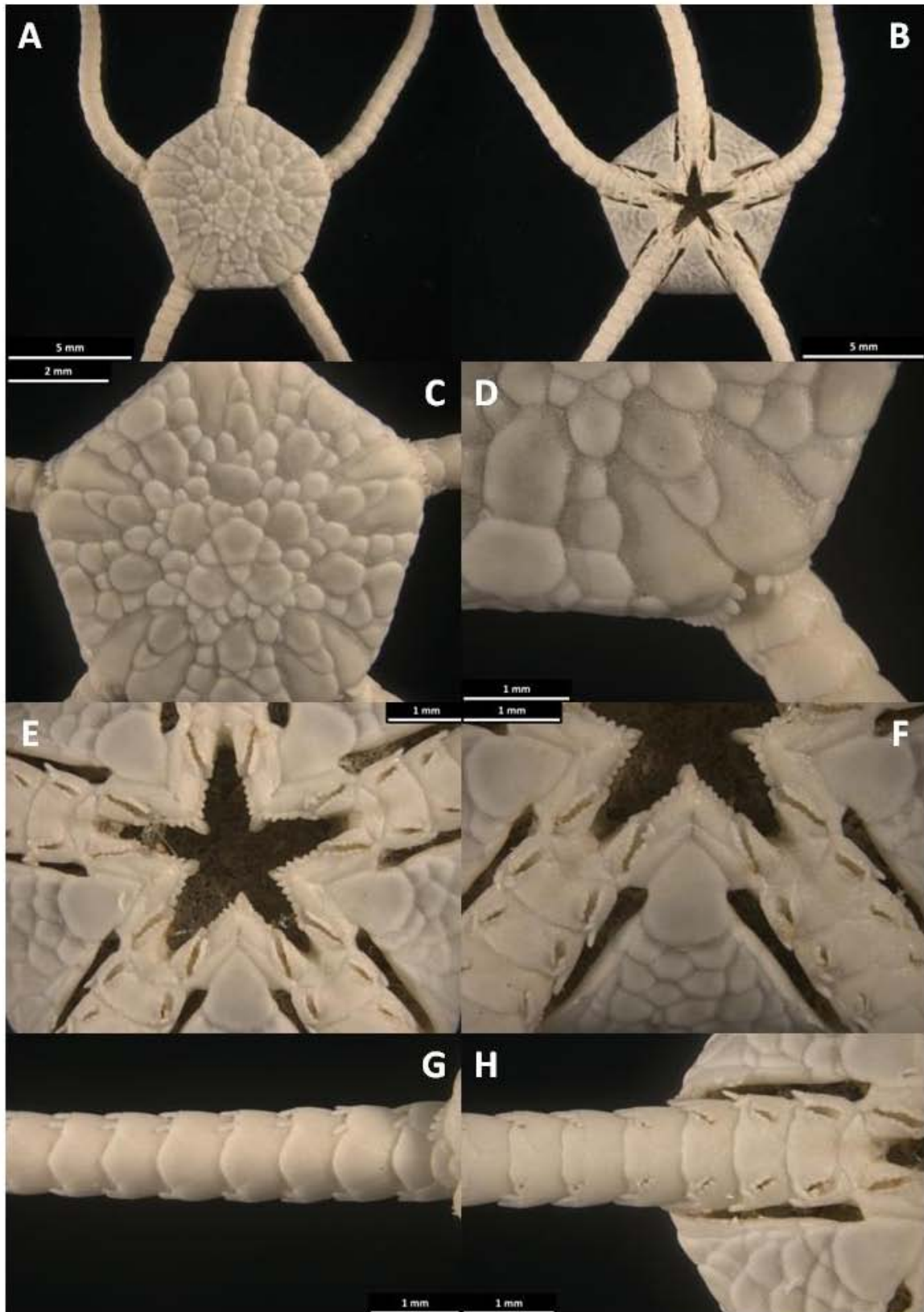
alargada. La placa adradial (Figura 15.1H) tiene el borde proximal liso y en la parte central se observa un surco profundo, el borde distal tiene una ramificación en cada extremo, la superior es más larga y la inferior forma un canal largo hacia el centro. Las placas dorsales son triangulares, la cara dorsal (Figura 15.1I) tiene espacios juntos con forma irregular y la cara ventral (Figura 15.1J) tiene una superficie lisa con espacios circulares y más separados. Las placas ventrales tienen forma pentagonal, la cara dorsal (Figura 15.1K) tiene espacios juntos con forma irregular; la cara ventral (Figura 15.1L) también tiene espacios con forma irregular y en el centro de la placa de forma un surco. Las placas laterales son más largas que anchas, la cara externa (Figura 15.1M) tiene bordes laterales ligeramente ondulados, la parte interna (Figura 15.1N) está hendida y tiene una cresta vertical continua con forma de media luna. Tienen entre cuatro y cinco perforaciones profundas (Figura 15.1O) donde se articulan las espinas. Las espinas (Figura 15.1P) son cortas con bordes redondeados, se observa un cóndilo elevado donde se articula con las placas laterales. La vértebra proximal (Figura 15.1Q) tiene bordes redondeados y un surco central que la divide. Dorsalmente (Figura 15.1R) tiene una hendidura central que recorre toda la vértebra y la divide, en el extremo proximal se forma una cresta vertical a cada lado, en el extremo distal las crestas son pequeñas y redondeadas y corresponden con el área de fijación muscular.

**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.7748' N$ ,  $111^{\circ} 52.4158' W$ ) y Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ).

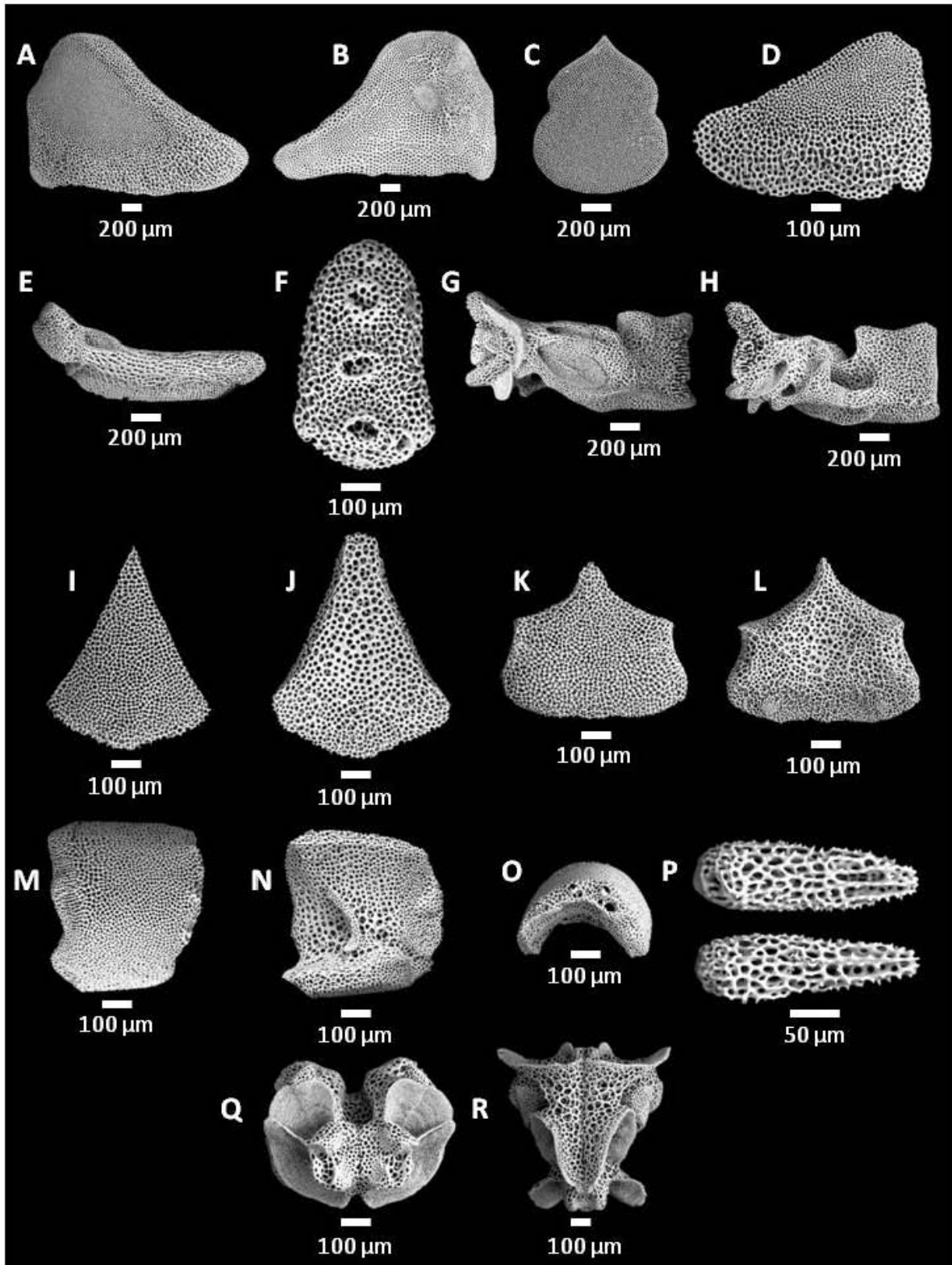
**Distribución batimétrica:** De los 442 a 1204 m.

**Distribución geográfica:** Desde Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.7748' N$ ,  $111^{\circ} 52.4158' W$ ) hasta Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ).

**Material examinado:** Cuatro organismos.



**Fig. 15. *Ophiura* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes. Hilera de papilas genitales sobre la hendidura genital y escamas tentaculares del primer poro; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas.



**Fig. 15.1. *Ophiura* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa dental; (G) Placa oral abradial; (H) Placa oral adradial; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras.

***Ophiosphalma jolliensis* McClendon, 1909**  
(Figura 16, 16.1)

**Descripción:** El disco está cubierto por escamas (Figura 16A), se distingue la roseta central y alrededor las placas radiales primarias, las escamas varían en tamaño y forma (Figura 16C). Los escudos orales son lanceolados, dos veces más largos que anchos y se encuentran separados por una fila de escamas cuadrangulares (Figura 16D). El espacio interr radial es delgado y está cubierto por escamas redondeadas. La primera placa dorsal es cuadrada o rectangular y aparece inmediatamente después de un pliegue alargado (rodeado de gránulos) que articula el disco con los brazos. Las siguientes placas son pequeñas con forma de rombo, están separadas por las placas laterales (Figura 16G). La parte ventral del disco está cubierta de escamas grandes y redondas (Figura 16B). Hay dos hendiduras genitales largas y muy estrechas en cada lado del espacio interr radial. A cada lado de la mandíbula hay cinco papilas cortas, pero anchas que forman una línea continua ya que se encuentran unidas, seguidas de una papila en el ápice. Hay tres dientes largos y afilados (Figura 16E). El escudo oral tiene forma de gota. Los escudos adorales tienen el borde proximal muy reducido y el distal es ancho (Figura 16F). Las placas ventrales de las primeras tres vértebras proximales son pentagonales, y cada una de ellas presenta un par de poros tentaculares que a su vez tienen una escama tentacular pequeña y delgada (Figura 16H). El resto de las placas son triangulares con el extremo lateral redondeado. Las placas laterales son grandes y se reúnen tanto en la parte dorsal como ventral, cada una tiene dos o tres espinas cortas y sin filo (Figura 16H).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son tan largos como anchos, dorsalmente (Figura 16.1A) tienen un borde delgado con espacios muy juntos entre sí, los espacios centrales son más grandes y tienen un arreglo simétrico en forma de red. La cara ventral (Figura 16.1 B) es lisa con espacios circulares homogéneos entre sí, se observa un cóndilo elevado en el extremo distal. El escudo oral (Figura 16.1C) es ancho con forma de cúpula, los espacios de la superficie tienen un arreglo simétrico en forma de red. El escudo adoral (Figura 16.1D) es dos veces más largo que ancho, el borde distal es romo y el proximal tiene forma de “L”. Las placas genitales son largas y delgadas con un ligero ángulo curvo, la placa adradial (Figura 16.1E) tiene un borde proximal delgado, el extremo distal tiene una cresta en el centro y dos cóndilos definidos. La placa abradial (Figura 16.1F) tiene un borde proximal redondeado y el proximal con borde

romo. La placa dental (Figura 16.1G) está formada por una sola pieza, no hay cuencas dentales, sólo una cresta vertical continua en el centro de la placa. Las placas orales son dos veces más largas que anchas, la placa adradial (Figura 16.1H) tiene un borde proximal liso y en la parte central se forma una pequeña cresta, hacia el extremo distal se constriñe un poco y después vuelve a ampliarse. En el extremo proximal de la placa abradial (Figura 16.1I) hay algunas hendiduras y en el centro se observa un surco grande que corresponde con el área de fijación muscular; hay una cresta cerca del extremo distal que está seguida de un surco profundo. Las placas dorsales son pequeñas y tienen forma de rombo, tanto la cara dorsal (Figura 16.1J) como ventral (Figura 16.1K) tienen espacios superficiales amplios. Las placas ventrales tienen forma pentagonal y están constreñidas en el centro, la parte dorsal (Figura 16.1L) tiene espacios superficiales amplios con forma de red. En la parte ventral (Figura 16.1M) hay cuatro crestas que forman una “X” y una hendidura en el centro. Las placas laterales son casi tan anchas como largas con un borde curvo en el extremo proximal; externamente (Figura 16.1N) tienen espacios muy juntos y pequeños, que se vuelven más grandes y separados hacia el extremo distal, no se observan las aberturas de articulación de las espinas. En la parte interna (Figura 16.1O) hay una cresta vertical continua en el centro de la placa. Las espinas (Figura 16.1P) son cortas y anchas con forma rectangular y bordes romos. Las vértebras son más anchas que largas con bordes redondeados. La vértebra proximal (Figura 16.1Q) tiene amplias áreas de fijación muscular, en la vértebra distal (Figura 16.1R) hay una serie de dobleces en el extremo distal.

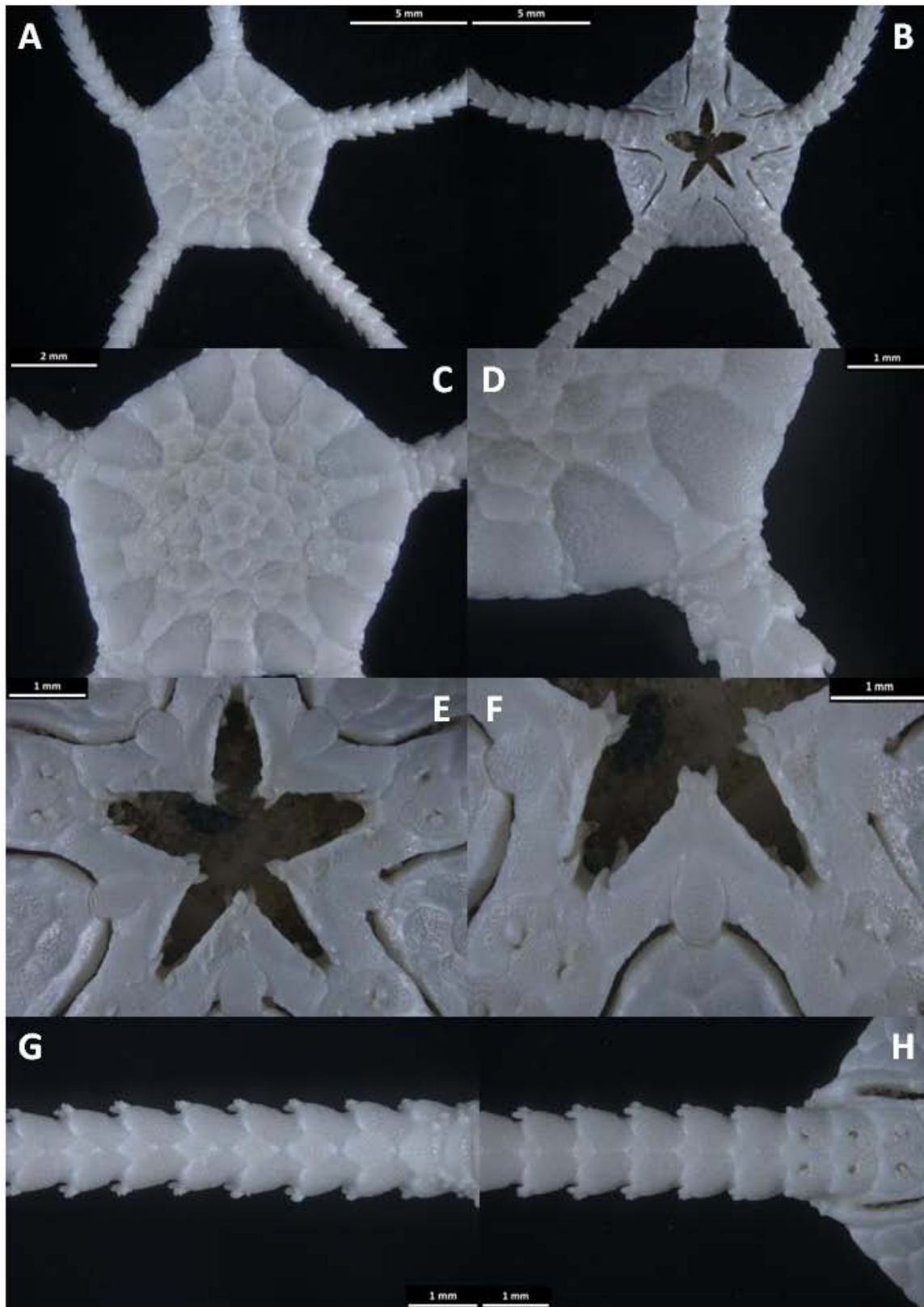
**Localidades de recolecta:** Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ;  $23^{\circ} 25.2029' N$ ,  $109^{\circ} 21.4600' W$  y  $23^{\circ} 25.2099' N$ ,  $109^{\circ} 22.5824' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 17 a los 1,230 m [Maluf, 1988].

**Distribución geográfica:** Desde San Pedro, California, E.U.A. ( $33^{\circ} 44' N$ ,  $118^{\circ} 17' W$ ) hasta las Islas Galápagos ( $0^{\circ} S$ ,  $84^{\circ} W$ ) [Maluf, 1988].

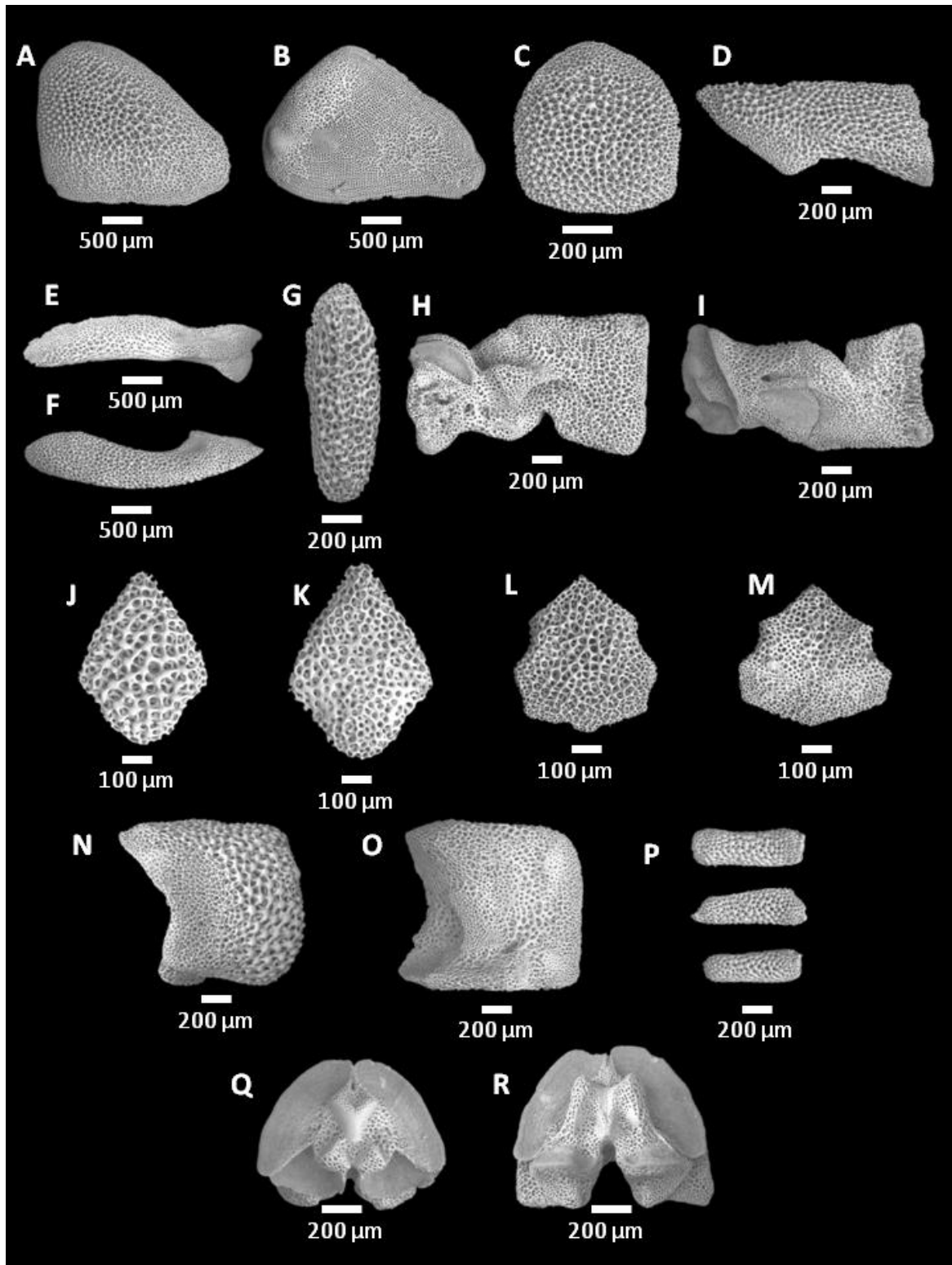
**Material examinado:** Cinco organismos.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA



**Fig. 16.** *Ophiosphalma jolliensis* McClendon, 1909. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa la disposición de las escamas; (D) Escudos radiales separados por una línea de escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y poros tentaculares.





**Fig. 16.1.** *Ophiophalma jolliensis* McClendon, 1909. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral adradial; (I) Placa oral abradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras.

***Ophiocten* sp.**  
**(Figura 17)**

**Descripción:** Disco cubierto por escamas (Figura 17A), se distingue claramente la roseta central y cinco placas radiales secundarias alrededor (Figura 17C). El resto de las escamas se encuentran imbricadas. Los escudos radiales son dos veces más largos que anchos y ocupan una tercera parte del disco, están separados por una fila de escamas grandes y alargadas (Figura 17D). El espacio interr radial es muy delgado, sólo tiene algunas escamas. Las placas dorsales son más largas que anchas, los bordes proximal y distal redondeados, éste último es más ancho. Están en contacto unas con otras (Figura 17G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas superpuestas claramente definidas (Figura 17B). Las hendiduras genitales son largas y llegan hasta el extremo lateral del escudo oral. La mandíbula tiene de seis a ocho papilas orales cortas y delgadas, seguidas de otras dos largas y afiladas en el ápice (Figura 17E). Tiene tres dientes delgados y afilados. El escudo oral es ancho con forma de flecha. Los escudos adorales son largos y delgados, se reúnen en el borde proximal (Figura 17F). Las placas ventrales son cuadrangulares, algunas tienen forma de corazón y están separadas por las placas laterales (Figura 17H). El primer poro tentacular tiene tres o cuatro escamas tentaculares, el segundo dos escamas y a partir del tercero solamente una (Figura 17F). Las placas laterales del brazo se unen en la parte ventral y presentan cuatro espinas largas, delgadas y afiladas (Figura 17G).

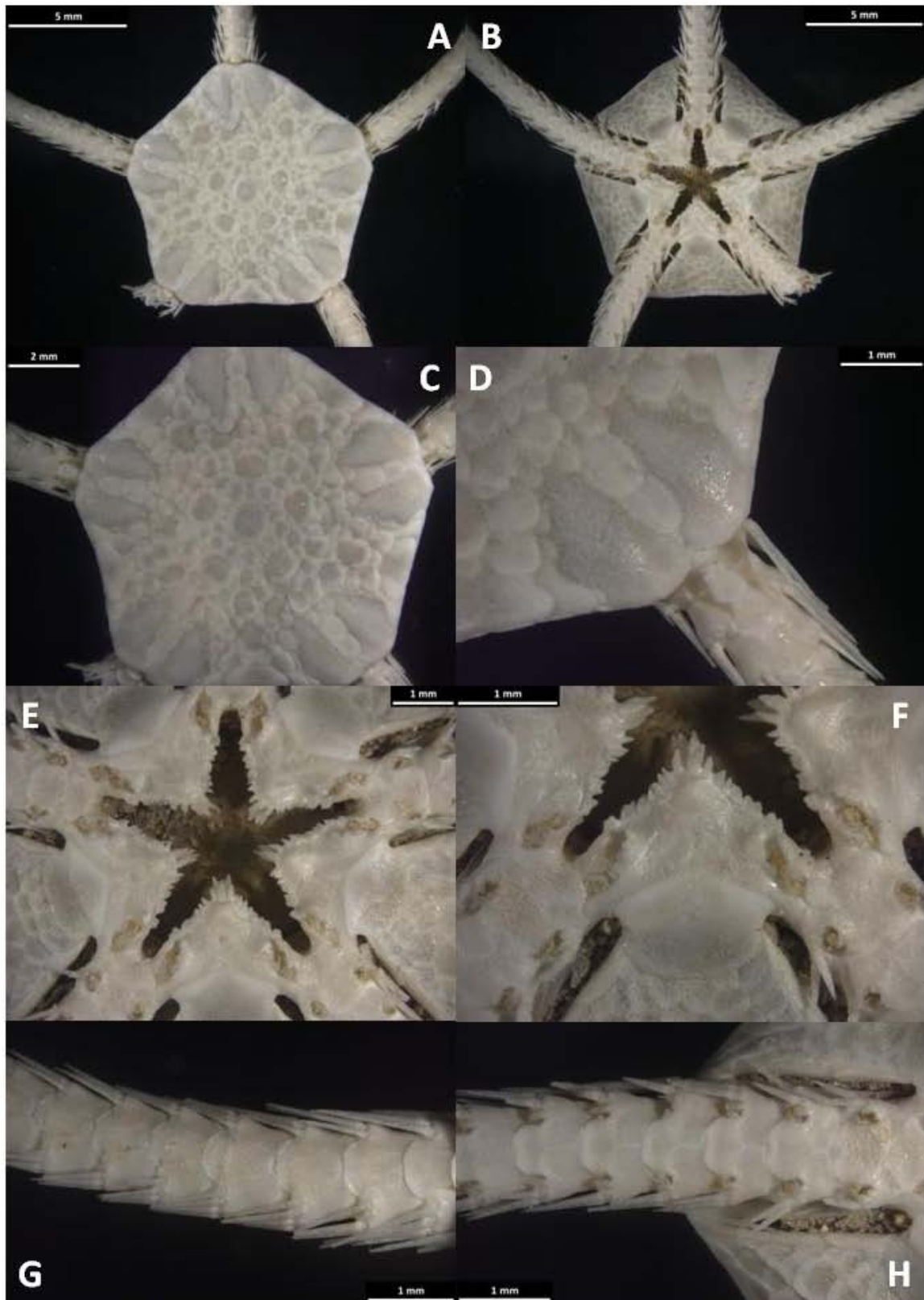
**Localidad de recolecta:** Cabo Pulmo (23° 25.1957'N, 109° 21.3404' W).

**Profundidad:** 1204 m.

**Material examinado:** Un organismo.



OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA



**Fig. 17. *Ophiocten* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas lisas.

## Familia Ophioleucidae

### *Ophiernus polyporum* Lütken & Mortensen, 1899

(Figura 18, 18.1)

**Descripción:** El disco (Figura 18A) se encuentra cubierto aproximadamente hasta la mitad por los escudos radiales desnudos e hinchados (Figura 18D), el espacio central está cubierto por gránulos muy finos que rodean y separan en la parte proximal a los escudos radiales y continúan hasta los espacios interradales (Figura 18C). La zona ventral del disco está cubierta únicamente por gránulos, no presenta escamas (Figura 18B). Los brazos son anchos y alargados, muestran una depresión a cada lado de la parte central ventral, que continúa a lo largo de todo el brazo (Figura 18H). Las placas dorsales son más largas que anchas con los bordes ligeramente curvos (Figura 18G). El escudo oral es tan largo como ancho y tiene forma de flecha; los escudos adorales son anchos con forma de coma (,) y cubren prácticamente a todo el escudo oral (Figura 18F). Hay de seis a nueve papilas orales a cada lado de la abertura oral, una se encuentra en el ápice de la mandíbula. Tiene cuatro dientes (Figura 18E). La primera placa ventral es distinta a las demás debido a la presencia de los poros tentaculares. Las placas laterales no entran en contacto en la parte ventral, ni dorsal. Cada placa lateral del brazo tiene dos espinas cortas y delgadas. Cada poro tentacular presenta dos escamas (Figura 18G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales tienen forma triangular (Figura 18.1A), en la cara dorsal (Figura 18.1B) se observa en la parte superior el área de fijación muscular. El escudo oral (Figura 18.1C) tiene forma de abanico y los espacios de la superficie forman una red homogénea. El escudo adoral (Figura 18.1D) es ancho con el borde proximal curvado. La placa genital adradial (Figura 18.1E) es larga y delgada, el extremo distal es más ancho y tiene un cóndilo elevado, la placa abradial (Figura 18.1F) es ancha con forma de media luna, los extremos proximal y distal tienen bordes romos. La placa dental (Figura 18.1G) es alargada formada por una pieza, tiene cuatro cuencas dentales de forma circular con borde liso bien definidas que no perforan la placa y otras dos que son más pequeñas y poco definidas que se ubican en el extremo superior e inferior. Las placas orales son más largas que anchas, la placa abradial (Figura 18.1H) tiene pequeñas hendiduras en el borde proximal, en el centro hay un surco que cubre una tercera parte de la placa y corresponde con el área de fijación muscular, y en el extremo distal hay

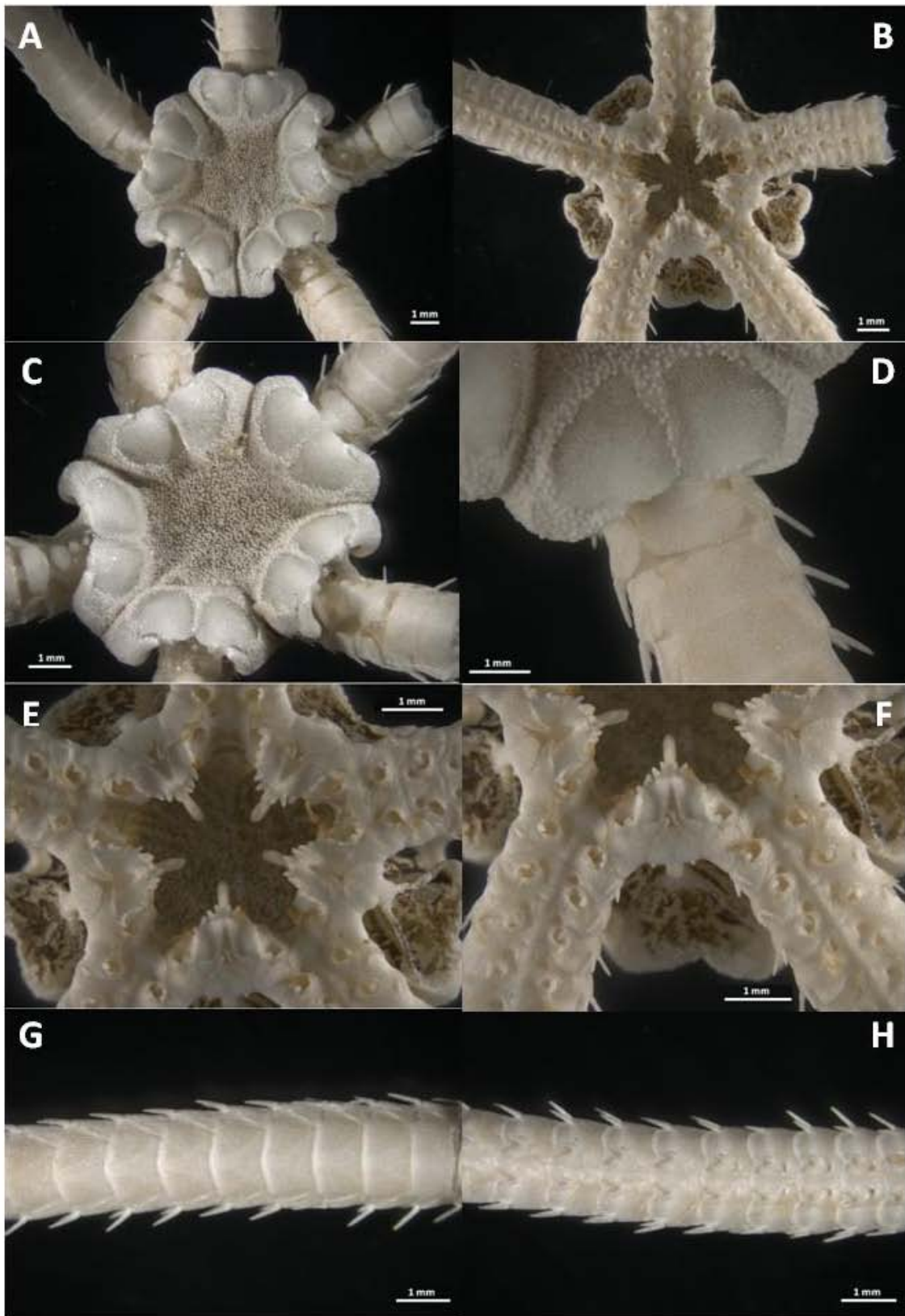
una cresta vertical continua que forma un surco profundo. La placa adradial (Figura 18.1I) tiene el extremo proximal liso, en la parte central se forma una cresta y en el extremo distal se extiende una ramificación alargada con una serie de pequeñas hendiduras. Las placas dorsales son más anchas que largas con forma de escudo, la parte dorsal (Figura 18.1J) está cubierta por pequeñas espinas orientadas hacia arriba. La vista ventral (Figura 18.1K) tiene espacios circulares pequeños y muy juntos entre sí. Las placas ventrales son largas y están centralmente constreñidas, la cara dorsal (Figura 18.1L) tiene una cresta en el centro de la placa y en la cara ventral (Figura 18.1M) se observa una hendidura ancha que le da profundidad a la placa. Las placas laterales son anchas y están curvadas, la vista externa (Figura 18.1N) tiene un borde en forma de gancho y una cresta en la parte central. En la vista interna (Figura 18.1O) se observan los sitios de articulación de las espinas y el borde en forma de gancho. Cada placa tiene cinco o seis perforaciones de articulación para las espinas (Figura 18.1P). Las espinas son cortas y anchas (Figura 18.1Q), en el borde proximal tienen uno o dos cóndilos elevados y el extremo distal termina en punta. La vértebra proximal (Figura 18.1R) tiene bordes redondeados y un amplia área de fijación muscular. La vértebra dorsal (Figura 18.1S) es dos veces más ancha que larga y tiene un surco central y profundo que la divide, en el extremo proximal se encuentra el área de fijación muscular y en el distal hay dos perforaciones profundas de forma circular.

**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Sur (27° 23.4038' N, 111° 52.3974' W); Cabo Pulmo (23° 25.2065' N, 109° 21.7405' W y 23° 25.2597' N, 109° 22.1965' W).

**Distribución batimétrica:** De los 931 [este trabajo] a los 1287 m [este trabajo].

**Distribución geográfica:** Desde Isla Tortuga Sur (27° 23.4038' N, 111° 52.3974' W) [este trabajo] hasta el sur de las Islas Galápagos (0° S, 84° W) [Maluf, 1988].

**Material examinado:** Siete organismos.



**Fig. 18.** *Ophiernus polyporum* Lütken & Mortensen, 1899. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos en el centro; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo y espinas.

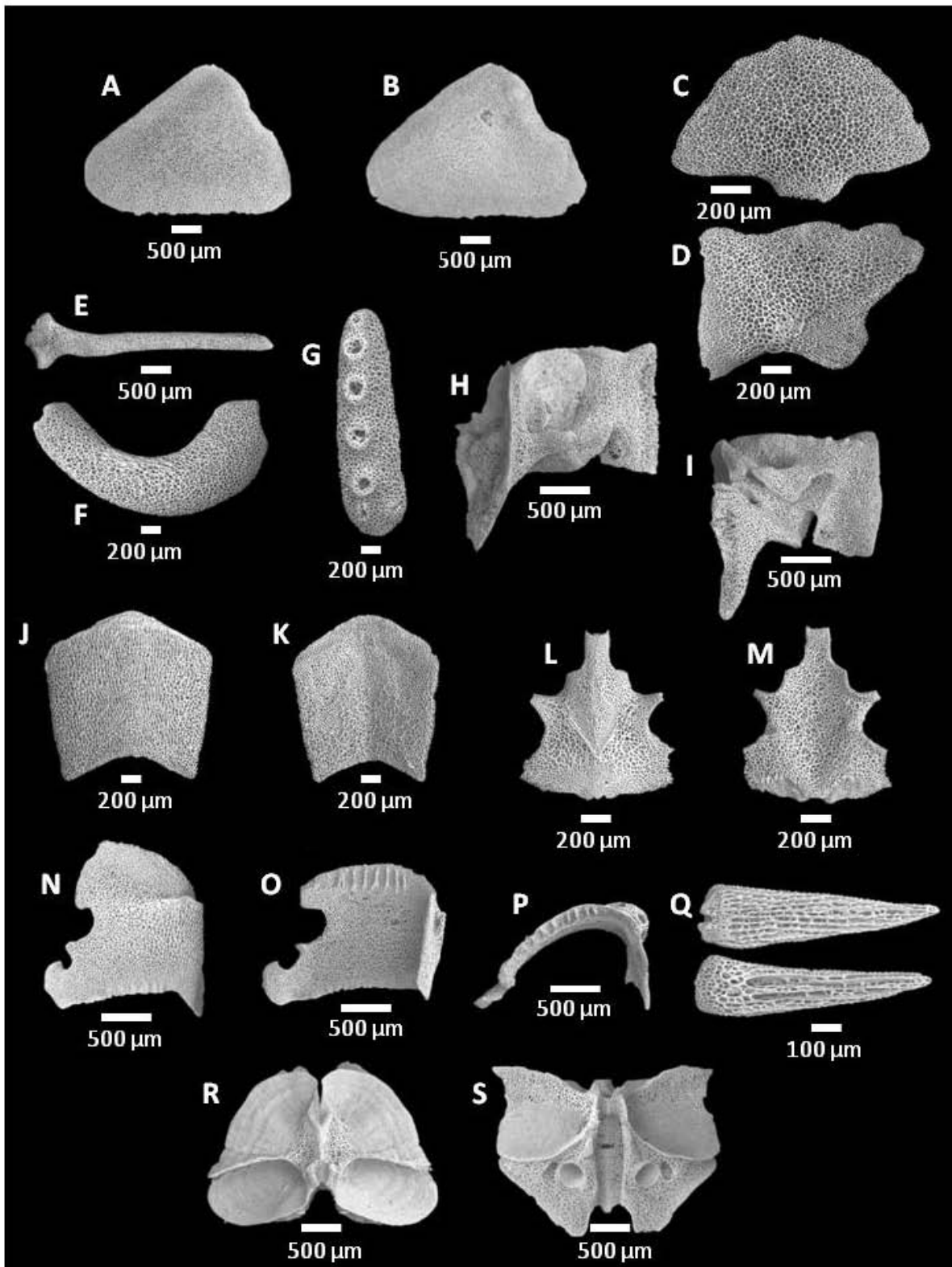


Fig. 18.1. *Ophiernus polyporum* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).

(A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

## Familia Ophiocomidae

### *Ophiomastix* sp. A

(Figuras 19, 19.1)

**Descripción:** Disco completamente cubierto por gránulos, también presenta espinas cortas, delgadas y redondeadas que son más abundantes en el centro del disco (Figura 19A). Los escudos radiales se encuentran cubiertos en su totalidad por gránulos (Figura 19D). El interrradio está revestido por gránulos finos y espinas más cortas que las de la parte dorsal del disco (Figura 19C), la granulación se presenta hasta la parte ventral, cerca de las hendiduras genitales (Figura 19B). La primera placa dorsal es rudimentaria y rectangular, el resto tiene forma hexagonal; la segunda y tercera son más anchas que largas con el borde distal recto, a partir de la cuarta placa dorsal éstas son más largas que anchas y presentan el borde distal redondeado (Figura 19G). Las hendiduras genitales llegan hasta fuera de los escudos orales (Figura 19F). Hay cinco papilas orales anchas y redondeadas a cada lado de la mandíbula, seguidas por dos o tres líneas de papilas dentales. Presenta cuatro dientes de forma aplanada y contornos redondeados (Figura 19E). El escudo oral tiene forma de campana con el contorno proximal pequeño y el distal muy alargado, éste último presenta una fila de pequeñas papilas cortas. Los escudos adorales son delgados y alargados y se reúnen en el extremo proximal (Figura 19F). La primera placa ventral es pequeña con el borde distal redondeado, el resto tiene forma de abanico con el extremo proximal puntiagudo y el distal curvo, se encuentran separadas por las placas laterales (Figura 19H). Presenta dos escamas tentaculares casi ovals. Las placas laterales tienen de cuatro a cinco espinas largas y redondeadas (Figura 19H).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales tienen forma de campana, dorsalmente (Figura 19.1A) es liso con pequeños espacios circulares separados entre sí. En la vista ventral (Figura 19.1B) se observan dos cóndilos pequeños unidos a una cresta horizontal, sobre cada cresta hay dos aberturas ovaladas que no perforan el escudo. El escudo oral es rectangular con los extremos proximal y distal afilados, la cara dorsal (Figura 19.1C) está centralmente deprimida y en la ventral (Figura 19.1D) hay una cresta vertical continua. Las placas genitales son delgadas con forma de media luna, la placa adradial (Figura 19.1E) forma una cresta en el extremo distal que es paralela a un cóndilo elevado. El borde proximal de la placa abradial (Figura 19.1F) es delgado y termina en punta, el extremo distal tiene borde romo y hay un pequeño cóndilo. La



placa dental (Figura 19.1G) está formada por tres piezas, hay tres cuencas dentales grandes y ovaladas y una cuarta circular más pequeña, debajo de ésta se forman tres cuencas más, pequeñas y de forma irregular, ninguna perfora la placa dental. Las placas orales son casi dos veces más largas que anchas, el borde proximal de la placa abradial (Figura 19.1H) tiene una serie de hendiduras, en la parte central hay un surco que corresponde al área de fijación muscular y el extremo distal tiene una cresta vertical continua que da origen a un surco. La placa adradial (Figura 19.1I) tiene un borde proximal liso, en el centro se forma una cresta seguida de un surco y en el extremo distal se observa una cresta con una serie de hendiduras. Las placas dorsales tienen forma de flecha, en la cara dorsal (Figura 19.1J) hay pequeñas espinas orientadas hacia abajo en el centro y en la parte ventral (Figura 19.1K) hay una hendidura que le da profundidad a la placa. Las placas dorsales son pentagonales y están constreñidas en el centro, dorsalmente (Figura 19.1L) tiene pequeñas espinas que cubren toda la placa y están orientadas hacia abajo. En la cara ventral (Figura 19.1M) hay un surco central y dos crestas en la base y dos cóndilos de articulación. Las placas laterales son anchas y tienen una serie de pliegues lisos cerca del extremo distal (Figura 19.1N), internamente (Figura 19.1O) tiene dos crestas internas. Cada placa tiene entre cuatro y cinco perforaciones (Figura 19.1p) profundas con bordes elevados donde se articulan las espinas. Las espinas (Figura 19.1Q) son largas y delgadas y tienen dos cóndilos de articulación a la placa lateral. Las vértebras tienen bordes redondeados, la proximal (Figura 19.1R) tiene forma de "X" en la parte central y la vértebra distal (Figura 19.1S) forma dos crestas en el extremo distal.

**Localidad de recolecta:** Isla Tortuga Este (27° 24.9045 N, 111° 52.4608 W).

**Profundidad:** 331 m.

**Material examinado:** Un organismo.

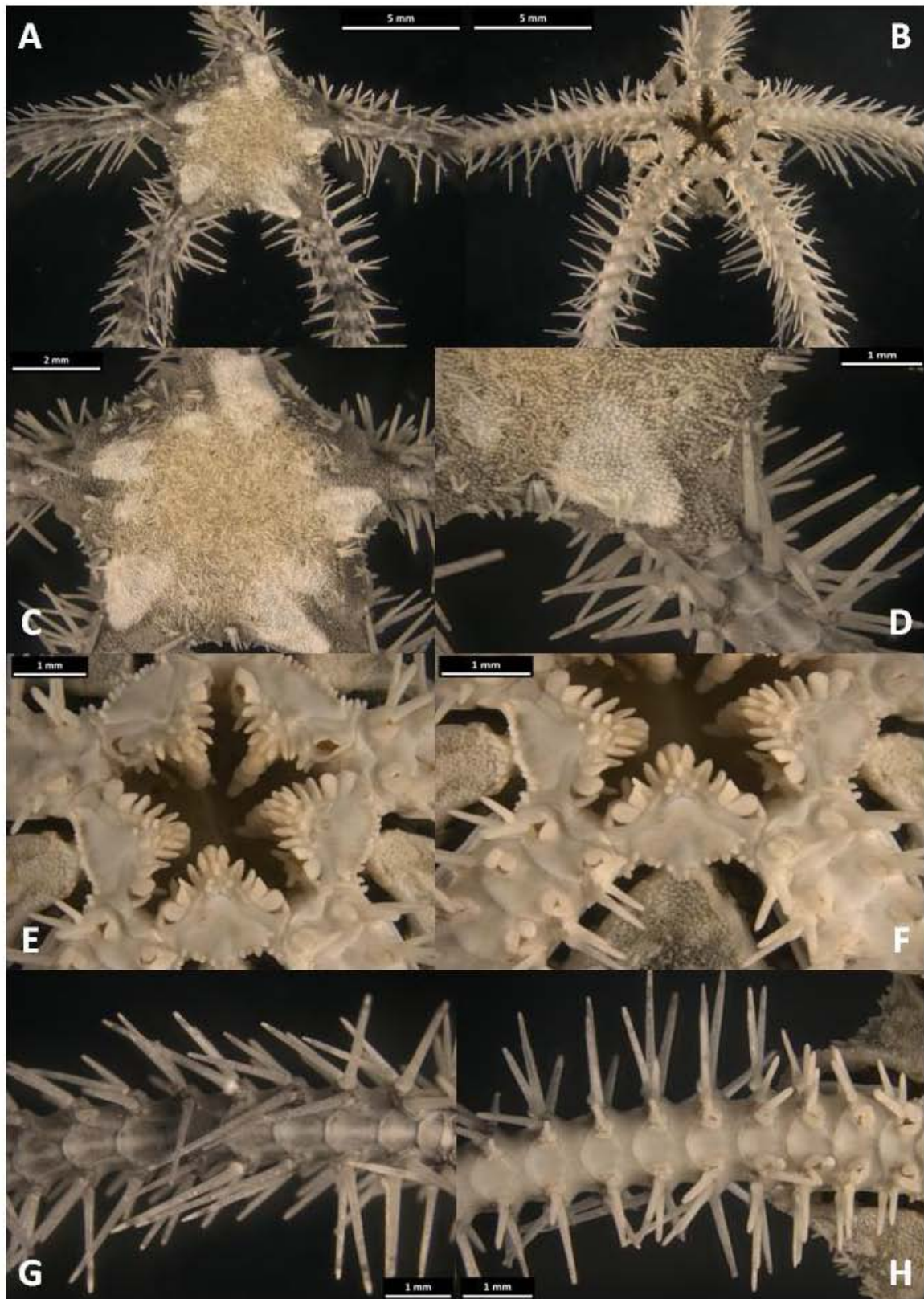
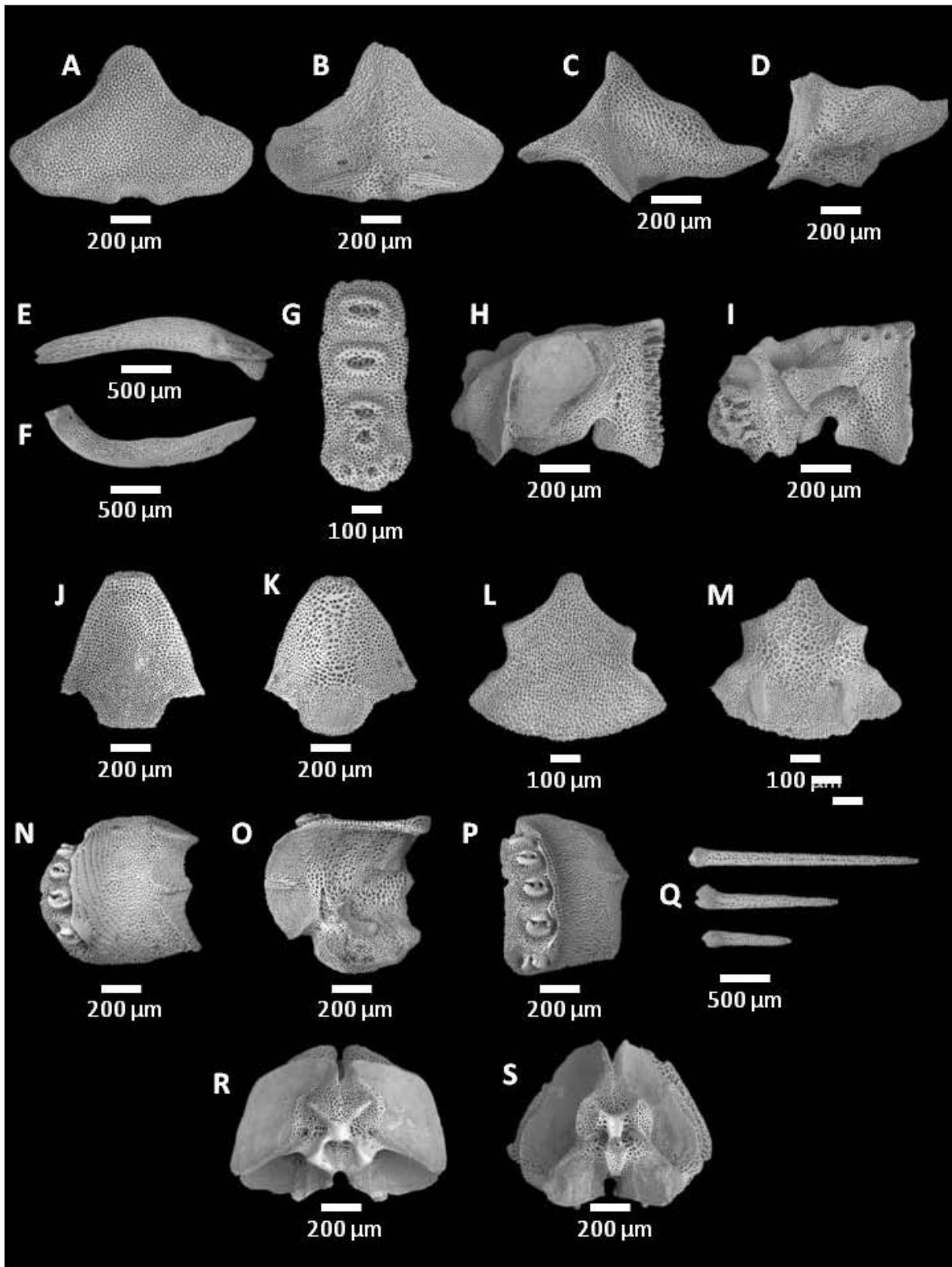


Fig. 19. *Ophiomastix* sp. A. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos y espinas; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas.





**Fig. 19.1. *Ophiomastix* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo oral, vista dorsal; (B) Escudo oral, vista ventral; (C) Escudo adoral, vista dorsal; (D) Escudo adoral, vista ventral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa Yossellin del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

***Ophiomastix* sp. B**  
**(Figuras 20, 20.1)**

**Descripción:** Disco pentagonal dorsalmente deprimido en el centro (Figura 20A), cubierto por gránulos pequeños y esféricos (Figura 20C). Los escudos radiales están desnudos y son un poco más largos que anchos, se encuentran completamente separados por gránulos agrupados en menor densidad que los que se encuentran en el centro del disco (Figura 20D). El espacio interr radial posee gránulos igual que el disco. La primera placa dorsal es pequeña y se encuentra casi cubierta por el disco, las demás tienen forma de rombo y están en contacto unas con otras (Figura 20G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas imbricadas (Figura 20B), en el borde de cada hendidura genital hay una fila de escamas cuadrangulares. Las hendiduras genitales llegan hasta fuera de los escudos orales. La mandíbula presenta de seis a nueve papilas a cada lado, seguida de una fila de papilas dentales y cuatro dientes cuadrangulares y aplanados (Figura 20E). El escudo oral tiene forma casi elíptica, excepto en el extremo distal donde se encuentra constreñido y tiene forma de gota. Los escudos adorales son alargados con forma de coma (,) y no tienen contacto entre sí (Figura 20F). Las placas ventrales tienen forma heptagonal, el borde proximal termina en punta, mientras que el distal es recto y están en contacto entre ellas (Figura 20H). Las placas laterales tienen cuatro espinas largas, aplanadas y sin filo (Figura 20G).

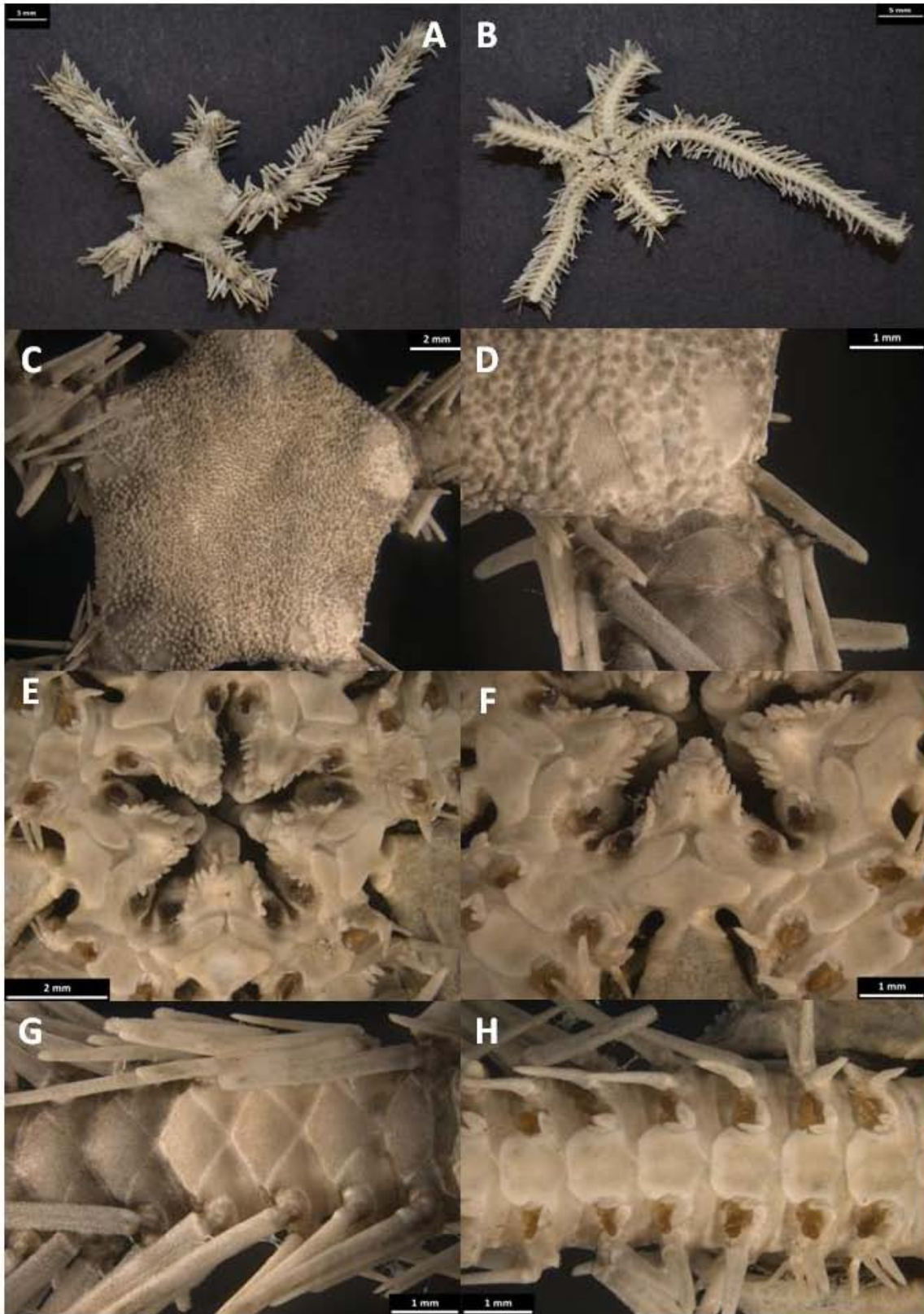
**Estructuras internas:** Los escudos radiales son más largos que anchos, dorsalmente (Figura 20.1A) tiene un borde delgado con un patrón de líneas de círculos pequeños, la cara ventral (Figura 20.1B) es lisa y tiene un patrón de líneas continuas. El escudo oral (Figura 20.1C) tiene forma casi elíptica, excepto en el extremo distal donde está constreñido y tiene forma de gota. El escudo adoral (Figura 20.1D) es ancho y en el extremo distal tiene dos ramificaciones hacia lados opuestos, el extremo proximal es redondeado. La placa genital adradial (Figura 20.1E) es delgada con forma de media luna, tiene dos cóndilos en el extremo distal. La placa dental (Figura 20.1F) está formada por dos piezas, tiene cuatro cuencas dentales alargadas y dos pequeñas de forma circular en la base, ninguna perfora la placa. Las placas orales son más largas que anchas, la placa adradial (Figura 20.1G) tiene el borde proximal liso, en el centro hay una cresta continua y en el borde distal una cresta dirigida hacia arriba con una serie de hendiduras. En el borde proximal de la placa abradial (Figura 20.1H) hay una serie de

hendiduras, la parte central tiene un surco que corresponde al área de fijación muscular y el extremo distal tiene una cresta vertical continua que da origen a un surco. Las placas dorsales tienen forma de rombo y son más largas que anchas, la parte dorsal (Figura 20.1I) tiene una ligera elevación en el centro de la placa. En la zona ventral (Figura 20.1J) hay un surco central que le da profundidad a la placa. Las placas ventrales son anchas y están constreñidas en el centro, la parte dorsal es lisa (Figura 20.1K), en la cara ventral (Figura 20.1L) se observa un pequeño surco en el centro y dos crestas en la base. Las placas laterales son dos veces más largas que anchas, tienen una cresta vertical continua (Figura 20.1M), en la parte interna (Figura 20.1N) hay una cresta interna que extiende a lo largo de toda la placa. Cada placa tiene cuatro perforaciones (Figura 20.1O) con bordes elevados donde se articulan las espinas. Las espinas (Figura 20.1P) son largas y aplanadas, con pequeñas espinas en el borde y un cóndilo elevado en el extremo proximal. Las vértebras son anchas, la proximal (Figura 20.1Q) tiene dos crestas en el extremo proximal y dos en el distal, con amplias áreas de fijación muscular. El borde proximal de la vértebra distal (Figura 20.1R) es afilado y en el centro hay una cresta que la divide.

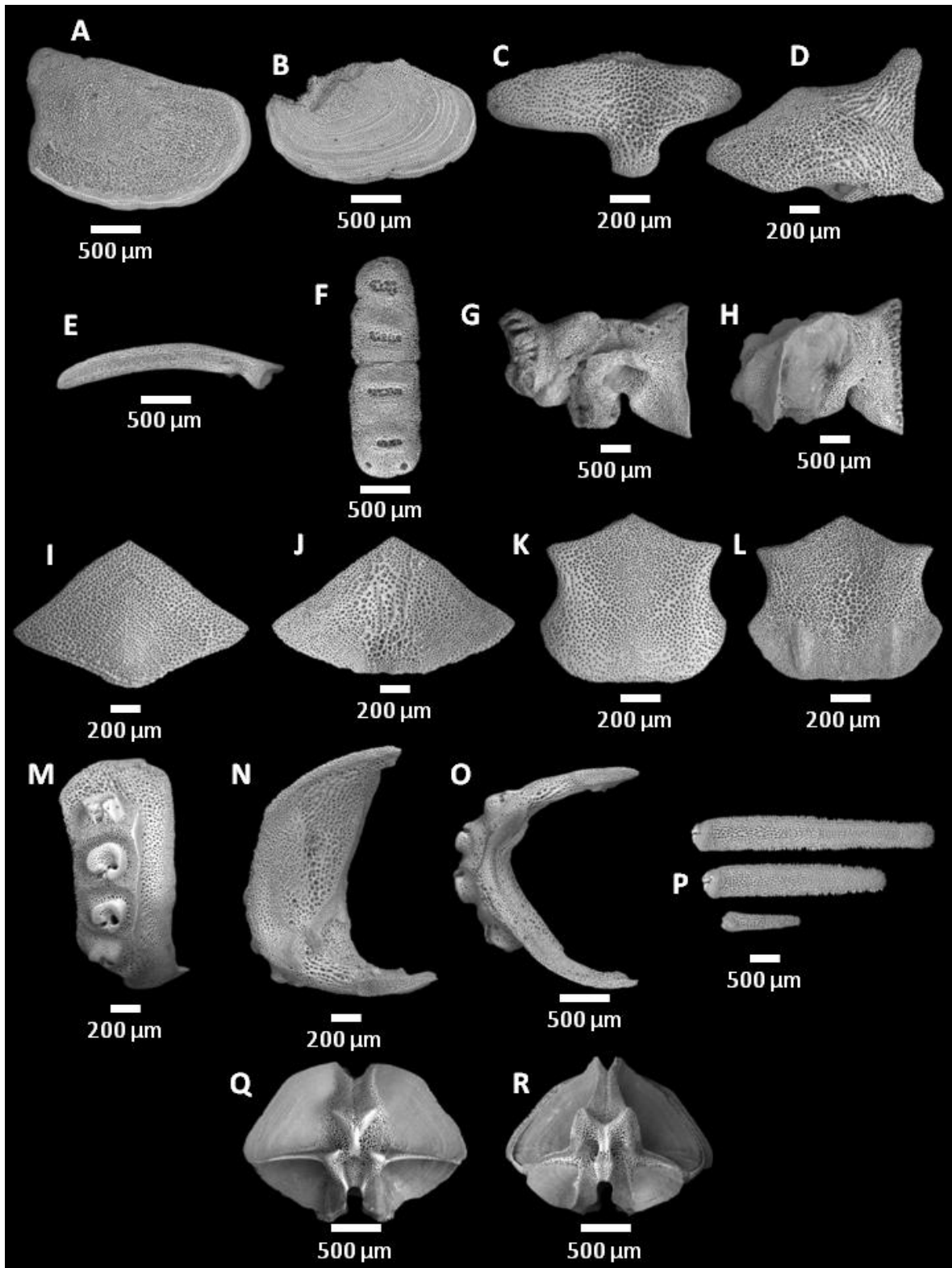
**Localidad de recolecta:** Cuenca Sal Sipuedes (29° 3.4690 N, 113° 15.5529 W).

**Profundidad:** 792 m.

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 20.** *Ophiomastix* sp. B. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas.



**Fig. 20.1. *Ophiomastix* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa dental; (G) Placa oral adradial; (H) Placa oral abradial; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo: (P) Espinas: (O-R) Vértebras.

## Familia Ophiacanthidae

### Ophiacanthidae sp. A

(Figuras 21, 21.1)

**Descripción:** El disco se encuentra cubierto por finos gránulos (Figura 21A), los espacios interradales se encuentran profundamente surcados (Figura 21C). Los escudos radiales son largos y delgados (dan la apariencia de una costilla), ocupan la mitad del disco y únicamente se unen en el borde distal, donde forman una protuberancia en el disco (Figura 21D). El espacio interradales está cubierto por gránulos que continúan hasta la parte ventral del disco. Las placas dorsales son pequeñas y tienen forma triangular con los bordes redondeados, se encuentran completamente separadas por las placas laterales (Figura 21G). Las hendiduras genitales son cortas y llegan hasta el extremo distal del escudo oral (Figura 21E). A cada lado de la abertura oral hay tres papilas orales largas y redondeadas, seguidas de una papila dental larga y gruesa, con la punta afilada. Hay cinco dientes anchos y con ángulo romo (Figura 21E). El escudo oral es más largo que ancho y tiene forma de rombo. Los escudos adorales son largos y se encuentran ligeramente constreñidos en el centro, donde tocan con un extremo del escudo oral (Figura 21F). La primera placa ventral es pequeña con el borde proximal cóncavo. Las demás son dos veces más largas que anchas con forma rectangular, tienen una escama tentacular corta y puntiaguda a cada lado. No están en contacto unas con otras (Figura 21H). Las placas laterales están muy desarrolladas, son anchas y se unen tanto en la parte dorsal como ventral. Cada placa lateral tiene cinco o seis espinas muy largas y afiladas (Figura 21G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales pueden ser anchos (Figura 21.1A), delgados (Figura 21.1B), con ramificaciones (Figura 21.1C) o anchos en el extremo distal y delgados en el proximal (Figura 21.1D), todos tienen un cóndilo elevado en el extremo distal. El escudo oral (Figura 21.1E) es más largo que ancho con forma de rombo, tiene espacios superficiales amplios. El escudo adoral (Figura 21.1F) tiene forma de flecha, es liso y los espacios superficiales tienen un arreglo en forma de red. Las placas genitales son delgadas y tienen forma de media luna, la placa adradial (Figura 21.1G) tiene el borde proximal redondeado y en el distal hay un pequeño surco y un cóndilo. La placa abradial (Figura 21.1H) es un poco más ancha, tiene un cóndilo más pequeño y el borde proximal es redondeado. La placa dental (Figura 21.1I) está formada por una sola pieza, tiene cinco cuencas dentales alargadas que ocupan casi la mitad de la placa, algunas

perforan completamente la placa. La placa oral abradial (Figura 21.1J) es más larga que ancha, tiene un borde proximal con algunas hendiduras y un surco central amplio que corresponde con el área de fijación muscular (debajo de la cual hay una perforación profunda), en el extremo distal hay una cresta vertical continua que da origen a una hendidura dividida a la mitad por otra cresta. La placa adradial (Figura 21.1K) es tan larga como ancha con el borde proximal liso, cerca de éste hay dos aberturas con borde elevado y liso (parecidas a las perforaciones donde se articulan las espinas); en el centro hay una cresta que forma un surco a cada lado y en el extremo distal se forma otra cresta con una serie de hendiduras. Las placas dorsales tienen forma de domo, dorsalmente (Figura 21.1L) están ligeramente levantadas y algunos orificios perforan la placa. En la parte ventral (Figura 21.1M) se encuentra deprimida y también hay orificios que perforan la placa. Las placas ventrales son más largas que anchas con dos crestas en el extremo distal y dos en el proximal (Figura 21.1N), en la vista ventral (Figura 21.1O) se observa una ligera hendidura en el centro de la placa. Las placas laterales son largas y están constreñidas centralmente (Figura 21.1P), tienen una cresta interna en la parte central (Figura 21.1Q). Cada placa tiene seis perforaciones con bordes elevados (Figura 21.1R) donde se articulan las espinas. Las espinas (Figura 21.1 S) son largas y delgadas con el borde distal afilado y uno o dos cóndilos bien definidos y elevados en el extremo proximal. Las vértebras son tan largas como anchas, la distal (Figura 21.1T) tiene dos crestas en el centro y amplias áreas de fijación muscular. La vértebra proximal (Figura 21.1U) tiene cuatro crestas amplias y separadas en el centro y una hendidura que da la apariencia de una sutura.

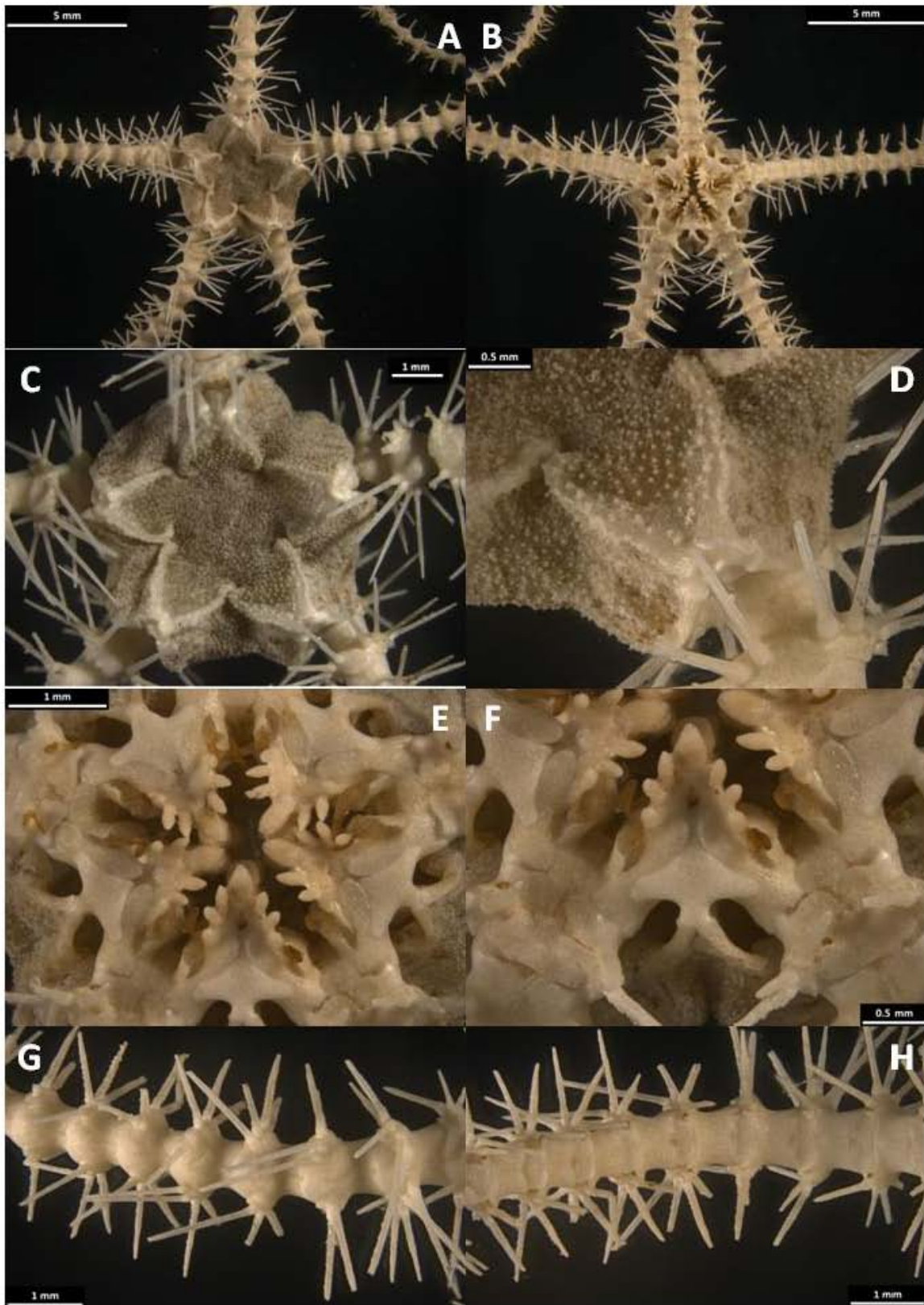
**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.4147' N$ ,  $111^{\circ} 52.3800' W$  y  $27^{\circ} 24.7748' N$ ,  $111^{\circ} 52.4158' W$ ); Isla San Pedro Mártir Sur ( $28^{\circ} 21.2931' N$ ,  $112^{\circ} 20.7840' W$  y  $28^{\circ} 21.7021' N$ ,  $112^{\circ} 20.3471' W$ ) e Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.7320' N$ ,  $112^{\circ} 22.7345' W$ ;  $28^{\circ} 23.7273' N$ ,  $112^{\circ} 23.5738' W$ ;  $28^{\circ} 23.7204' N$ ,  $112^{\circ} 22.8530' W$ ;  $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$ ;  $28^{\circ} 23.7756' N$ ,  $112^{\circ} 22.7006' W$  y  $28^{\circ} 23.6612' N$ ,  $112^{\circ} 23.1220' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 442 a los 901 m.

**Distribución geográfica:** Desde Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.7756' N$ ,  $112^{\circ} 22.7006' W$ ) hasta Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.4147' N$ ,  $111^{\circ} 52.3899' W$ ).

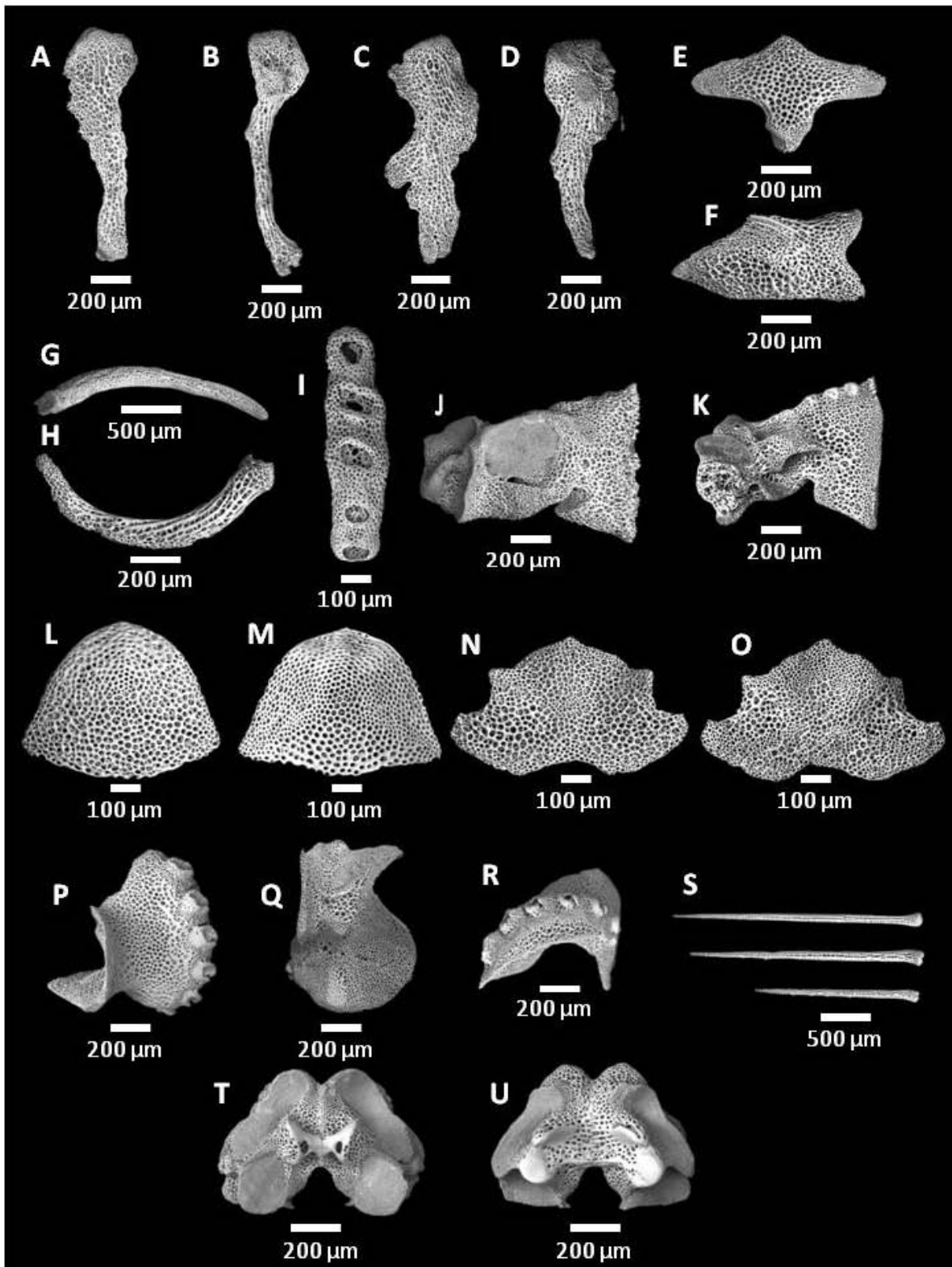
**Material examinado:** 219 organismos.





**Fig. 21. Ophiacanthidae A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos finos; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas.





**Fig. 21.1. Ophiacanthidae A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A-D) Escudos radiales; (E) Escudo oral; (F) Escudo adoral; (G) Placa genital adradial; (H) Placa genital abradial; (I) Placa dental; (J) Placa oral abradial; (K) Placa oral adradial; (L) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (M) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (N) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (O) Placa ventral del brazo, vista ventral; (P-R) Placas laterales del brazo; (S) Espinas; (T-U) Vértebras.

*Ophiacantha rhachophora* H.L. Clark, 1911  
(Figura 22)

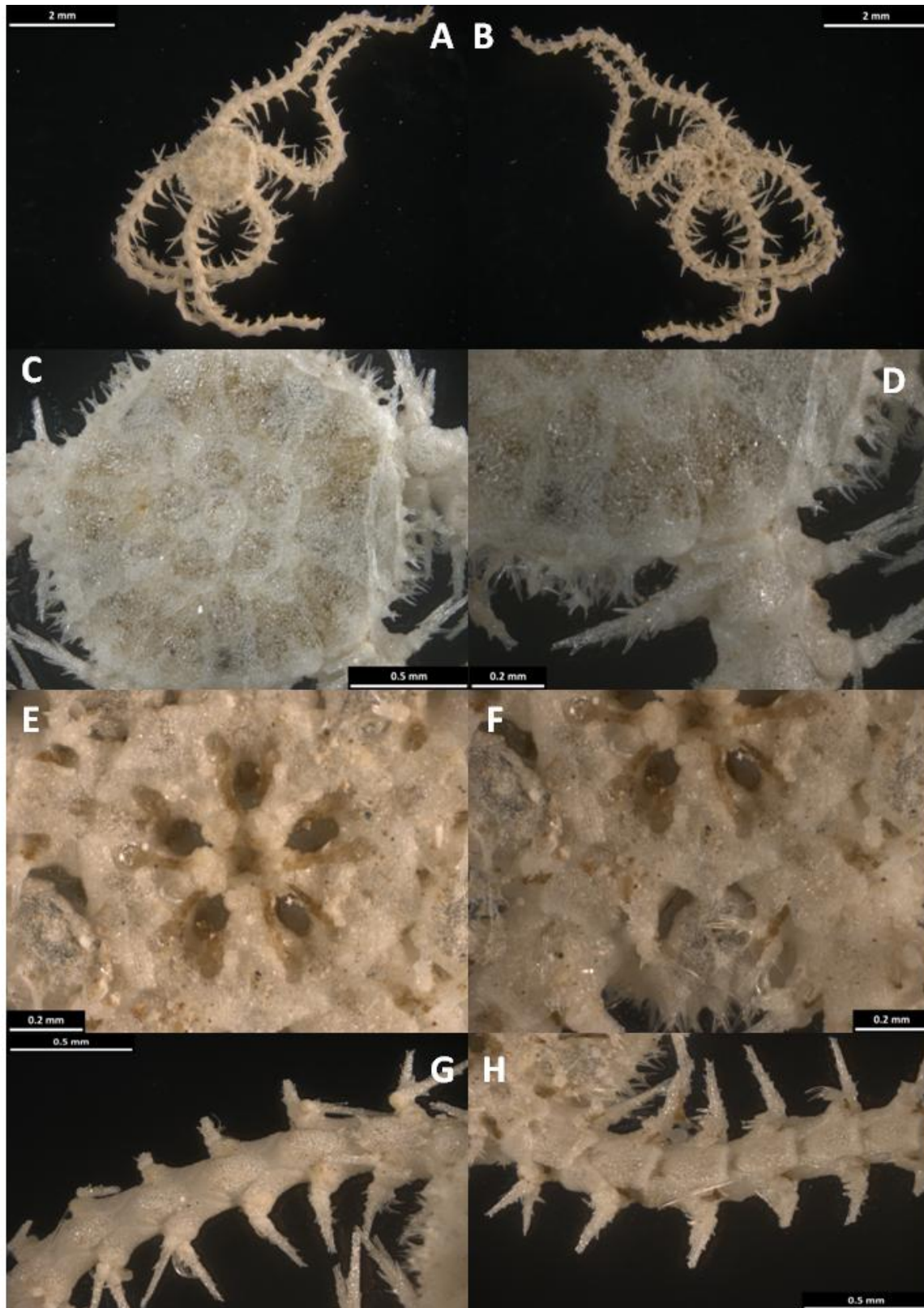
**Descripción:** El disco está cubierto por escamas delgadas y traslúcidas (Figura 22A). Se distingue claramente la placa central primaria rodeada de cinco placas radiales primarias redondas (Figura 22C). Los escudos radiales son lanceolados, están separados por una delgada línea de escamas (Figura 22D). El espacio interr radial tiene espinas cortas y bifurcadas (Figura 22D). Las placas dorsales del brazo están hinchadas y tienen forma de gota, están separadas unas de otras (Figura 22G). La parte ventral del disco tiene espinas bifurcadas y traslúcidas (Figura 22B). Las hendiduras genitales son cortas y estrechas. Hay dos papilas orales a cada lado de la mandíbula, con el extremo distal definido como una espina divergente. Los dientes crean una sola estructura alargada en forma de sierra (Figura 22E). El escudo oral es más largo que ancho y tiene forma de rombo (Figura 22F). Los escudos adorales no están claramente definidos. La primera placa ventral es más pequeña que el resto con forma cuadrangular. Las demás placas ventrales son rectangulares y están separadas por las placas laterales (Figura 22H). Una escama tentacular afilada con una espina bifurcada a lado (Figura 22H). Las placas laterales son tan anchas como largas, cada una tiene tres espinas con superficie áspera y algunas con el borde bifurcado (Figura 22G).

**Localidad de recolecta:** Cuenca Sal Sipuedes ( $29^{\circ} 3.2159' N$ ,  $113^{\circ} 15.6700' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 115 a los 1152 m [Maluf, 1988].

**Distribución geográfica:** Desde el Mar de Bering hasta Cabo San Lucas, Baja California ( $22^{\circ} 53' N$ ,  $109^{\circ} 58' W$ ); Japón [Maluf, 1988].

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 22.** *Ophiacantha rhachophora* H.L. Clark, 1911. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales y espinas bifurcadas en el interrradio; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudo oral; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espina bifurcada a lado.

***Ophiacantha* sp. A**  
**(Figura 23, 23.1)**

**Descripción:** Disco cubierto de gránulos finos (Figura 23A), son más densos en el centro (Figura 23C). Los escudos radiales son cinco veces más largos que anchos y se encuentran cubiertos por gránulos, excepto en el extremo distal donde una parte queda desnuda (Figura 23D). El interrradio presenta escamas superpuestas junto a cada escudo radial, entre estos grupos de escamas se observan gránulos. Las placas dorsales son un poco más anchas que largas con forma triangular, las primeras 13-15 presentan tres placas accesorias en el extremo distal, el resto de las placas no las presenta (Figura 23G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas superpuestas (Figura 23B). Las hendiduras genitales son largas llegan hasta fuera de los escudos orales. A cada lado de la mandíbula hay seis papilas orales cortas y redondeadas y siete dientes anchos y redondeados (Figura 23E). El escudo oral es dos veces más ancho que largo, con forma casi elíptica, excepto en el extremo distal donde se encuentra constreñido y tiene forma de gota. Los escudos adorales son anchos y no se unen (Figura 23F). La primera placa ventral es rudimentaria, las siguientes se encuentran separadas por las placas laterales, su borde proximal es puntiagudo y el distal tiene forma de corazón (Figura 23H). Presenta dos escamas tentaculares largas y anchas. Cada placa lateral del brazo tiene seis espinas largas y gruesas (Figura 23G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son triangulares con bordes redondeados (Figura 23.1A). El escudo oral (Figura 23.1B) tiene forma de rombo con el borde distal constreñido, los espacios que cubren la superficie se encuentran muy juntos. El escudo adoral (Figura 23.1C) es ancho, tiene dos bifurcaciones en el extremo distal y tres perforaciones en el centro del escudo. Las placas genitales tienen forma de media luna, la placa adradial (Figura 23.1D) tiene un cóndilo elevado en el extremo distal, después se constriñe centralmente y se forma una hendidura que sigue hasta el extremo proximal. La placa abradial (Figura 23.1E) es más ancha, con el borde distal romo y el proximal redondeado y curvado hacia arriba. La placa dental es alargada (Figura 23.1F), formada por una sola pieza tiene ocho cuencas dentales, las primeras dos son ovaladas y cubren casi toda la placa las demás disminuyen sucesivamente su tamaño, debajo de la última cuenca hay tres orificios más pero no están bien definidos. Ninguna cuenca perfora la placa. Los dientes (Figura 23.1G) son de diferentes tamaños con forma de domo y ambos extremos curvados, tienen pequeñas espinas en la superficie. Las placas orales son más largas que anchas, la placa adradial (Figura 23.1H) tiene el

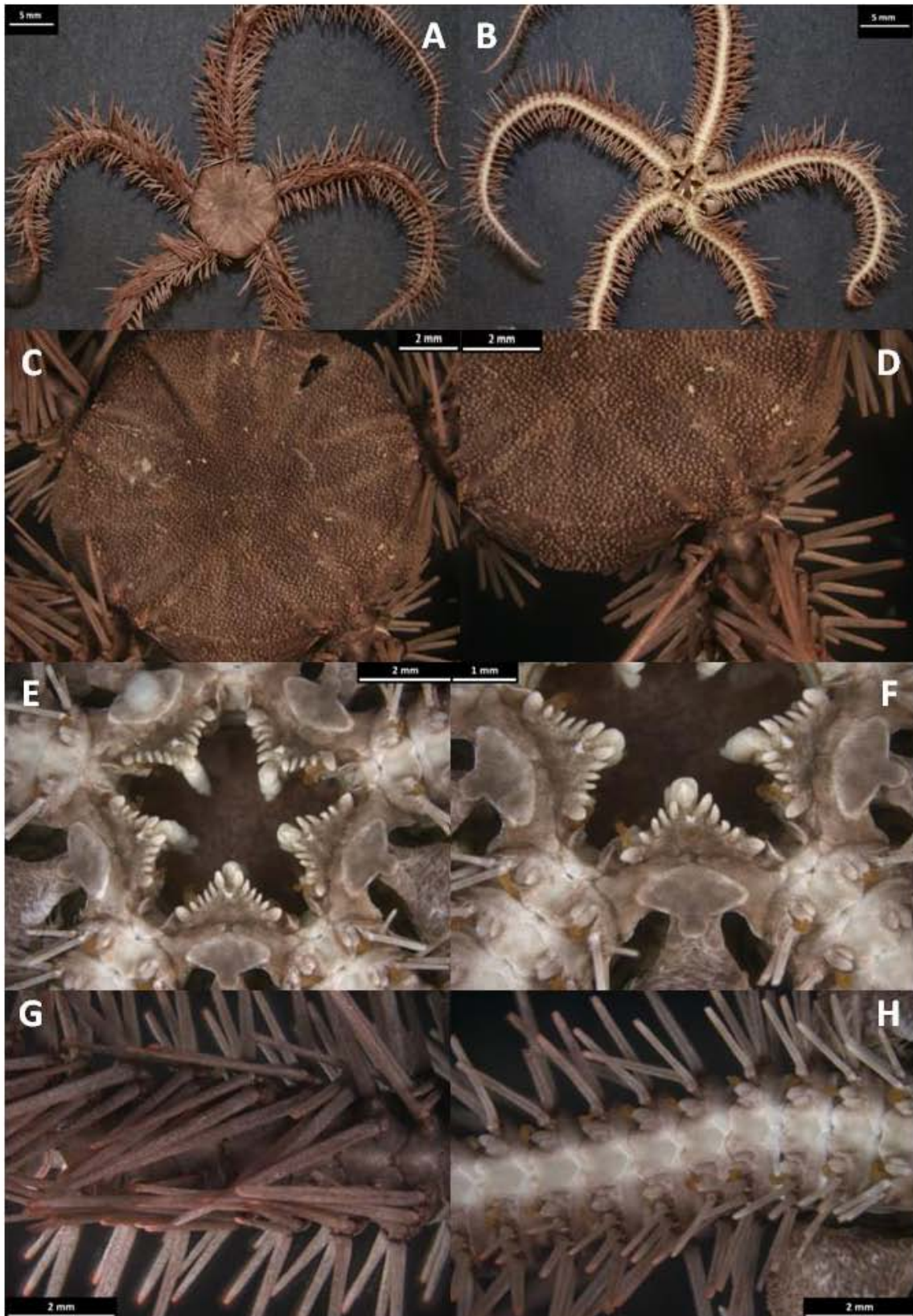
borde proximal liso y hay dos pequeñas perforaciones en el extremo dorsal, en el centro se forma una cresta continua, en el extremo distal hay una cresta en forma de coma (,) con una serie de hendiduras. El borde proximal de la placa abradial (Figura 23.1I) tiene pequeñas hendiduras, en el extremo dorsal hay un surco vertical que llega hasta la mitad de la placa, en el centro se forma un amplio surco que corresponde con el área de fijación muscular; en el borde distal hay una cresta vertical continua seguida de una serie de surcos. Las placas dorsales son triangulares, dorsalmente (Figura 23.1J) están elevadas en la parte central, en la cara ventral (Figura 23.1K) tienen un surco en el centro de la placa. Las placas ventrales son anchas, constreñidas en el centro (Figura 23.1L) y tienen dos rebordes redondeados en el extremo distal. La parte ventral (Figura 23.1M) tiene una hendidura en el centro y dos crestas en el extremo distal. Las placas laterales son largas (Figura 23.1N) tienen una cresta vertical continua y lisa en el centro, seguida de las perforaciones donde se articulan las espinas. En la parte interna (Figura 23.1O) hay una cresta angosta en el centro que recorre toda la placa. Tienen seis o siete perforaciones para la articulación de las espinas (Figura 23.1P). Las espinas son delgadas (Figura 23.1Q) con uno o dos cóndilos en el extremo proximal, las más pequeñas son planas y tienen pequeñas espinas en el extremo distal. Las vértebras son anchas y redondeadas, la proximal (Figura 23.1R) tiene dos crestas en el extremo distal y dos en el proximal, con amplias áreas de fijación muscular. La vértebra distal (Figura 23.1S) tiene una serie de crestas en el centro en forma de “Y”.

**Localidad de recolecta:** Isla Tortuga Este (27° 24.9045 N, 111° 52.4608 W).

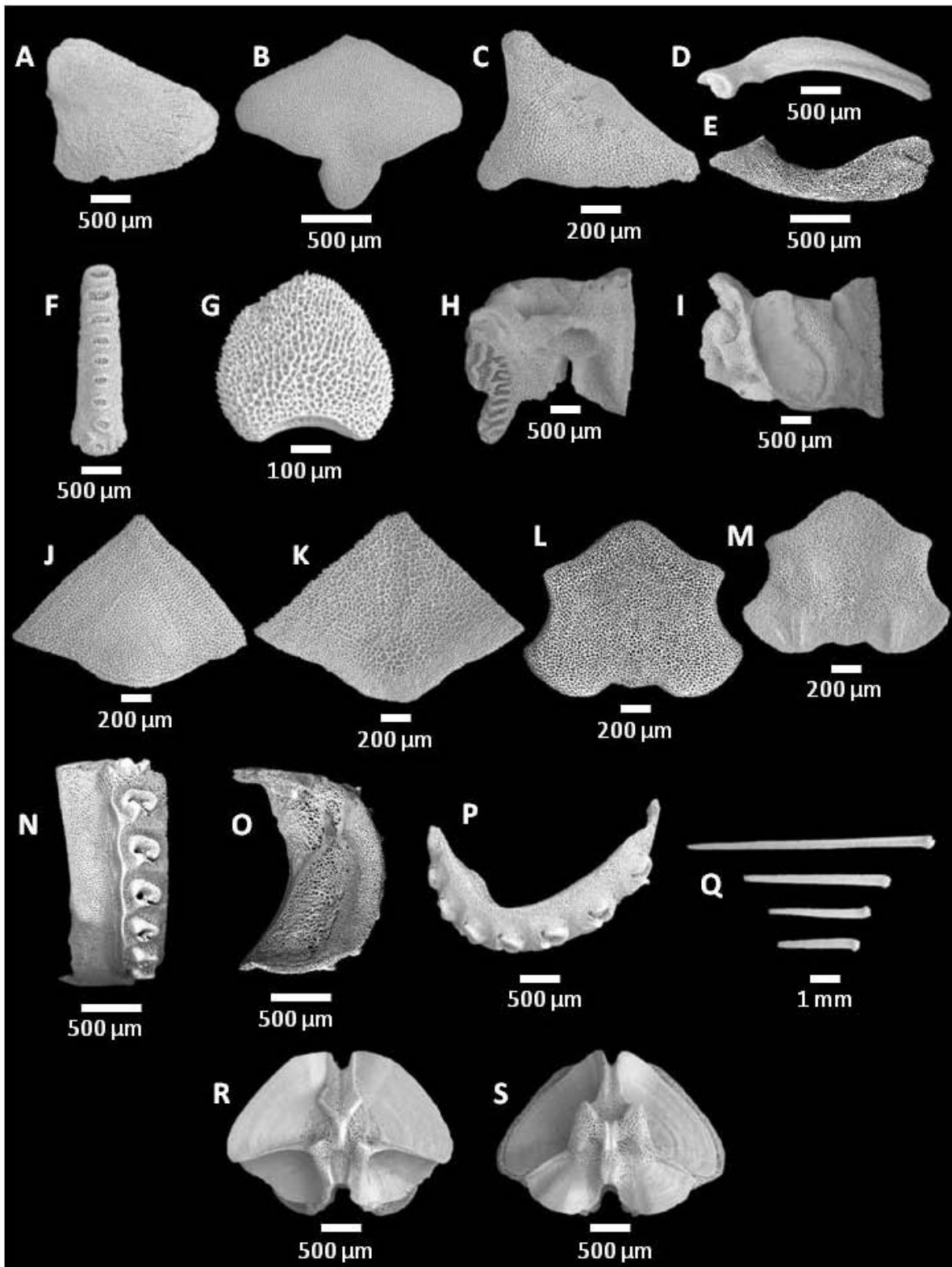
**Profundidad:** 331 m.

**Material examinado:** Tres organismos.





**Fig. 23. *Ophiacantha* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas.



**Fig. 23.1. *Ophiacantha* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial; (B) Escudo oral; (C) Escudo adoral; (D) Placa genital adradial; (E) Placa genital abradial; (F) Placa dental; (G) Diente; (H) Placa oral adradial; (I) Placa oral abradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

***Ophiacantha* sp. B**  
(Figura 24)

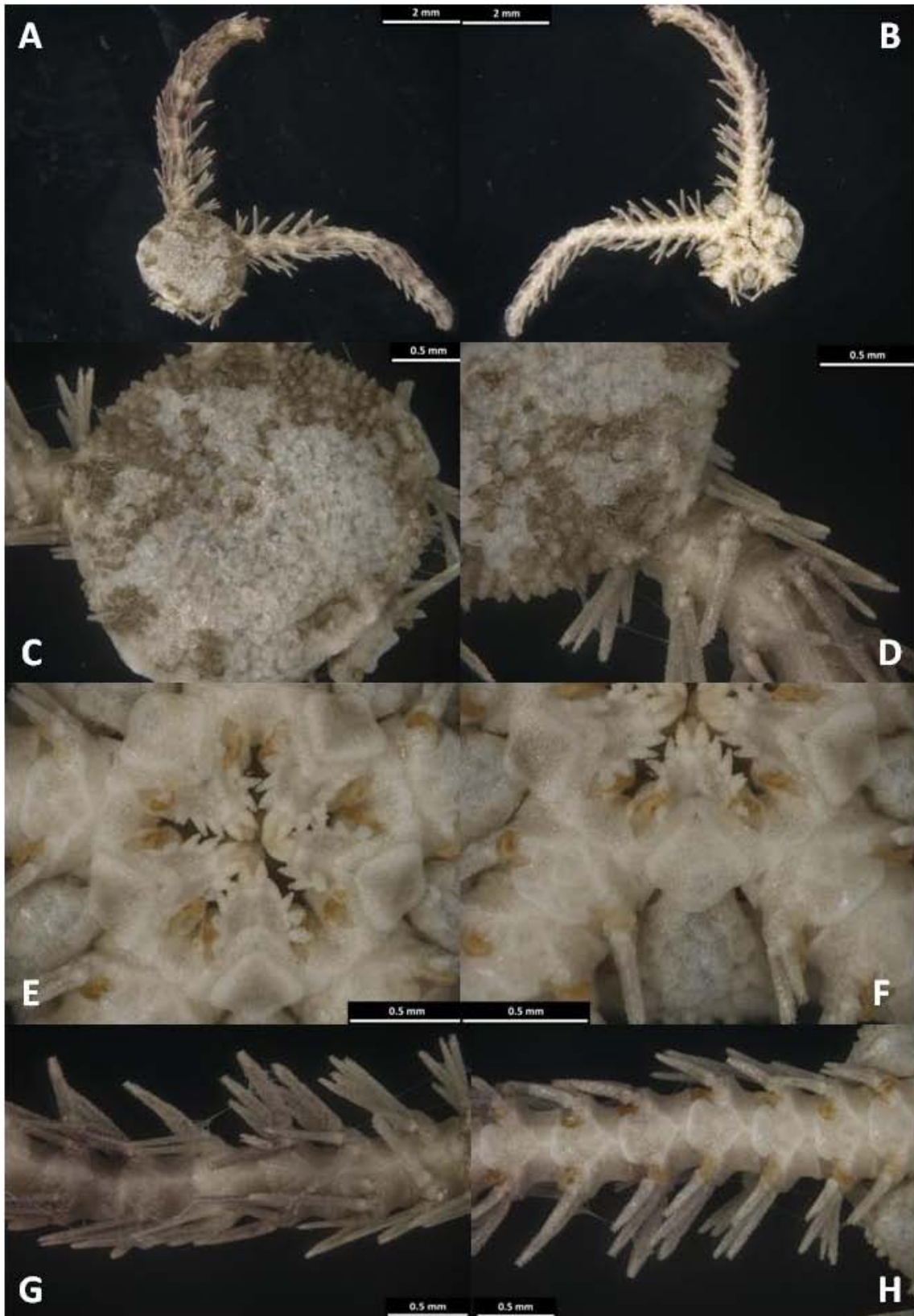
**Descripción:** Disco cubierto por escamas redondas, delgadas y superpuestas (Figura 24C), en los extremos distales del disco se observan algunos gránulos pequeños. Los escudos radiales son pequeños y largos, se encuentran rodeados por gránulos (Figura 24D). El interrradio se encuentra cubierto por escamas delgadas. Las placas dorsales son ligeramente más largas que anchas y tienen forma triangular con el borde distal curvado (Figura 24G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas delgadas y superpuestas (Figura 24B). Las hendiduras genitales llegan hasta la parte distal de los escudos orales. La mandíbula presenta de cuatro a cinco papilas a cada lado de la abertura oral y tres dientes (Figura 24E). El escudo oral tiene forma de rombo. Los escudos orales son largos y delgados, se tocan en la parte proximal y son ligeramente más anchos en la parte distal (Figura 24F). La primera placa ventral es pequeña y triangular; las demás son tan largas como anchas con forma pentagonal, el extremo proximal es puntiagudo, mientras que el distal es recto (Figura 24H). Cada segmento presenta una escama tentacular. Las placas laterales están en contacto tanto en la parte dorsal como ventral, tienen cinco espinas ligas y un poco gruesas (Figura 24H).

**Localidad de recolecta:** Cuenca Sal Sipuedes (29° 3.8764' N, 113° 15.2313' W).

**Profundidad:** 274 m.

**Material examinado:** Un organismo.





**Fig. 24. *Ophiacantha* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas delgadas; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas lisas.

***Ophiacantha* sp. C**  
**(Figura 25)**

**Descripción:** El disco está cubierto por escamas redondeadas de diferentes formas y tamaños, superpuestas unas con otras (Figura 25A). Se observan algunos gránulos en los bordes distales del disco (Figura 25C). Los escudos radiales son pequeños, miden cerca de la mitad del radio del disco, están separados proximalmente por una escama grande, mientras que los extremos distales están en contacto (Figura 25D). El espacio interr radial presenta una fila de escamas grandes y algunas espinas. La primera placa dorsal es más pequeña que las demás y presenta dos o tres gránulos espinosos en el borde distal (Figura 25D), las demás son triangulares con el borde proximal angular y el distal redondeado (Figura 25G). Están completamente separadas por las placas laterales. El área ventral del disco está formada por escamas imbricadas, además es reducida ya que la mandíbula es bastante amplia (Figura 25B). Las hendiduras genitales son cortas y estrechas. Hay tres papilas orales largas a cada lado de la abertura oral, seguidas de tres dientes afilados (Figura 25E). El escudo oral es más largo que ancho con forma de rombo. Los escudos adorales son tres veces más largos que anchos y tienen forma de cuña (Figura 25F). La primera placa ventral es triangular, las demás son más anchas que largas con forma hexagonal o pentagonal y no están en contacto (Figura 25H). Hay una escama tentacular larga. Las placas laterales del brazo se reúnen tanto ventral como dorsalmente. Cada placa lateral tiene cuatro espinas largas y aserradas (Figura 25G).

**Localidad de recolecta:** Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957'N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ).

**Profundidad:** 1204 m

**Material examinado:** Un organismo.

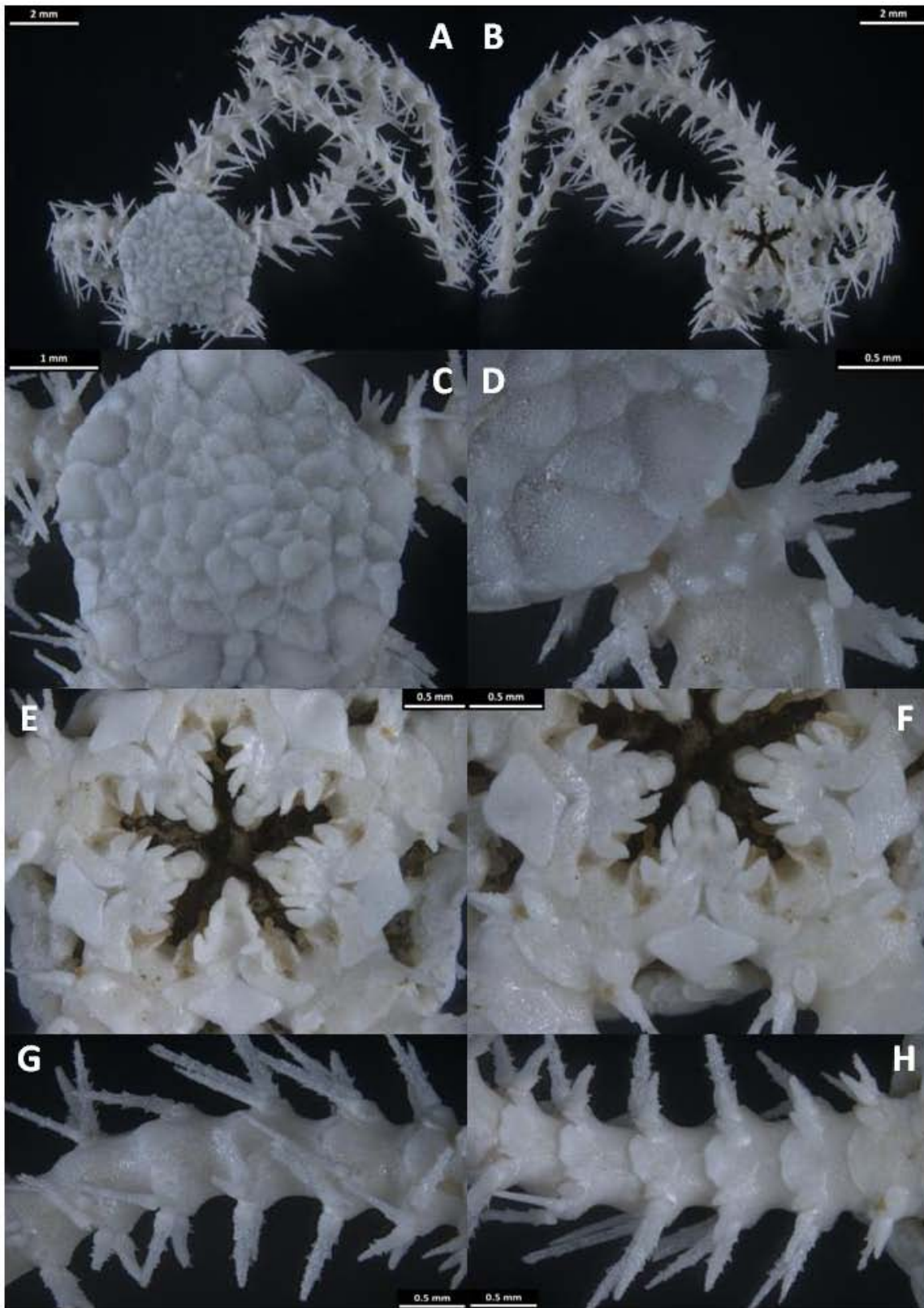


Fig. 25. *Ophiacantha* sp. C. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.

**Familia Ophiothrichidae**

***Ophiotreta* sp.**

**(Figura 26,26.1)**

**Descripción:** El disco se encuentra hundido entre cada par de escudos radiales (Figura 26A), estas depresiones y hasta el centro del disco se encuentra cubierto por gránulos esféricos (Figura 26C). Toda el área que rodea a los escudos radiales presenta escamas imbricadas. Los escudos radiales son pequeños y están separados por una línea ancha de escamas (Figura 26D). La parte interr radial del disco está cubierta por escamas superpuestas y en el centro por gránulos esféricos. Las placas dorsales son romboides y están en contacto (Figura 26G). La primera está cubierta en el borde proximal por algunos gránulos. La parte ventral del disco está formada por filas de escamas superpuestas (Figura 26B). Las hendiduras genitales son alargadas. Hay cinco papilas orales a cada lado del ángulo oral, seguidas de dos ápices en la mandíbula. Presenta seis dientes (Figura 26E). El escudo oral tiene forma de rombo con el borde distal en forma de gota; se une al espacio interr radial a través de un puente angosto. Los escudos adorales tienen forma de “L”, la parte proximal es ancha e incluye completamente al escudo oral (Figura 26F). La primera placa ventral del brazo es pequeña, las demás placas tienen ángulos hexagonales o heptagonales (Figura 26H). Cada poro tentacular presenta dos escamas tentaculares gruesas, la interna es más corta que la externa. Las placas laterales del brazo se reúnen únicamente en la parte ventral. Cada placa posee de siete a ocho espinas lisas y firmes, la espina central es la más larga (Figura 26G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son largos con forma de triángulo (Figura 26.1A), en la parte ventral (Figura 26.1B) se observa un cóndilo elevado y el área de fijación muscular. El escudo oral (Figura 26.1C) tiene forma de rombo y el borde distal está constreñido. El escudo adoral (Figura 26.1D) es ancho y en el extremo distal tiene dos ramificaciones hacia lados opuestos, el extremo proximal es redondeado. Las placas genitales tienen forma de media luna, la placa adradial es delgada (Figura 26.1E) con el extremo proximal redondeado, hay una cresta y un cóndilo con forma definida en el extremo distal. La placa abradial (Figura 26.1F) es más ancha, con el borde distal romo y el proximal ligeramente afilado. La placa dental es larga y se ensancha en la base (Figura 26.1G), está formada por una sola pieza con seis cuencas dentales ovaladas, debajo de la última cuenca hay tres orificios redondos y por encima de la primera hay otro orificio pequeño. Ninguna cuenca perfora la placa. Las placas orales son tan largas como anchas, la placa abradial (Figura 26.1H) tiene una cresta vertical

continúa en el extremo distal, junto a la cual hay una serie de surcos y crestas, en el centro está el área de fijación muscular; cerca del borde proximal que tiene una serie de hendiduras se observa un surco profundo. El borde proximal de la placa adradial es liso (Figura 26.1I), hay cuatro pequeñas perforaciones en el extremo dorsal, el centro tiene una cresta continua que llega casi al extremo distal donde se forma una cresta con forma de coma (,) que tiene una serie de hendiduras. Las placas dorsales son tan anchas como largas con forma de triángulo y están dorsalmente elevadas (Figura 26.1J), en la parte ventral (Figura 26.1K) tienen un surco en el centro de la placa. Las placas ventrales son anchas, constreñidas en el centro (Figura 26.1L) tienen dos rebordes redondeados en el extremo distal. Ventralmente (Figura 26.1M) hay una hendidura en el centro y dos crestas en el extremo distal. Las placas laterales son alargadas con una cresta vertical continua y lisa en el centro (Figura 26.1N), inmediatamente están las perforaciones donde se articulan las espinas. Tienen una cresta interna (Figura 26.1O) que recorre toda la placa y seis o siete perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 26.1P). Las espinas son largas y delgadas con uno o dos cóndilos y pequeñas espinas en a lo largo de todo el borde. Las vértebras con casi redondas, la distal (Figura 26.1R) tiene crestas en el centro en forma de “Y” y la proximal (Figura 26.1S) forma cuatro crestas el área central de la vértebra y en medio de éstas hay un orificio de articulación.

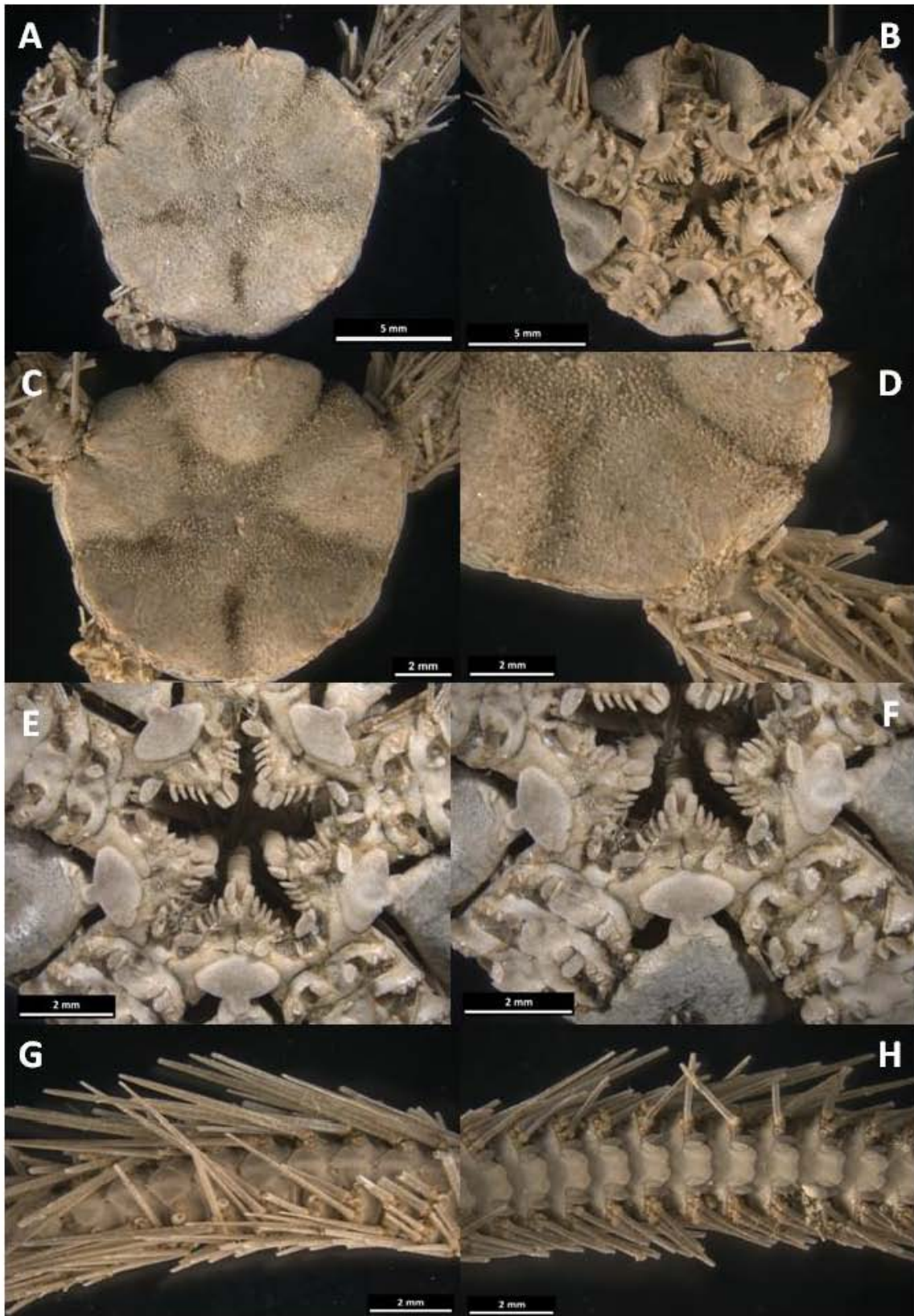
**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.9337' N$ ,  $111^{\circ} 52.4543' W$ ) e Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$ ,  $28^{\circ} 23.7204' N$ ,  $112^{\circ} 22.8530' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 306 a los 780 m.

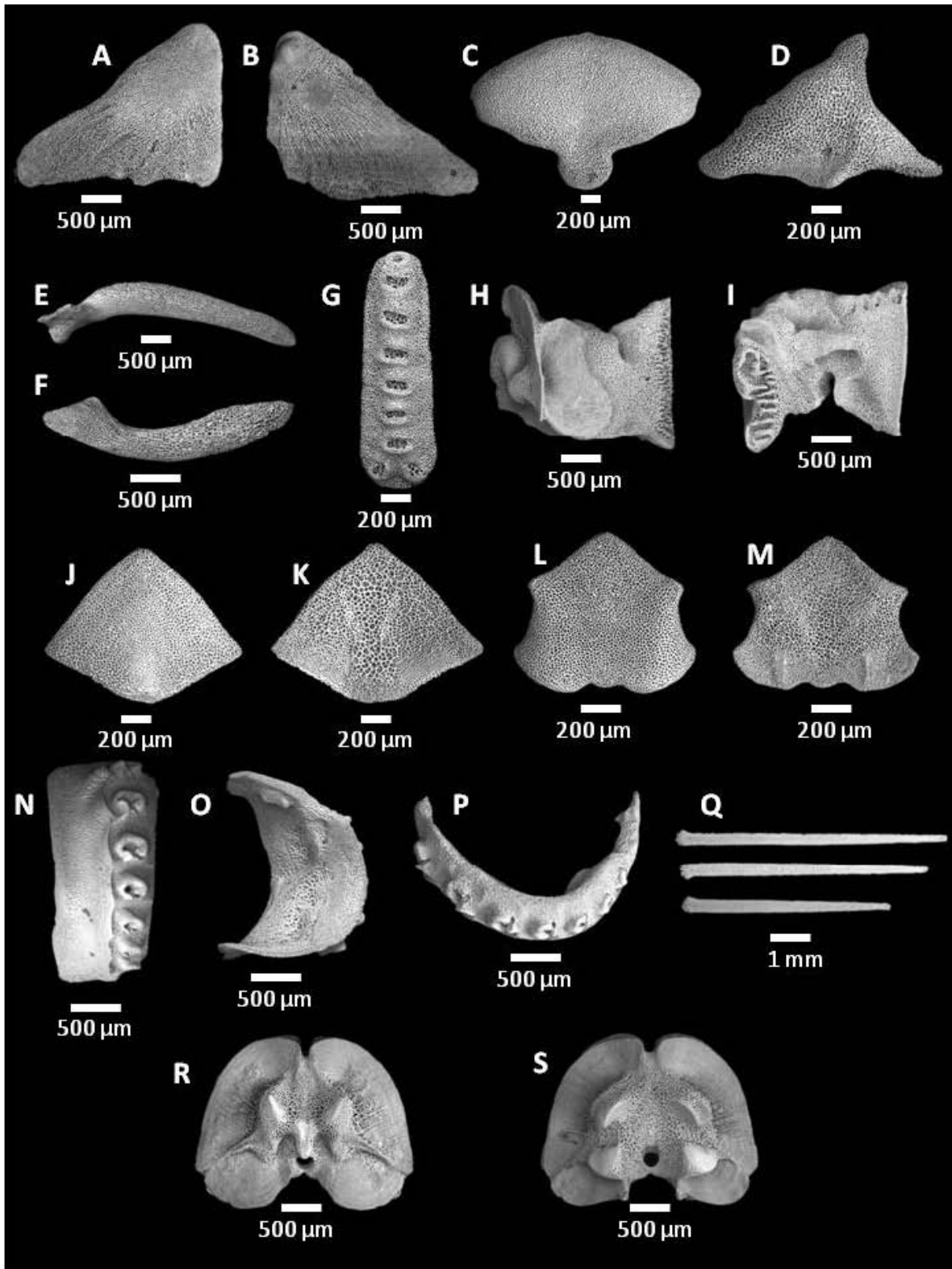
**Distribución geográfica:** Desde Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$ ) hasta Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.9337' N$ ,  $111^{\circ} 52.4543' W$ ).

**Material examinado:** 11 organismos.





**Fig. 26. *Ophiotreta* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos y escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas largas.



**Fig. 26.1. *Ophiotreta* sp. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

***Ophiolimna* sp.**  
**(Figura 27, 27.1)**

**Descripción:** Disco cubierto por gránulos espinosos (Figura 27A), éstos se agrupan principalmente en el centro y los extremos distales del disco (Figura 27C). En las áreas que no se observan gránulos hay escamas redondas, muy delgadas y traslúcidas. Los escudos radiales son pequeños y están casi ocultos por los gránulos espinosos, únicamente se distingue el extremo distal que es abultado (Figura 27D). El interrradio tiene gránulos espinosos en menor cantidad que el disco. Las placas dorsales tienen forma de rombo y están separadas por las placas laterales (Figura 27G). El área ventral del disco también se encuentra cubierta por gránulos espinosos (Figura 27B). Las hendiduras genitales son estrechas. La abertura oral presenta cuatro papilas orales largas, separadas y con el borde romo, seguidas de una papila apical del mismo tamaño. Hay tres o cuatro dientes anchos y cuadrangulares (Figura 27E). El escudo oral es romboide. Los escudos adorales son delgados, tres veces más largos que anchos y sobre ellos hay una fila continua de gránulos espinosos (Figura 27F). Las placas ventrales tienen ángulos cuadrangulares o pentagonales y están separadas unas de otras por las placas laterales (Figura 27H), que se unen en la parte ventral y dorsal. Cada poro tentacular tiene una escama larga y delgada. Las placas laterales tienen de cuatro a siete espinas largas, delgadas y traslúcidas (Figura 27G).

**Estructuras internas:** El escudo oral tiene forma de gota (Figura 27.1A), el borde proximal termina en punta. El escudo adoral (Figura 27.1B) es largo con dos proyecciones en el extremo distal y afilado en el extremo proximal. Las placas genitales son rectas y delgadas, la placa adradial (Figura 27.1C) tienen un cóndilo elevado en el extremo distal, algunos orificios de la superficie perforan la placa. La placa abradial (Figura 27.1D) es más ancha con ambos extremos redondeados. La placa dental (Figura 27.1E) está formada por una pieza, tiene cinco cuencas dentales con formas irregulares y bordes lisos, ninguna perfora la placa. Las placas orales son dos veces más largas que anchas, la placa abradial (Figura 27.1F) tiene un borde proximal liso, en la parte central hay un surco profundo y el área de fijación muscular, cerca de extremo distal se forma una cresta vertical continua y una serie de hendiduras y crestas. La placa adradial (Figura 27.1G) también tiene borde proximal liso, hay tres pequeñas perforaciones en el extremo ventral; en el centro se forma un surco profundo que abarca la mitad de la

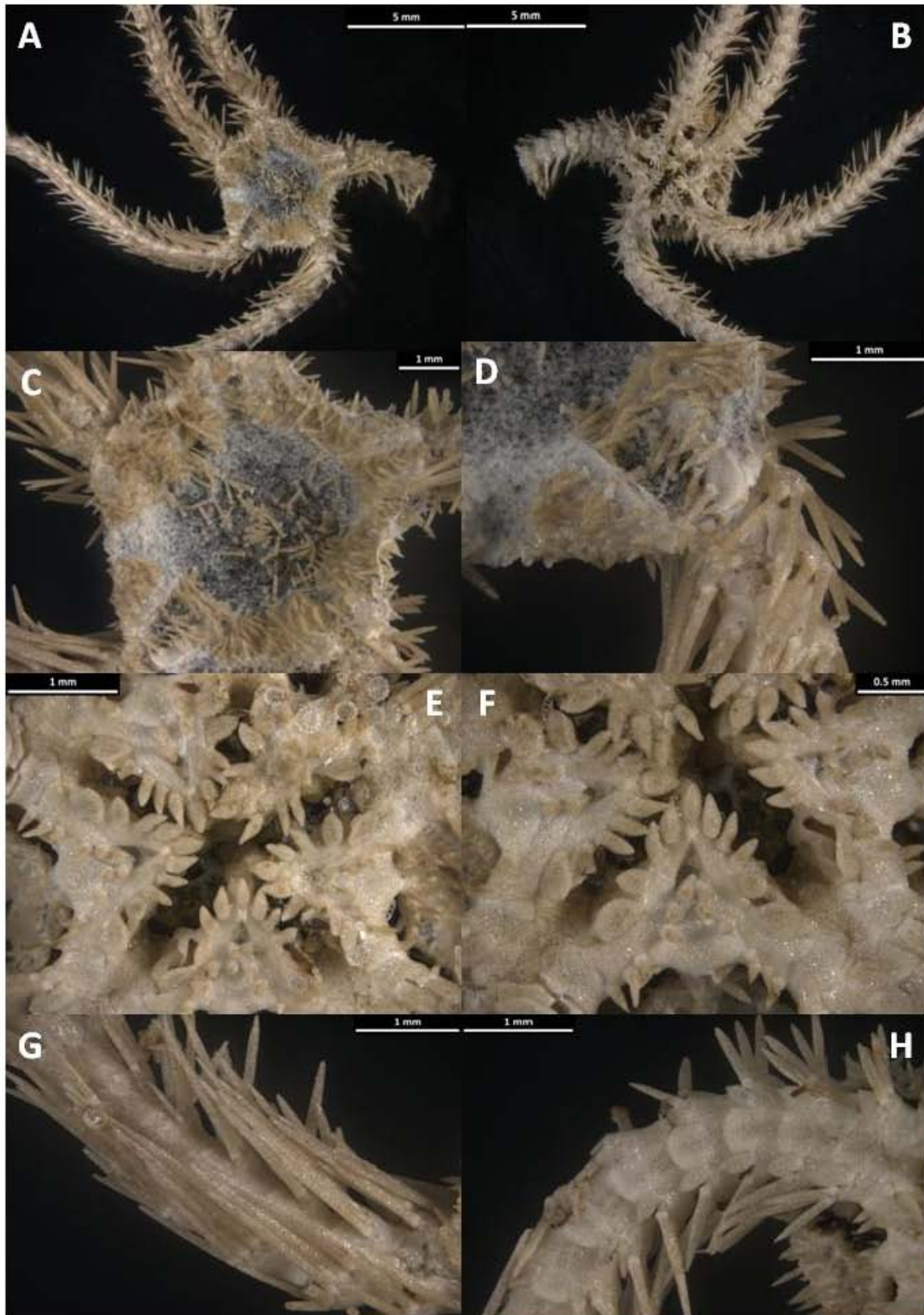


placa, el extremo proximal tiene una cresta con una serie de hendiduras. Las placas dorsales son pequeñas y triangulares, en la parte dorsal (Figura 27.1H) hay líneas horizontales lisas y continuas que se elevan ligeramente y cubren toda la placa. Ventralmente (Figura 27.1I) tienen una hendidura en la parte central y algunos orificios de la superficie perforan la placa. Las placas ventrales son anchas y están constreñidas en el centro, la cara dorsal (Figura 27.1J) está cubierta por capas lisas que no tienen un arreglo regular. En la cara ventral (Figura 27.1K) hay una hendidura en la parte central y dos crestas en el extremo distal donde los orificios que cubren la superficie son más pequeños. Las placas laterales son anchas con el extremo proximal ondulado (Figura 27.1L), en el centro se forma una estriación vertical, algunas tienen en el borde láminas redondeadas. Las perforaciones de articulación de las espinas son grandes y elevadas con la superficie lisa, y tienen un surco profundo. Tienen dos crestas en la parte interna (Figura 27.1M) una es de mayor tamaño, cada placa seis o siete perforaciones de articulación para las espinas (Figura 27.1N). Las espinas son largas con pequeñas espinas en la superficie (Figura 27.1O). Las vértebras son largas, la proximal tiene crestas en el centro con forma de “Y” y dos crestas verticales y continuas en el extremo proximal. La distal (Figura 27.1P) también forma un arreglo de crestas en el centro y dos más en el extremo proximal, las áreas de fijación muscular de ambas no son tan amplias.

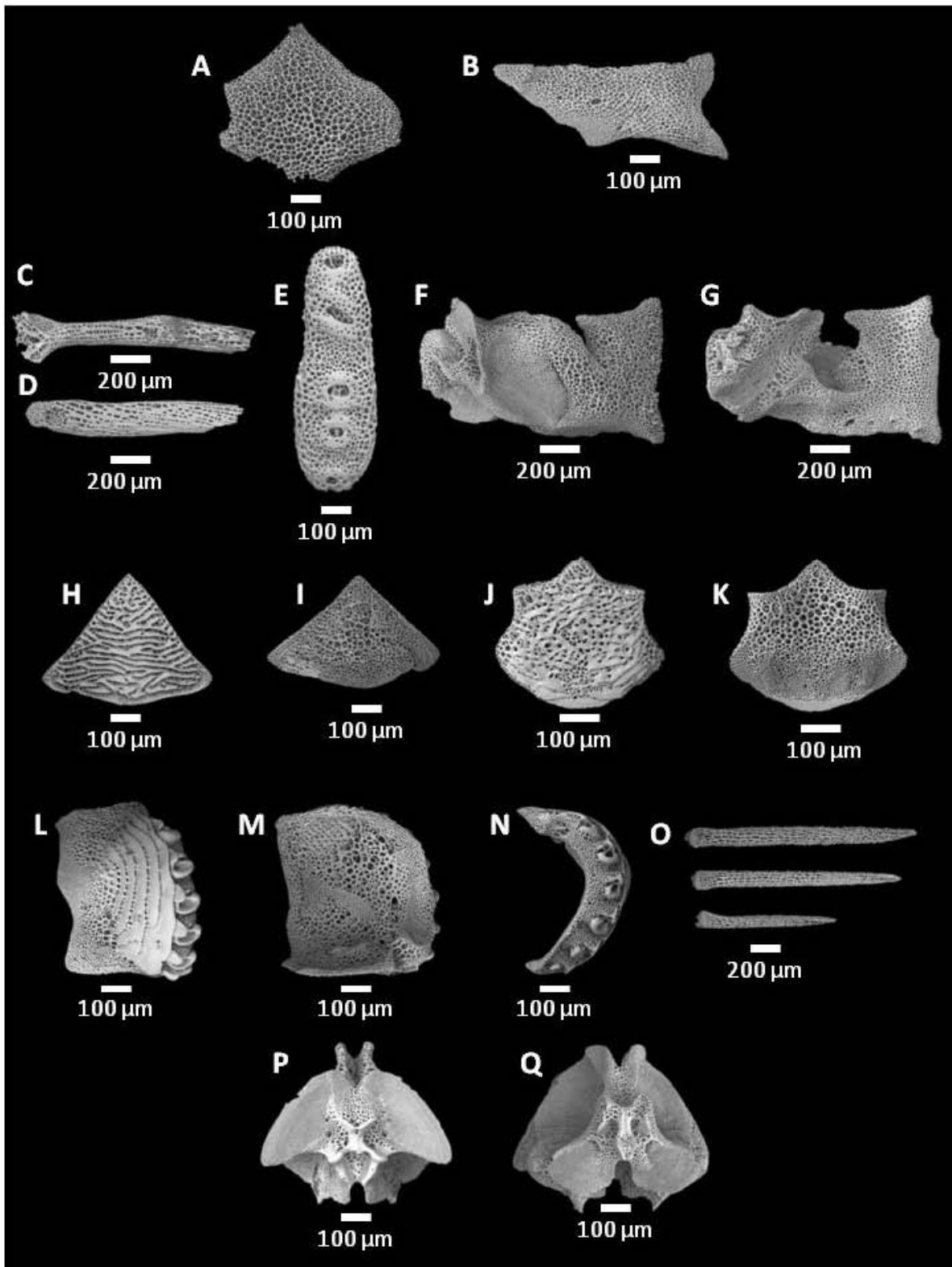
**Localidades de recolecta:** Isla Cerralvo (24° 12.9606' N, 109° 47.3115' W).

**Profundidad:** 854 m.

**Material examinado:** Un organismo.



**Fig. 27.** *Ophiolimna* sp. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos espinosos; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudos oral y adorales con la fila de gránulos espinosos; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo y escama tentacular.



**Fig. 27.1.** *Ophiolimna* sp. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo oral; (B) Escudo adoral; (C) Placa genital adradial; (D) Placa genital abradial; (E) Placa dental; (F) Placa oral abradial; (G) Placa oral adradial; (H) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (I) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (J) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (K) Placa ventral del brazo, vista ventral; (L-N) Placas laterales del brazo; (O) Espinas; (P-Q) Vértebras.

***Ophiophthalmus normani* Lyman, 1879**  
**(Figuras 28, 28.1)**

**Descripción:** El disco está cubierto por escamas y gránulos, las escamas se encuentran superpuestas y sobre ellas hay uno o más gránulos (Figura 28A). El disco tiene un surco entre cada par de escudos radiales (Figura 28C). Los escudos radiales ocupan una tercera parte del disco y son lanceolados, están separados por un grupo de escamas y gránulos (Figura 28D). El interrradio presenta escamas y gránulos ligeramente afilados. Las placas dorsales son más largas que anchas con los bordes redondeados, el borde distal es tres veces más ancho que el proximal. De la primera a la séptima placa hay una línea de gránulos en el borde distal (Figura 28G). La parte ventral del disco está cubierta de gránulos (Figura 28B). Las hendiduras genitales son anchas y se extienden desde los escudos orales hasta el margen del disco. Hay tres papilas orales largas y separadas entre sí a cada lado de la abertura oral, seguidas de apéndice apical más ancho. Hay cuatro dientes anchos y cuadrangulares (Figura 28E). El escudo oral tiene la forma de un rombo alargado lateralmente con los bordes redondeados. Los escudos adorales son largos y no se tocan entre sí (Figura 28F). La primera placa ventral es pentagonal con el borde distal en forma de corazón, el resto tiene forma rectangular con el borde distal ligeramente constreñido (Figura 28H). Una escama tentacular larga y afilada. Las placas laterales del brazo se reúnen en la parte ventral, pero no en la dorsal. Cada una tiene cuatro espinas largas y delgadas sin filo, siendo la espina central la más larga (Figura 28G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son anchos con dos ramificaciones en el borde proximal (Figura 28.1A). El escudo oral (Figura 28.1B) es alargado, los extremos distal y proximal terminan en punta con borde redondeado. Las placas genitales son anchas, la adradial (Figura 28.1C) tiene el borde proximal redondeado y en extremo distal hay un cóndilo grande y elevado. La placa abradial (Figura 28.1D) es más ancha con los bordes de ambos extremos romos. Las placas orales son anchas, en la abradial (Figura 28.1 E) hay un amplia área de fijación muscular, el extremo proximal es liso y en el distal se forma una cresta delgada, vertical y continua seguida de una serie de surcos y crestas. La placa adradial (Figura 28.1F) tiene una cresta que recorre el centro de la placa, el borde proximal es liso y en el extremo dorsal tres perforaciones sobre las cuales se observan tres cóndilos. La placa dental (Figura 28.1G) está formada por una sola pieza, tiene cinco cuencas dentales largas y ovaladas que cubren casi toda placa, la

que se encuentra más cerca del extremo dorsal es más pequeña y redonda. Los dientes (Figura 28.1H) son anchos con forma de campana y tienen un surco profundo. Las placas dorsales son más anchas que largas con bordes redondeados (Figura 28.1 I), en la cara ventral (Figura 28.1J) hay una cresta cerca del extremo distal. Las placas ventrales son anchas (Figura 28.1K) el extremo proximal termina en pico y el distal tiene una ligera hendidura. Ventralmente (Figura 28.1L) tienen un acomodo de crestas en forma de “X”. Las placas laterales son anchas y tienen un reborde en el extremo proximal (Figura 28.1 M), internamente hay una cresta que cubre casi toda la placa y se hace progresivamente más ancha (Figura 28.1N). Cada placa tiene cuatro perforaciones para las espinas (Figura 28.1O) profundas y con bordes elevados, las primeras tres están juntas, pero separadas de la última. Las espinas (Figura 28.1P) son largas y delgadas, tienen un cóndilo elevado y liso. La vértebra proximal (Figura 28.1Q) tiene amplias áreas de fijación muscular y un arreglo de crestas en forma de “X” en la parte central. La distal (Figura 28.1R) tiene una cresta larga en el centro, debajo de la cual se forma una serie de surcos y crestas, también tiene amplias áreas de fijación muscular.

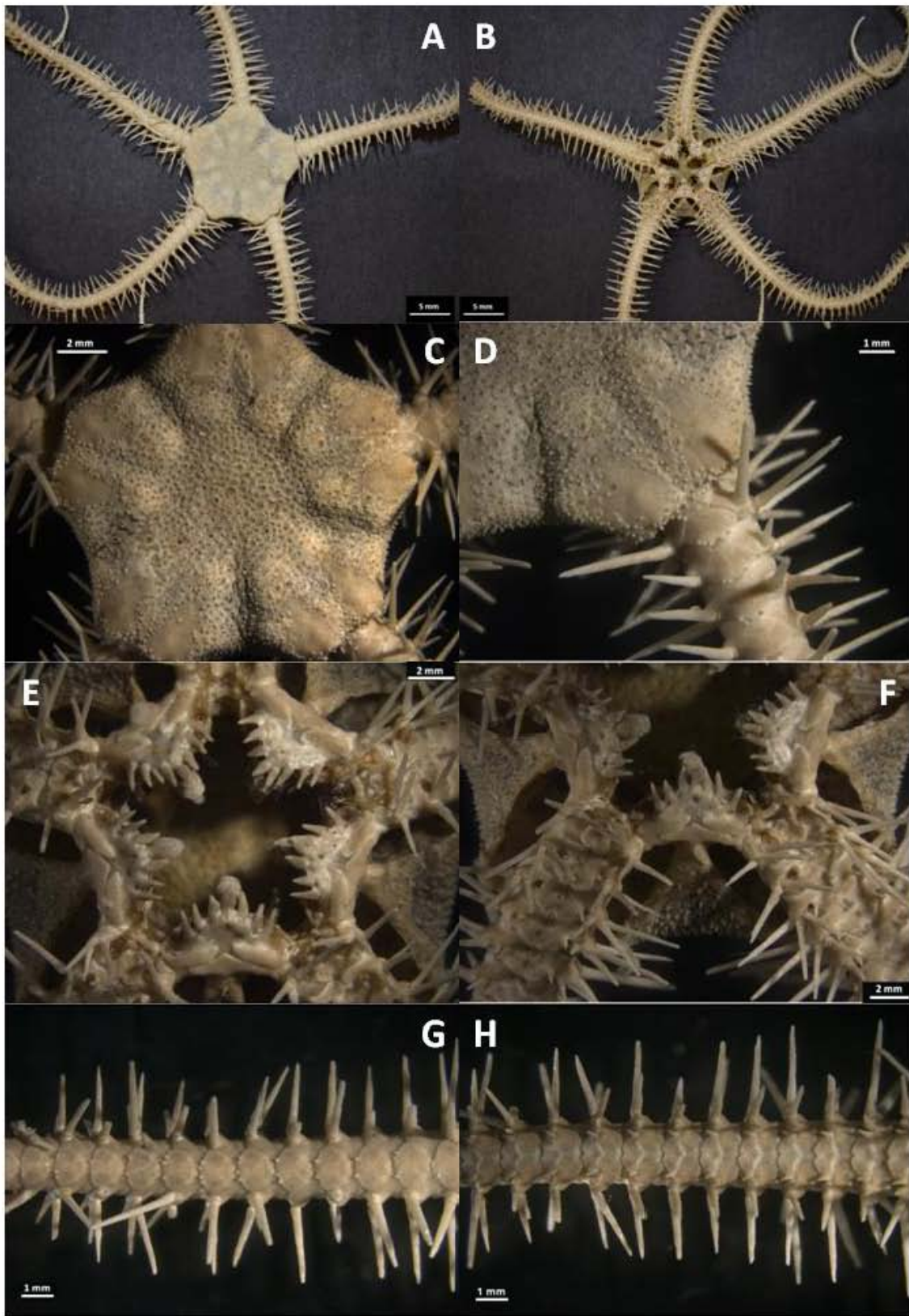
**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Sur (27° 23.4824' N, 111° 52.3419' W; 27° 23.5171' N, 111° 52.3999' W y 27° 23.5600' N, 111° 52.3600' W).

**Distribución batimétrica:** De los 51 a los 2,600 m [Maluf, 1988].

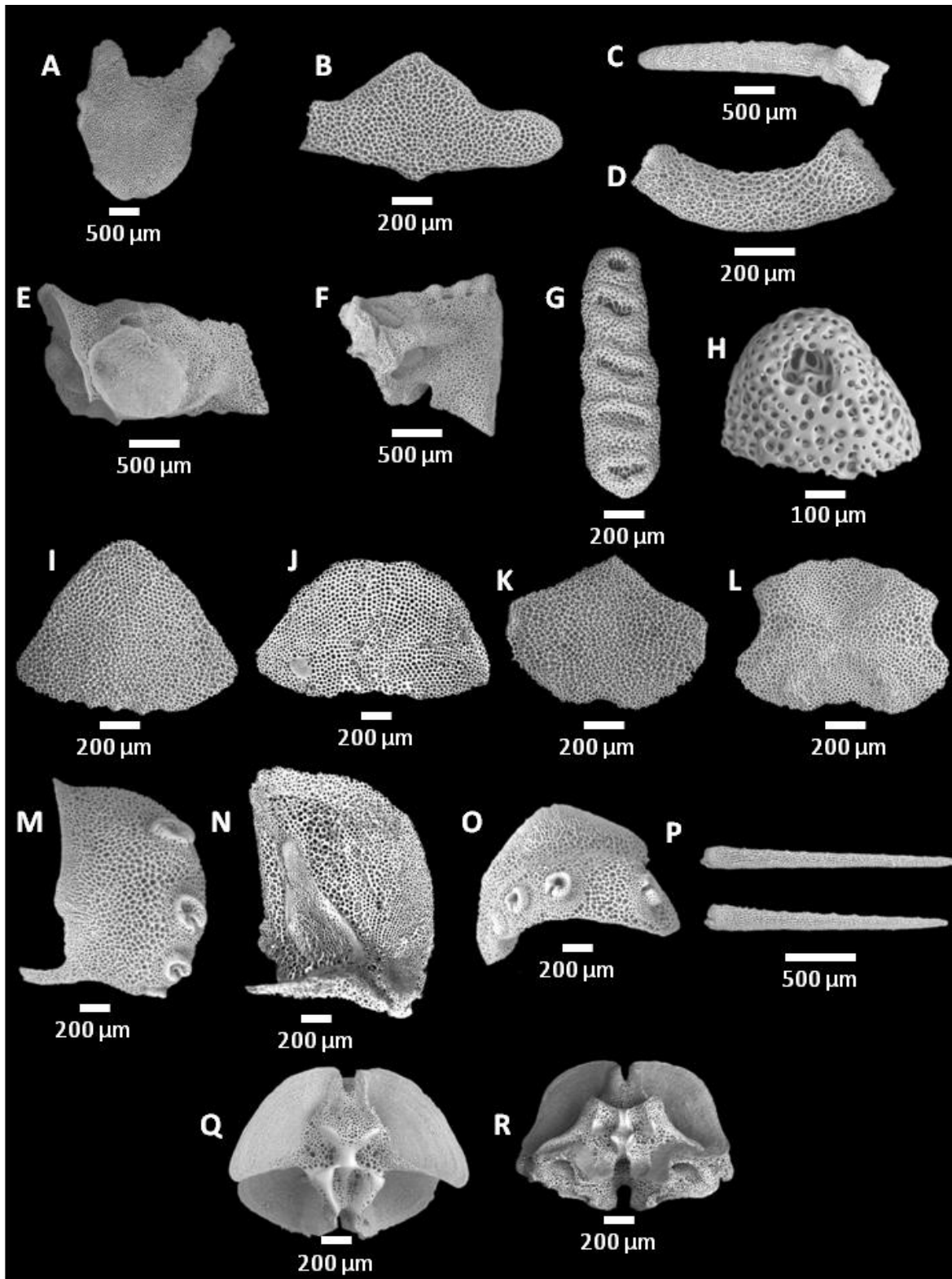
**Distribución geográfica:** Desde el Mar de Bering hasta Farallón, Golfo de California (25° 45' N, 110° W) [Maluf, 1988].

**Material examinado:** Cuatro organismos.





**Fig. 28.** *Ophiophthalmus normani* Lyman, 1879. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales y dientes; (F) Escudo oral; (G) Placas dorsales del brazo con línea de gránulos y espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.



**Fig. 28.1.** *Ophiophthalmus normani* Lyman, 1879. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo radial; (B) Escudo oral; (C) Placa genital adradial; (D) Placa genital abradial; (E) Placa oral abradial; (F) Placa oral adradial; (G) Placa dental; (H) Diente; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras.

**Familia Ophiactidae**

***Ophiopholis* sp. A**

**(Figuras 29, 29.1)**

**Descripción:** El disco está cubierto por algunas escamas (Figura 29A), redondas y alargadas, las primeras se encuentran en el centro del disco, mientras que las segundas están alrededor de los escudos radiales (Figura 29C). También se observan algunas espinas. Los escudos radiales cubren dos terceras partes del disco y son más largos que anchos. El borde proximal termina en punta, el distal es redondeado y ancho. Cada escudo radial se encuentra rodeado por escamas alargadas, por lo que no están en contacto entre sí (Figura 29D). El espacio interr radial está cubierto por espinas cortas y afiladas. Las placas dorsales son circulares y están hinchadas. Cada placa dorsal se encuentra envuelta dentro de placas accesorias pequeñas de forma circular ligeramente alargadas (Figura 29G). La parte ventral del disco está cubierta por pequeñas espinas (Figura 29B). Las hendiduras genitales son largas y llegan hasta la parte central del escudo oral. La mandíbula tiene tres papilas orales a cada lado, seguidas de dos papilas dentales. Los dientes crean una sola estructura alargada en forma de sierra (Figura 29E). El escudo oral es más largo que ancho con forma de rombo. Los escudos adorales tienen forma de coma, el extremo distal es más angosto que el proximal y no se tocan entre sí (Figura 29F). La primera placa ventral es más pequeña que las demás con forma hexagonal, el resto son heptagonales con el borde proximal ligeramente puntiagudo, el extremo distal (en la parte central) es cóncavo en algunas placas y convexo en otras. Tienen una escama tentacular larga y redondeada (Figura 29H). Las placas laterales del brazo son anchas y solo se tocan en la parte ventral. Cada placa lateral tiene de cuatro a cinco espinas largas y gruesas (Figura 29G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales tienen forma de triángulo, con borde delgado y un cóndilo (Figura 29.1A), en la vista dorsal se observa el área de fijación muscular (Figura 29.1B) y la elevación del cóndilo. El escudo oral es un rombo alargado (Figura 29.1C) con una proyección en el extremo distal. El escudo adoral (Figura 29.1D) es ancho con una hendidura en el extremo distal, y el extremo proximal es más angosto. Las placas genitales son anchas, la adradial (Figura 29.1E) tiene un cóndilo grande y elevado en el extremo distal y desde el extremo proximal hasta más de la mitad de la placa se forma una hendidura que adelgaza su borde. La placa abradial (Figura 29.1F) es más ancha y cueveada, tiene un cóndilo alargado en el extremo distal. La placa dental está formada por una sola pieza (Figura 29.1G) tiene dos cuencas



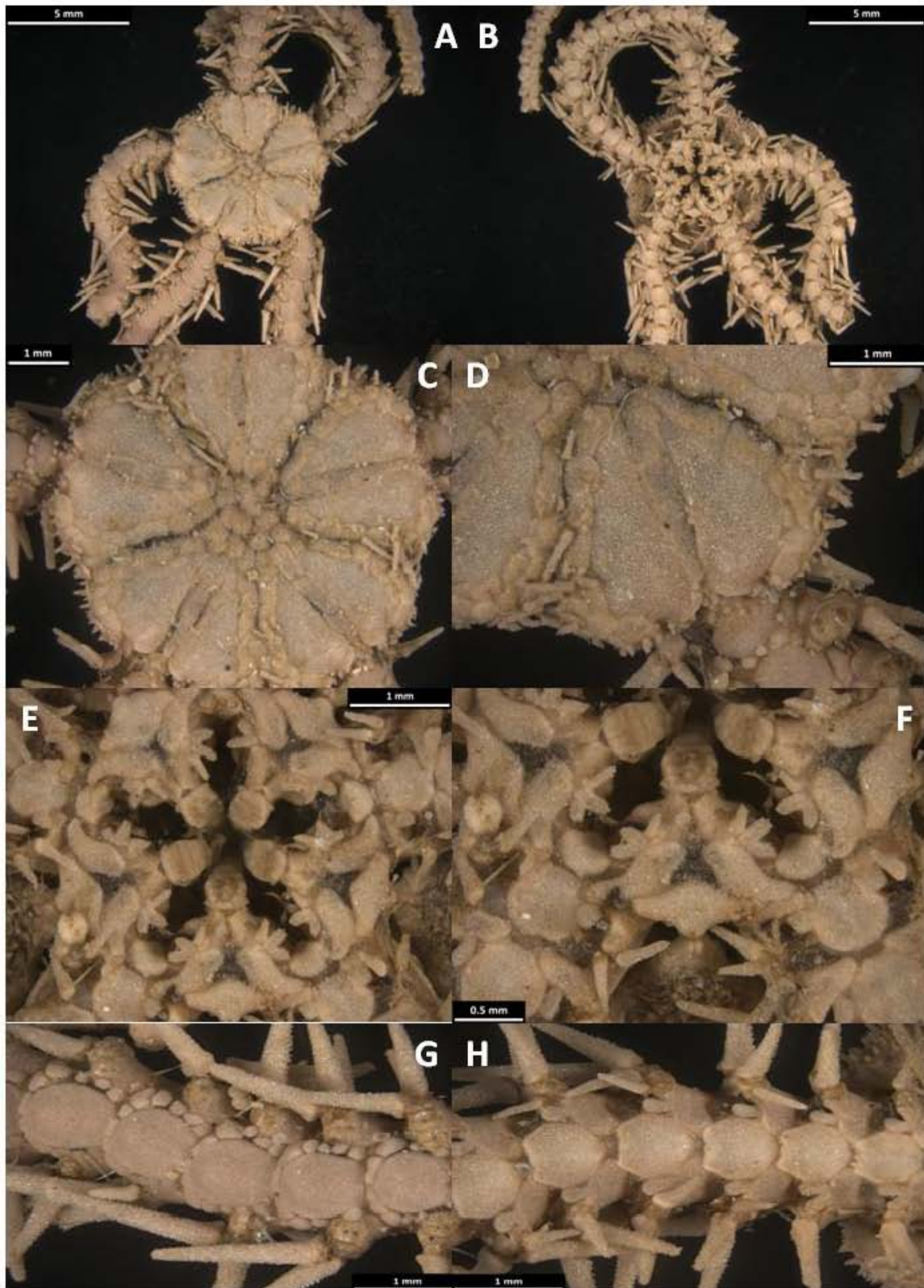
dentales grandes y rectangulares que perforan completamente la placa, en el extremo ventral no hay cuencas pero se forman tres crestas elevadas y lisas. Las placas orales son angostas, en la placa abradial (Figura 29.1H) el área de fijación muscular cubre casi toda la placa, en el borde proximal se observan pequeñas hendiduras y en el distal hay un surco profundo a lado de una cresta pequeña. La placa adradial (Figura 29.1I) tiene un borde proximal liso, en el centro de la placa hay una cresta con una hendidura a cada lado, cerca del borde distal hay una línea delgada con espacios cerrados que termina en una proyección ancha y plana, y en el extremo distal se forma una cresta ovalada con una serie de hendiduras. Las placas dorsales son redondas (Figura 29.1J) con espacios superficiales que perforan la placa y forman un arreglo en forma de red, ventralmente están deprimidas en el extremo distal (Figura 29.1K). Las placas ventrales son cuadradas con una hendidura en el extremo distal (Figura 29.1L), los espacios superficiales también perforan la placa. La parte ventral (Figura 29.1M) tiene una hendidura en el extremo proximal y forma una serie de crestas en forma de "X". Las placas laterales son anchas con un reborde en el extremo proximal (Figura 29.1N), tienen una cresta vertical y lisa antes del área donde se encuentran las perforaciones de articulación de las espinas que son grandes y profundas con bordes elevados. En la parte interna (Figura 29.1O) hay una cresta pequeña en el centro de la placa. Cada placa tiene cinco o seis perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 29.1P). Las espinas (Figura 29.1Q) son largas y anchas con dos cóndilos elevados y pequeñas espinas en todo el borde. Las vértebras son un poco más largas que anchas, la distal (Figura 29.1R) tiene una serie de crestas en el centro y amplias áreas de fijación muscular. La vértebra proximal (Figura 29.1S) tiene dos crestas amplias en la parte central y dos más pequeñas en el extremo distal.

**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.9337' N$ ,  $111^{\circ} 52.4543' W$ ) e Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.7320' N$ ,  $112^{\circ} 22.7345' W$ ;  $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$  y  $28^{\circ} 23.8736' N$ ,  $112^{\circ} 21.9132' W$ ).

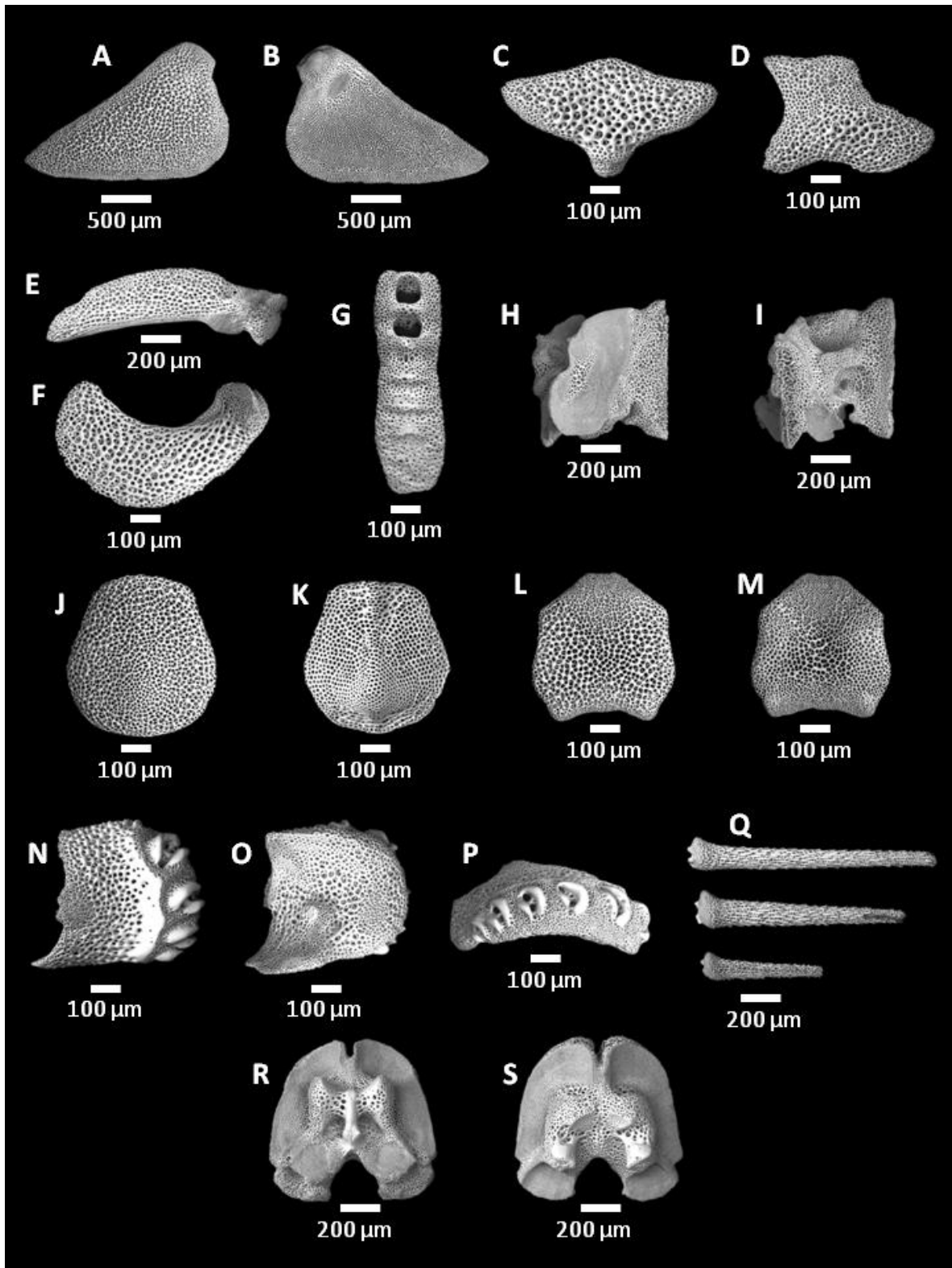
**Distribución batimétrica:** De los 306 a los 780 m.

**Distribución geográfica:** Desde Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.8736' N$ ,  $112^{\circ} 21.9132' W$ ) hasta Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.9337' N$ ,  $111^{\circ} 52.4543' W$ ).

**Material examinado:** 22 organismos.



**Fig. 29. *Ophiopholis* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas; (D) Escudos radiales separados por escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas.



**Fig. 29.1. *Ophiopholis* sp. A. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

***Ophiopholis* sp. B**  
**(Figuras 30, 30.1)**

**Descripción:** Disco redondo cubierto completamente por gránulos (Figura 30C). Los escudos radiales son dos veces más largos que anchos, el borde proximal es estrecho, mientras que el distal es ancho, están cubiertos por los gránulos (Figura 30D). El espacio interr radial se encuentra cubierto por espinas bifurcadas muy cortas (Figura 30D). Las placas dorsales son circulares y están hinchadas. Cada placa dorsal se encuentra envuelta dentro de placas accesorias pequeñas de forma circular ligeramente alargadas (Figura 30G). El disco ventral tiene espinas bifurcadas y pequeñas (Figura 30B). Las hendiduras genitales son estrechas y llegan hasta el centro del escudo oral. La mandíbula tiene tres papilas orales largas y planas a cada lado, seguidas de una papila dental ancha. Los dientes crean una sola estructura alargada en forma de sierra (Figura 30E). El escudo oral tiene forma elíptica. Los escudos adorales son tres veces más largos que anchos y tienen forma ovalada (Figura 30F). Las placas ventrales tienen forma de corazón con los bordes redondeados, no están en contacto entre sí ya que se encuentran separadas por las placas laterales (Figura 30H). Una escama tentacular corta y afilada. Las placas laterales están muy desarrolladas, son anchas y solo se reúnen en la parte ventral. Cada placa lateral tiene de tres a cinco espinas largas y aserradas (Figura 30H).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son triangulares con bordes delgados, los espacios superficiales perforan el escudo y tienen un arreglo en forma de red (Figura 30.1A). Ventralmente (Figura 30.1B) hay un cóndilo y una pequeña área de fijación muscular, debajo de ésta se observa una línea donde no hay espacios superficiales. El escudo oral es un rombo alargado (Figura 30.1C) con una proyección en el extremo distal. El escudo adoral (Figura 30.1D) es ancho con un surco profundo en el extremo distal, el espacio proximal es más angosto. La placa genital adradial (Figura 30.1E) tiene un cóndilo plano en el extremo distal, debajo se forma una cresta y un disco ligeramente elevado donde los espacios superficiales son muy cerrados. La placa abradial es más ancha (Figura 30.1F), el borde proximal es romo y en el extremo distal hay un pequeño cóndilo. La placa dental está formada por una sola pieza (Figura 30.1G), tiene una cuenca dental cuadrada y grande que perfora toda la placa, en el extremo ventral no hay cuencas pero se forman algunas estrías lisas. Las placas orales son angostas, en la placa abradial (Figura 30.1H) el área de fijación muscular cubre casi toda

la placa, en el borde proximal se observan pequeñas hendiduras y en el distal hay un surco profundo junto a una cresta pequeña. La placa adradial (Figura 30.1I) tiene una cresta central que forma un surco a cada lado, el borde proximal es liso y en el distal se forma una cresta ovalada con una serie de hendiduras, también hay una protección ancha y plana con espacios superficiales muy cerrados. Las placas dorsales son largas con bordes redondeados (Figura 30.1J), la parte ventral tiene un surco profundo en el extremo distal (Figura 30.1K). Las placas ventrales son cuadradas con espacios superficiales que perforan la placa y están ligeramente constreñidas en el centro (Figura 30.1L), ventralmente hay una hendidura en el extremo proximal y una serie de crestas en forma de “X” (Figura 30.1M). Las placas laterales son anchas, tienen una cresta vertical continua y lisa antes del área donde se encuentran las perforaciones de articulación de las espinas que son alargadas y profundas con bordes elevados y lisos (Figura 30.1N), internamente tienen una cresta delgada que atraviesa la placa y se vuelve ancha solo en la parte central (Figura 30.1O). Cada placa tiene cinco o seis perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 30.1P). Las espinas (Figura 30.1Q) son largas con pequeñas espinas en todo el borde tienen dos cóndilos elevados y muy juntos entre sí. La vértebra distal (Figura 30.1R) es ancha con amplias áreas de fijación muscular y tiene una serie de crestas en el centro que la dividen. La proximal (Figura 30.1S) es ancha con crestas en el centro en forma de “X” que dividen la vértebra a la mitad.

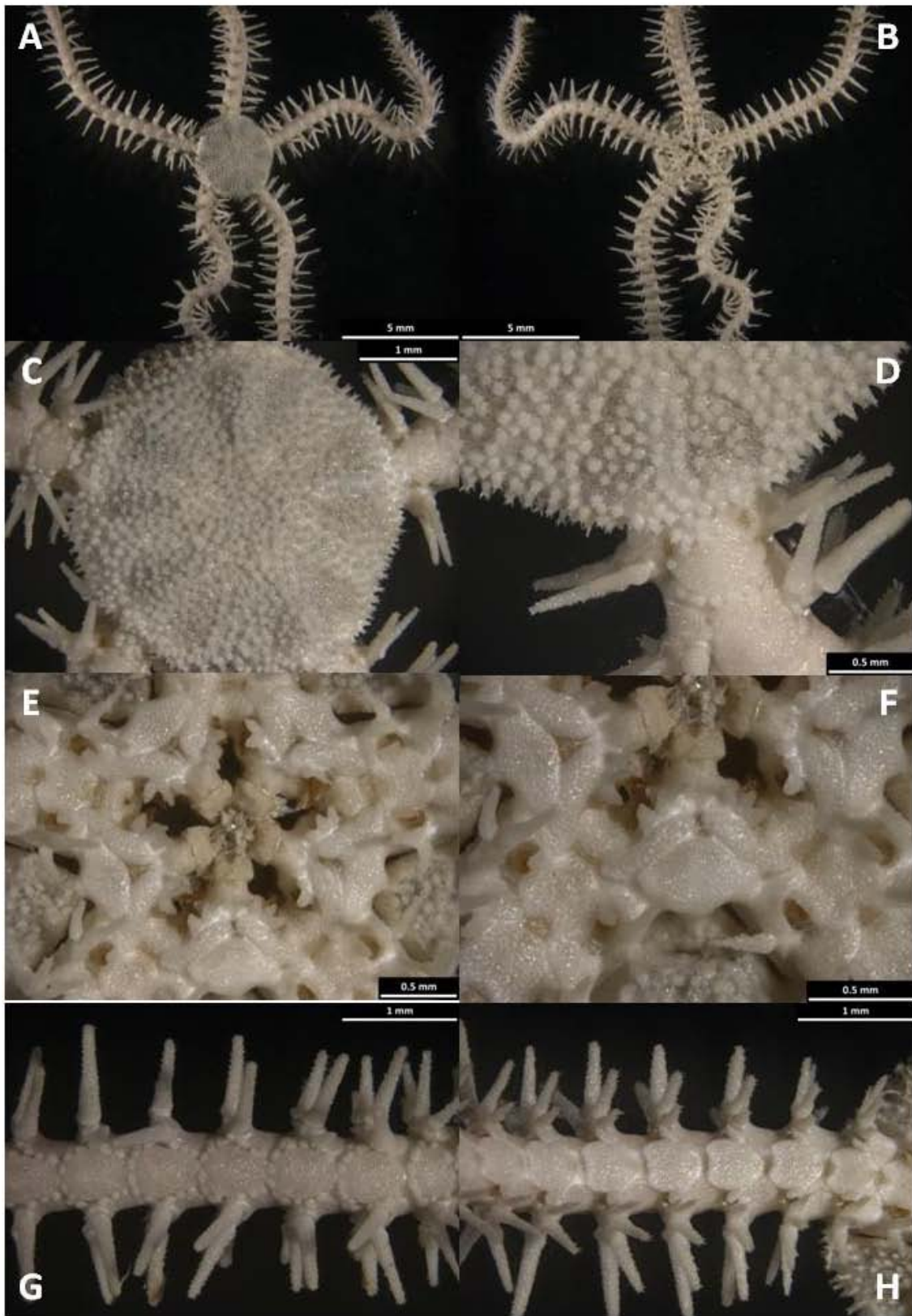
**Localidades de recolecta:** Isla San Pedro Mártir Sur ( $28^{\circ} 22.0569'N$ ,  $112^{\circ} 19.8470'W$ ) y Cuenca Sal Sipuedes ( $29^{\circ} 3.2159'N$ ,  $113^{\circ} 15.6700'W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 278 a los 1042 m.

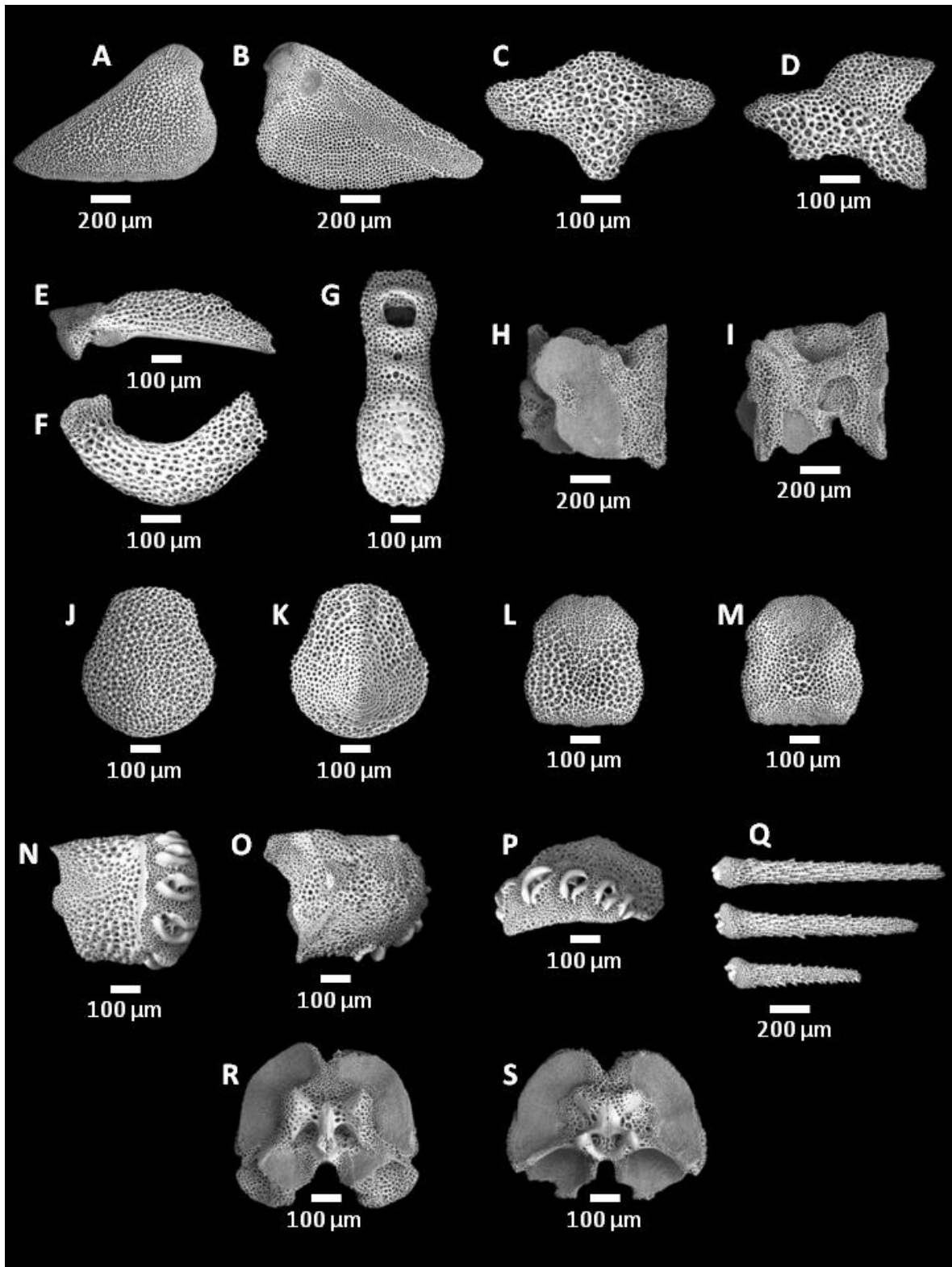
**Distribución geográfica:** Desde Cuenca Sal Sipuedes ( $29^{\circ} 3.2159'N$ ,  $113^{\circ} 15.6700'W$ ) hasta Isla San Pedro Mártir Sur ( $28^{\circ} 22.0569'N$ ,  $112^{\circ} 19.8470'W$ ).

**Material examinado:** Seis organismos.





**Fig. 30. *Ophiopholis* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan los gránulos; (D) Escudos radiales cubiertos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papila dental y dientes; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas.



**Fig. 30.1. *Ophiopholis* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

***Ophiopholis longispina* H.L. Clark, 1911**  
(Figuras 31,31.1)

**Descripción:** El disco tiene escamas circulares en el centro y alargadas alrededor de los escudos radiales (Figura 31A), sobre éstas últimas hay espinas largas y delgadas (Figura 31C). Los escudos radiales ocupan dos terceras partes del disco, el extremo proximal es puntiagudo mientras que el distal es ancho con los bordes redondeados, en este extremo se observan gránulos finos (Figura 31D). Cada escudo radial se encuentra separado por una fila de escamas alargadas. El interrradio está cubierto de pequeños gránulos y espinas que continúan del extremo distal de los escudos radiales. Las placas dorsales son circulares y están hinchadas. Cada placa dorsal se encuentra envuelta dentro de placas accesorias pequeñas de forma circular ligeramente alargadas (Figura 31G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas y sobre éstas hay espinas cortas (Figura 31B). Las hendiduras genitales son estrechas y continúan hasta el escudo oral. Hay de tres a cuatro papilas orales a cada lado de la abertura oral, seguidas por 2 placas dentales cortas. Los dientes crean una sola estructura alargada en forma de sierra (Figura 31E). El escudo oral es más largo que ancho, tiene forma de rombo con los cuatro ángulos redondeados. Los escudos adorales son delgados y dos veces más largos que anchos, el extremo distal es afilado y el proximal tiene borde romo, no están en contacto entre sí (Figura 31F). Las placas ventrales son tan largas como anchas, el borde proximal es ligeramente afilado y el borde distal presenta dos depresiones poco pronunciadas, entre estas hay un relieve evidente (Figura 31H). Una escama tentacular larga. Las placas laterales del brazo son anchas y solo se reúnen en la parte ventral. Cada placa lateral tiene de cinco a seis espinas largas y gruesas, con el borde redondeado (Figura 31G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son triangulares, tienen bordes delgados y los espacios superficiales son pequeños, algunos perforan el escudo y tienen un arreglo en forma de red (Figura 31.1A). La parte ventral tiene un cóndilo elevado en la parte central del extremo distal, hay una pequeña área de fijación muscular y se observa una línea delgada con espacios superficiales cerrados que recorre todo el escudo (Figura 31.1B). El escudo oral es ancho con forma de rombo alargado (Figura 31.1C) y tiene una proyección en el extremo distal. El escudo adoral (Figura 31.1D), tiene un surco en el extremo distal y el extremo proximal es la mitad de ancho que el tamaño del escudo. Las placas genitales son anchas, la placa adradial (Figura 31.1E) tiene un borde distal romo, pero sobresale un cóndilo elevado, cerca de este extremo hay un reborde; el extremo proximal es más delgado que el resto de la placa. La placa abradial (Figura



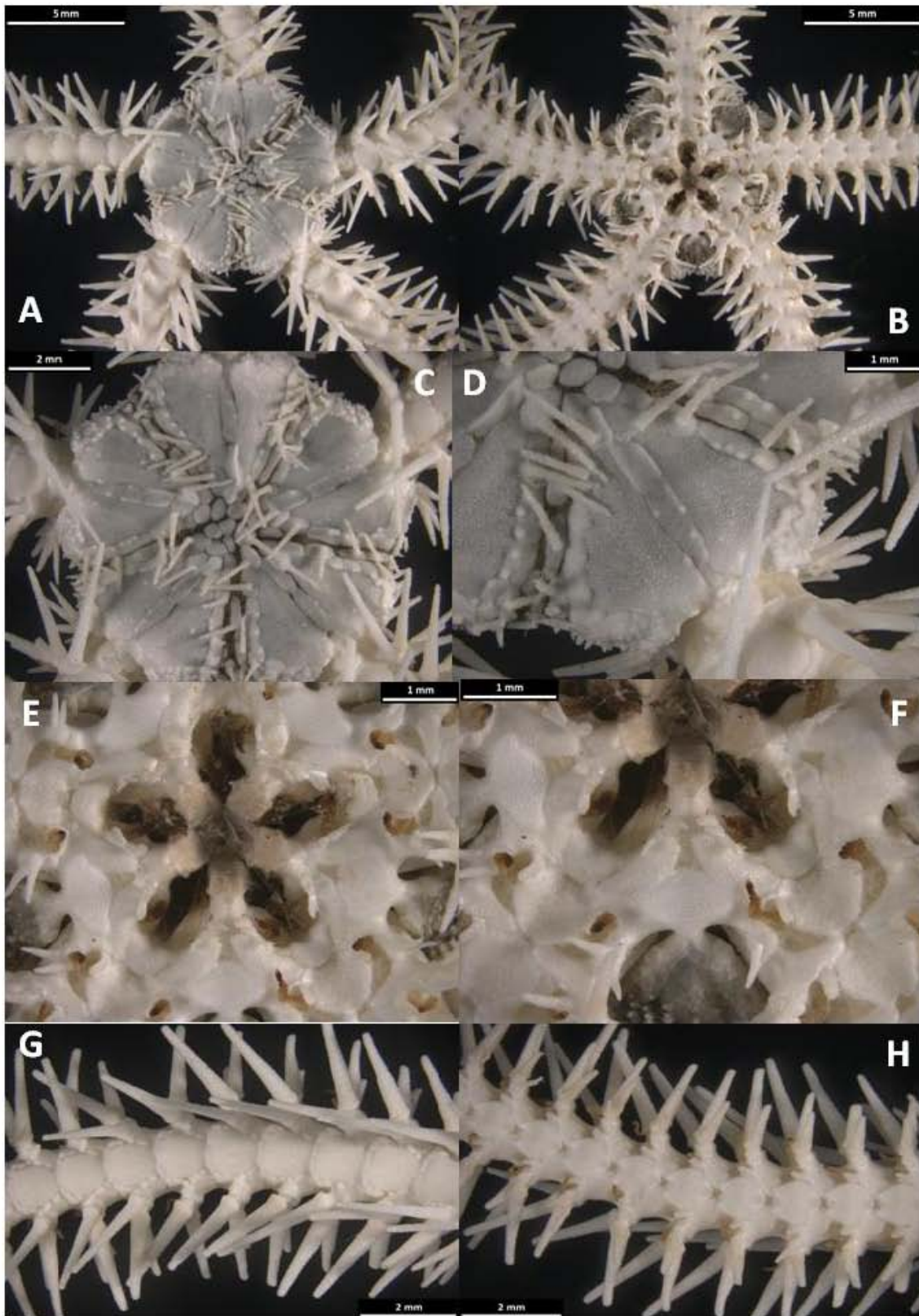
31.1F) es casi dos veces más ancha que la adradial, está curvada y su extremo proximal es romo, pero sobresale una cresta alargada. La placa dental (Figura 31.1 G) está formada por una sola pieza, tiene dos cuencas dentales, la primera es dos veces más grande que la segunda, en el extremo ventral no hay cuencas pero se forman delicadamente algunas estrías. Las placas orales son angostas, el área de fijación muscular de la placa abradial cubre casi la mitad de su superficie (Figura 31.1H), en el borde proximal se observa una serie de pequeñas hendiduras, cerca de éste, en el extremo ventral hay un surco profundo; el extremo distal tiene una cresta vertical delgada y continua, después aparece una serie de surcos y crestas. La placa adradial (Figura 31.1I) tiene una proyección circular y una cresta ovalada con una serie de hendiduras en el extremo distal, después se observa una línea delgada con espacios superficiales muy cerrados y otra proyección, más pequeña que la anterior. En el centro de la placa hay una cresta horizontal que forma un surco a cada lado, el extremo proximal es liso. Las placas dorsales son largas con bordes redondeados, el patrón de los espacios superficiales es simétrico con forma de estrella (Figura 31.1J), en la parte ventral (Figura 31.1K) tienen una hendidura que recorre toda la placa. Las placas ventrales son anchas con ligeros surcos en los extremos proximal y distal (Figura 31.1L), ventralmente hay una hendidura en el extremo proximal y una serie de crestas en forma de “X” recorren toda la placa (Figura 31.1M). Las placas laterales son más largas que anchas, hay una línea vertical, continua y lisa que recorre toda la placa y después aparecen las perforaciones de articulación de las espinas que son alargadas y profundas con bordes elevados y lisos (Figura 31.1N), internamente tienen una cresta ancha junto a un surco pequeño y profundo (Figura 31.1O). Cada placa tiene cinco o seis perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 31.1P). Las espinas son anchas y tienen pequeñas espinas a lo largo de todo el borde, además de dos cóndilos elevados. Las vértebras tienen amplias áreas de fijación muscular, la proximal (Figura 31.1R) tiene una cresta circular en el centro unida a otras dos crestas largas y lisas. La distal (Figura 31.1S) es larga y tiene una serie de crestas en el centro con forma de “T”.

**Localidad de recolecta:** Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.7273' N$ ,  $112^{\circ} 23.5738' W$ ;  $28^{\circ} 23.7204' N$ ,  $112^{\circ} 22.8530' W$ ;  $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$ ;  $28^{\circ} 23.7756' N$ ,  $112^{\circ} 22.7006' W$  y  $28^{\circ} 23.8595' N$ ,  $112^{\circ} 22.4360' W$ ).

**Distribución batimétrica:** De los 397 a los 1253 m [Lambert & Austin, 2007].

**Distribución geográfica:** Desde Alaska hasta Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.6603' N$ ,  $112^{\circ} 23.0863' W$ ).

**Material examinado:** 152 organismos.



**Fig. 31.** *Ophiopholis longispina* H.L. Clark, 1911. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las escamas y espinas; (D) Escudos radiales separados por escamas; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, papilas dentales y dientes; (F) Escudos oral y adoral; (G) Placas dorsales del brazo con placas accesorias; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas largas.

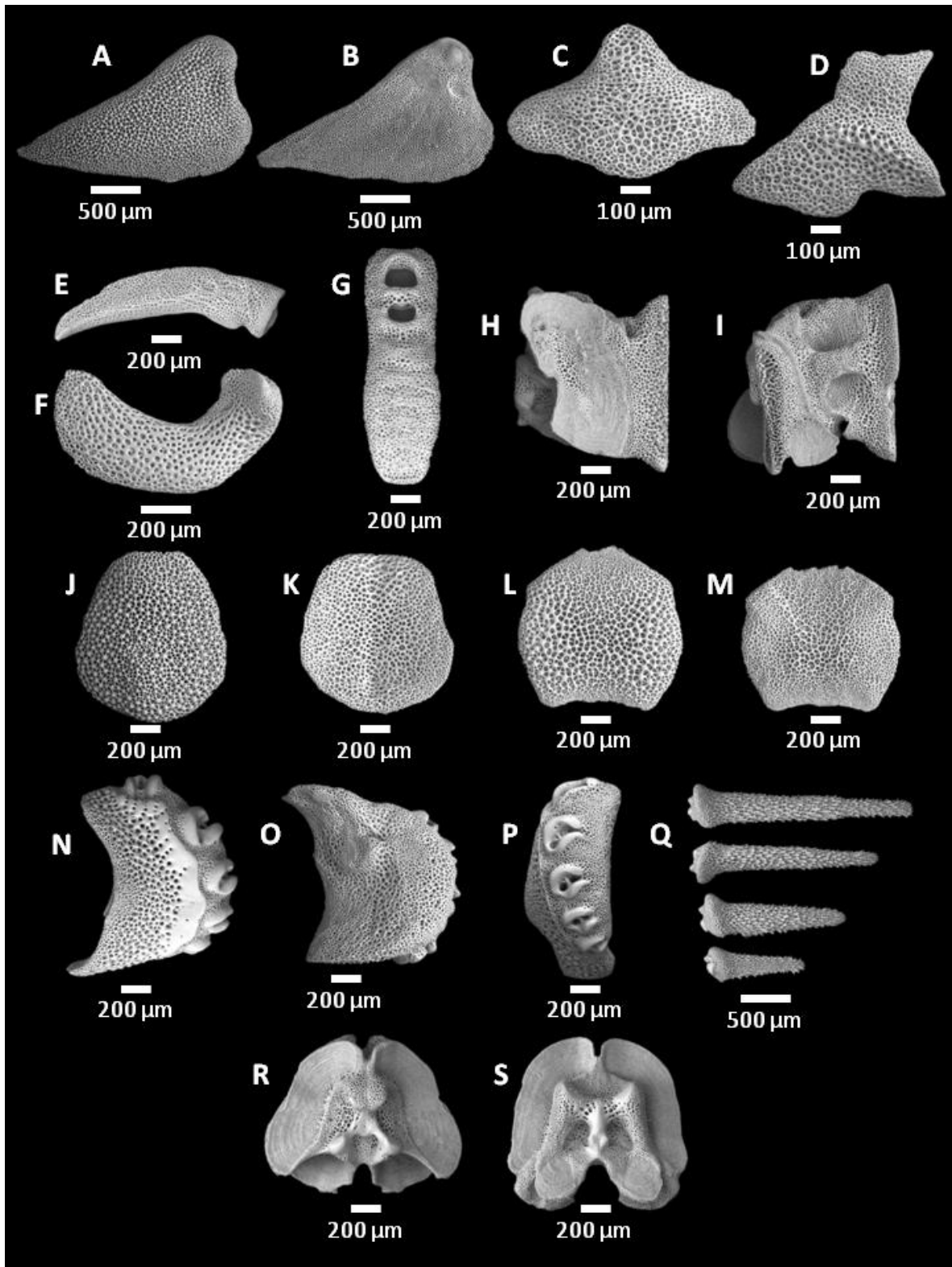


Fig. 31.1. *Ophiopholis longispina* H.L. Clark, 1911. (Microscopía electrónica de barrido). (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N-P) Placas laterales del brazo; (Q) Espinas; (R-S) Vértebras.

## Familia Amphiuridae

### *Amphiura* sp. A (Figura 32)

**Descripción:** Disco cubierto por escamas delgadas y espinas ásperas (Figura 32A). El disco presenta un gran surco entre cada par de escudos radiales (Figura 32C). Los escudos radiales son largos y se encuentran hinchados, cada par de escudos radiales constituye una estructura en forma de corazón (Figura 32D). El espacio interr radial está formado por escamas. Las placas dorsales son pequeñas e hinchadas con forma de campana, se encuentran completamente separadas por las placas laterales (Figura 32G). La parte ventral del disco está cubierta por gránulos traslúcidos y algunas espinas (Figura 32B). No se observan las hendiduras genitales. La mandíbula tiene una papila oral corta a cada lado, seguida de una papila apical y otra subapical (Figura 32E). El escudo oral es pequeño con forma triangular. Los escudos adorales son rectangulares y no se tocan entre sí (Figura 32F). Las placas ventrales son pentagonales, la primera se encuentra en la zona oral, tienen un par de poros tentaculares con una escama larga y afilada, seguida de una espina (Figura 32H). Las placas laterales son dos veces más largas que anchas y se reúnen en la parte dorsal y ventral. Cada una tiene tres o cuatro espinas traslúcidas, largas y afiladas (Figura 32G), las primeras se encuentran curvadas hacia el disco.

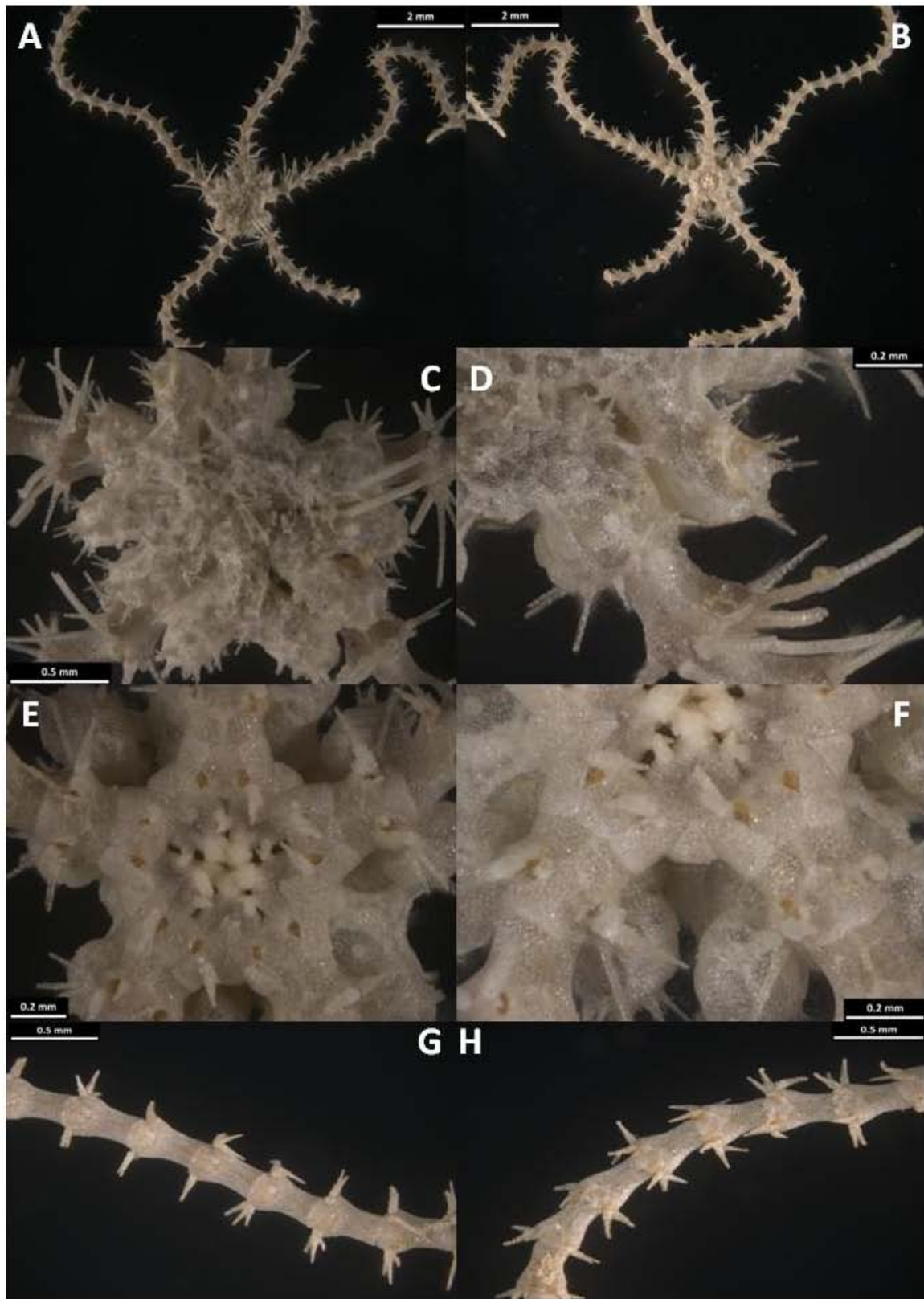
**Localidades de recolecta:** Isla San Pedro Mártir Sur (28° 22.0569' N, 112° 19.8470' W) e Isla San Pedro Mártir Norte (28° 23.8736' N, 112° 21.9132' W).

**Distribución batimétrica:** De los 278 a los 378 m.

**Distribución geográfica:** Isla San Pedro Mártir (28° 23.8736' N, 112° 21.9132' W y 28° 22.0569' N, 112° 19.8470' W).

**Material examinado:** Cinco organismos.





**Fig. 32. *Amphiura* sp. A.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas oral, apical y subapical; (F) Escudos oral y adoral; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.

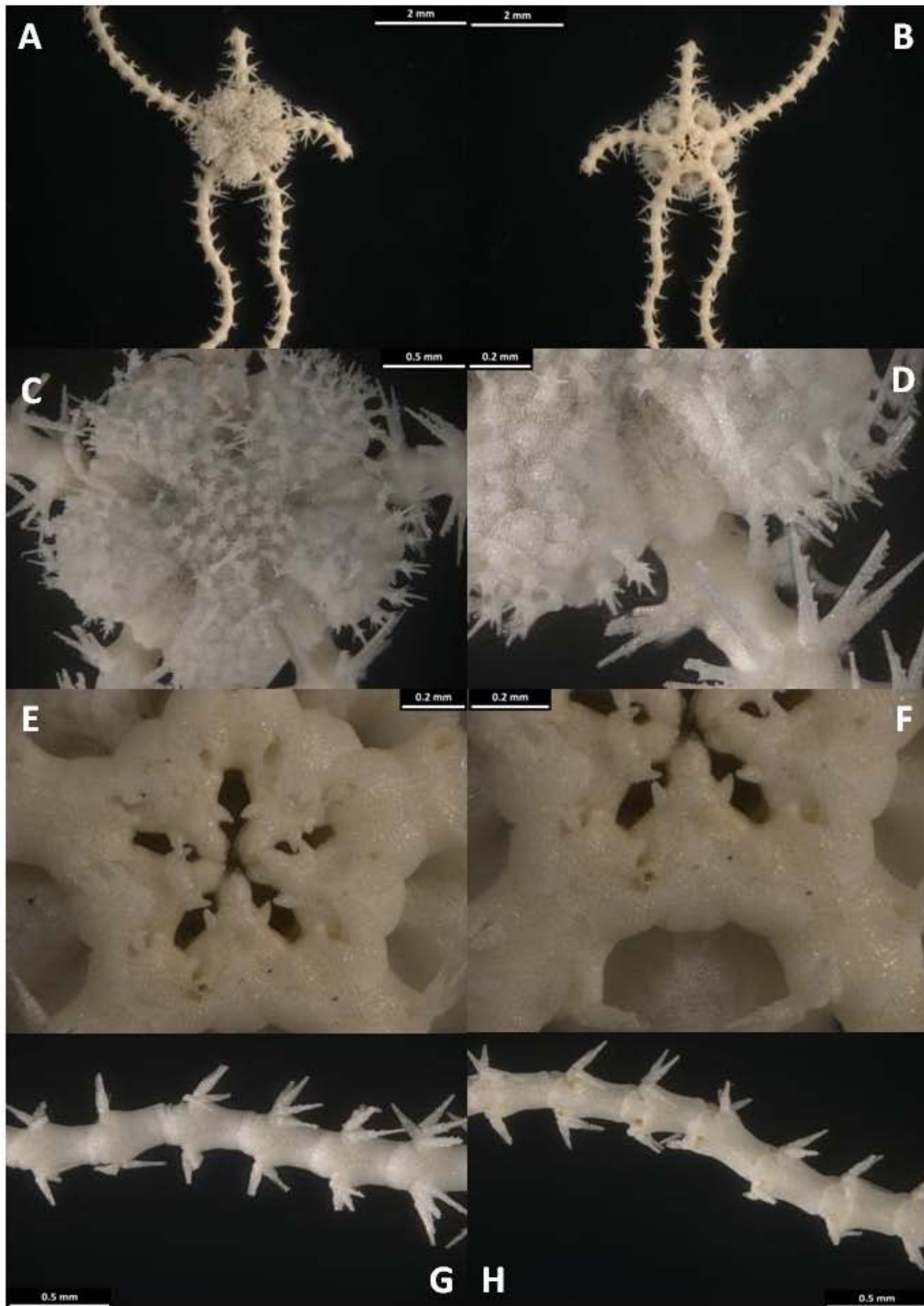
***Amphiura* sp. B**  
**(Figura 33)**

**Descripción:** Disco con cinco lóbulos hinchados (Figura 33A), cubierto por escamas y espinas con tres, cuatro o cinco puntas (Figura 33C). Escudos radiales desnudos, son tres veces más largos que anchos, están en contacto tanto en la parte proximal como distal (Figura 33D). El espacio interr radial está cubierto por espinas. Las placas dorsales son pequeñas y están hinchadas, el borde proximal es puntiagudo y el distal redondeado. Están separadas por las placas laterales (Figura 33G). La parte ventral del disco está cubierta por escamas traslúcidas (Figura 33B). No se observan las hendiduras genitales. La mandíbula tiene una papila oral corta a cada lado, seguida de una papila apical y otra subapical (Figura 33E). El escudo oral es pequeño con forma triangular. Los escudos adorales tienen forma de cuña (Figura 33F). Las placas ventrales son cuadrangulares y están separadas por las placas laterales (Figura 33H). Las placas laterales son largas y se reúnen tanto dorsal como ventralmente. Una escama tentacular redondeada en cada poro. Hay cuatro espinas largas y afiladas en cada placa lateral (Figura 33G).

**Localidades de recolecta:** Cabo Pulmo (23° 25.1957'N, 109 21.3404'W)

**Profundidad:** 1204 m.

**Material examinado:** Tres organismos.



**Fig. 33. *Amphiura* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco; (D) Escudos radiales desnudos; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales, apical y subapical; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.



***Amphipholis* sp. A**  
(Figura 34)

**Descripción:** El organismo no presenta disco (el disco de los organismos de la familia Amphiuroidae es muy delicado, ya que es común que se encuentren a grandes profundidades. Si los organismos se sienten amenazados o bajo estrés, es común que desprendan el disco como un mecanismo de defensa, y éste crecerá nuevamente). Las placas dorsales son un poco más largas que anchas con forma de cúpula y están separadas por las placas laterales (Figura 34G). A cada lado de la mandíbula hay 3 papilas orales rectangulares, la primera es la más ancha, la segunda es la más pequeña y la tercera se encuentra en el área apical. Seguidas de una papila infradental gruesa y en forma de bloque (Figura 34E). El escudo oral es pequeño con forma de rombo con los bordes laterales redondeados. Los escudos adorales son dos veces más largos que anchos y están en contacto en el extremo proximal, que es más angosto que el distal (Figura 34F). Las placas ventrales tienen cinco lados, con el extremo proximal angular y el extremo distal cóncavo (Figura 34H). Presenta dos escamas tentaculares pequeñas y redondeadas. Las placas laterales del brazo se reúnen tanto en la parte dorsal como ventral. Cada una tiene cuatro espinas largas y sin filo (Figura 34G).

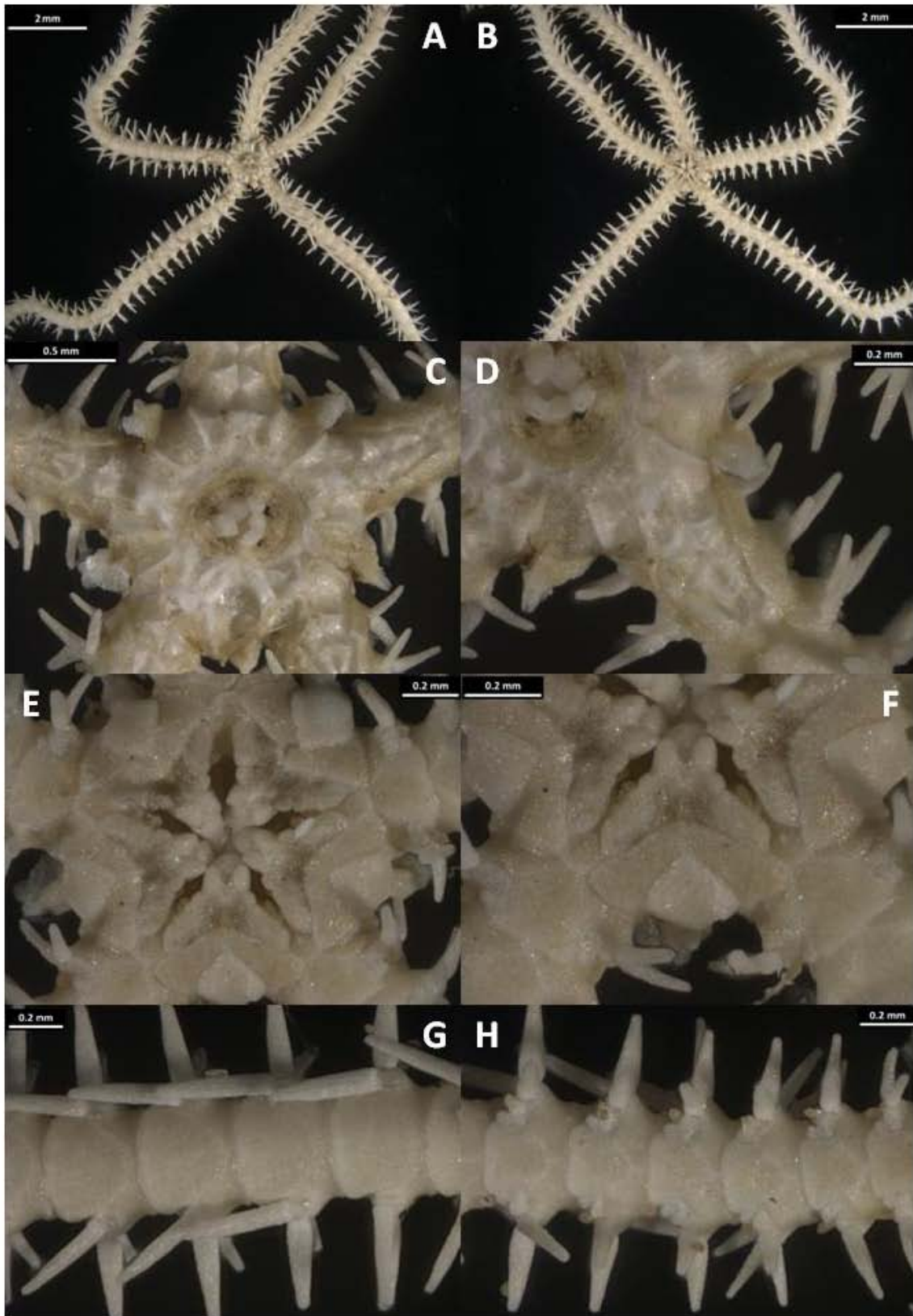
Tomado en cuenta las características diagnósticas (principalmente de la zona ventral) antes descritas, sugiero que estos organismos pertenecen al género *Amphipholis*.

**Localidades de recolecta:** Cuenca Sal Sipuedes (29° 4.0212'N, 113° 15.2917' W) e Isla San Pedro Mártir Norte (28° 23.7273'N, 112° 23.5738'W; 28° 23.7204' N, 112° 22.8530'W y 28° 23.6603'N, 112° 23.0863'W).

**Distribución batimétrica:** De los 217 a los 780 m.

**Distribución geográfica:** Desde Cuenca Sal Sipuedes (29° 4.0212'N, 113° 15.2917' W) hasta Isla San Pedro Mártir Norte (28° 23.6603'N, 112° 23.0863'W).

**Material examinado:** Cinco organismos.



**Fig. 34.** *Amphipholis* sp. A. (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Se observa la ausencia del disco; (D) Área de los escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales e infradental; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas.

***Amphipholis* sp. B**  
(Figuras 35, 35.1)

**Descripción:** El disco está cubierto por numerosas escamas redondeadas y superpuestas de diferentes tamaños (Figura 35A). Se observa una placa central primaria y alrededor de ella cinco o seis escamas redondeadas y de mayor tamaño que el resto de las escamas que cubren el disco (Figura 35C). Los escudos radiales son alargados, cubren casi la mitad del disco y están completamente unidos, excepto en la parte proximal donde se encuentran separados por una o dos escamas (Figura 35D). El espacio interr radial está cubierto por filas de escamas imbricadas. Las placas dorsales son casi tan largas como anchas, con los extremos proximal y distal redondeados. Se encuentran separadas por las placas laterales (Figura 35G). La parte ventral de disco presenta escamas superpuestas y redondeadas (Figura 35B). Las hendiduras genitales son largas y estrechas, se extienden desde los escudos orales hasta el margen del disco. La mandíbula tiene tres papilas orales a cada lado, la primera es la más ancha, la segunda es la más pequeña y la tercera se encuentra en la parte apical. Enseguida hay una papila infradental ancha y tres dientes cuadrangulares (Figura 35E). El escudo oral es ancho con forma de rombo, los bordes laterales se encuentran redondeados. Los escudos adorales son anchos en el extremo distal y angostos en el proximal, en éste último se encuentran unidos (Figura 35F). Las placas ventrales son tan anchas como largas con forma pentagonal, cada una tiene dos escamas tentaculares cortas y redondeadas (Figura 35H). Las placas laterales se reúnen dorsal y ventralmente. Cada placa lateral tiene tres espinas largas y cónicas (Figura 35G).

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son más largos que anchos con el borde delgado (Figura 35.1A), ventralmente tienen un cóndilo en el extremo distal, cerca del área de fijación muscular y hay varias líneas delgadas y lisas en la superficie (Figura 35.1B). El escudo oral es redondo, con una proyección en el extremo proximal y tiene una cresta en el centro que cubre todo el escudo (Figura 35.1C). El escudo adoral es más largo que ancho con forma casi triangular (Figura 35.1D). La placa genital adradial es recta y tienen un cóndilo elevado del doble de ancho que la placa en el extremo distal (Figura 35.1E). La placa dental (Figura 35.1F) está formada por una sola pieza, tiene cinco cuencas dentales de diferentes tamaños y forma irregular, las dos más cercanas al extremo ventral son grandes y perforan completamente la placa, la que se encuentra en el centro tiene cuatro perforaciones pequeñas que atraviesan la placa, las dos que se encuentran cerca del extremo dorsal son las más pequeñas y sólo la primera perfora la placa. Las placas orales son más largas que anchas, la placa abradial (Figura

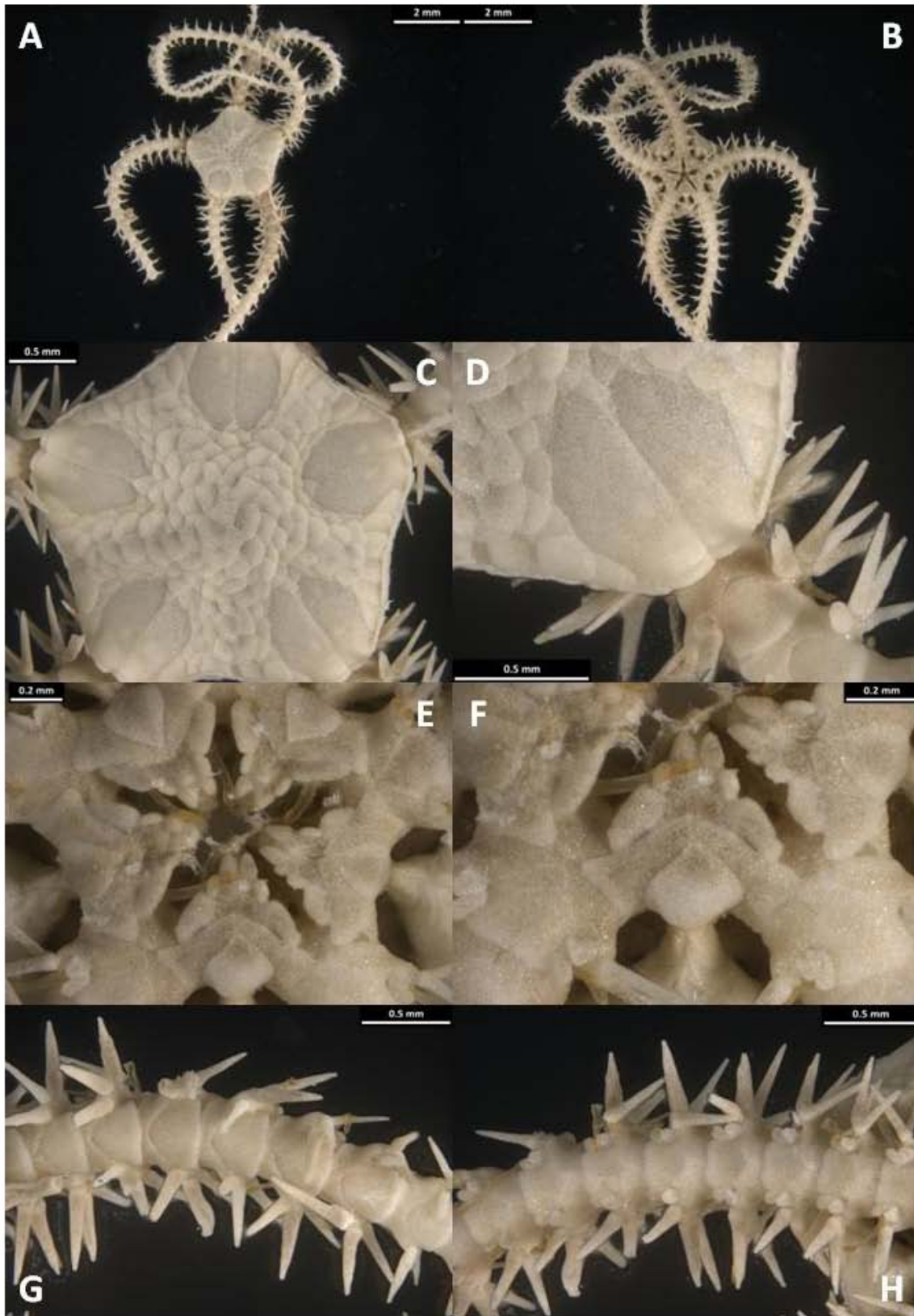
35.1G) tiene un amplia área de fijación muscular que cubre una tercera parte de la placa, el borde proximal tiene una serie de pequeñas hendiduras, hay un surco profundo cerca de la mitad de la placa en el extremo dorsal, el extremo distal está formado por una serie de surcos y crestas. La placa adradial (Figura 35.1H) tiene un borde proximal liso, hay una hendidura en centro de la placa y un surco profundo en el extremo ventral, en el extremo distal se forma una cresta ovalada con una serie de hendiduras junto a una pequeña área de fijación muscular. Las placas dorsales tienen forma de domo con espacios superficiales muy cerrados (Figura 35.1I), en la parte ventral hay un surco profundo en el centro de la placa (Figura 35.1J). Las placas ventrales son pentagonales con bordes laterales lisos (Figura 35.1K), ventralmente forman un surco profundo en el extremo proximal y hay una cresta en forma de “X” que recorre toda la placa (Figura 35.1L). Las placas laterales son más largas que anchas, las perforaciones de articulación para las placas son alargadas y profundas con borde liso y elevado (Figura 35.1M), internamente tienen una cresta casi vertical en el centro y una pequeña hendidura en el extremo distal (Figura 35.1N). Cada placa tiene tres o cuatro perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 35.1O). Las espinas (Figura 35.1P) son largas y anchas con espinas muy pequeñas a lo largo de todo el borde y un cóndilo elevado y liso. Las vértebras son anchas con un amplia área de fijación muscular, la proximal tiene cuatro crestas en el centro que la dividen (Figura 35.1Q). La vértebra dorsal tiene un surco profundo en el centro que la divide y dos crestas con proyecciones en el extremo proximal, en el extremo distal hay a cada lado una cresta horizontal y continua (Figura 35.1R).

**Localidades de recolecta:** Isla Tortuga Este ( $27^{\circ} 24.5350'N$ ,  $111^{\circ} 52.4258'W$  y  $27^{\circ} 24.1105'N$ ,  $111^{\circ} 52.3600'W$ ); Isla San Pedro Mártir Sur ( $28^{\circ} 21.2931' N$ ,  $112^{\circ} 20.7840'W$  y  $28^{\circ} 21.7021'N$ ,  $112^{\circ} 20.3471'W$ ); Cuenca Sal Sipuedes ( $29^{\circ} 4.0212'N$ ,  $113^{\circ} 15.2917'W$ ) e Isla San Pedro Mártir Norte ( $28^{\circ} 23.7320' N$ ,  $112^{\circ} 22.7345'W$ ;  $28^{\circ} 23.7273'N$ ,  $112^{\circ} 23.5738'W$ ;  $28^{\circ} 23.7204'N$ ,  $112^{\circ} 22.8530'W$ ;  $28^{\circ} 23.6603'N$ ,  $112^{\circ} 23.0863'W$ ;  $28^{\circ} 23.8736'N$ ,  $112^{\circ} 21.9132'W$  y  $28^{\circ} 23.6612'N$ ,  $112^{\circ} 23.1220'W$ ).

**Distribución batimétrica:** De 217 a los 918 m.

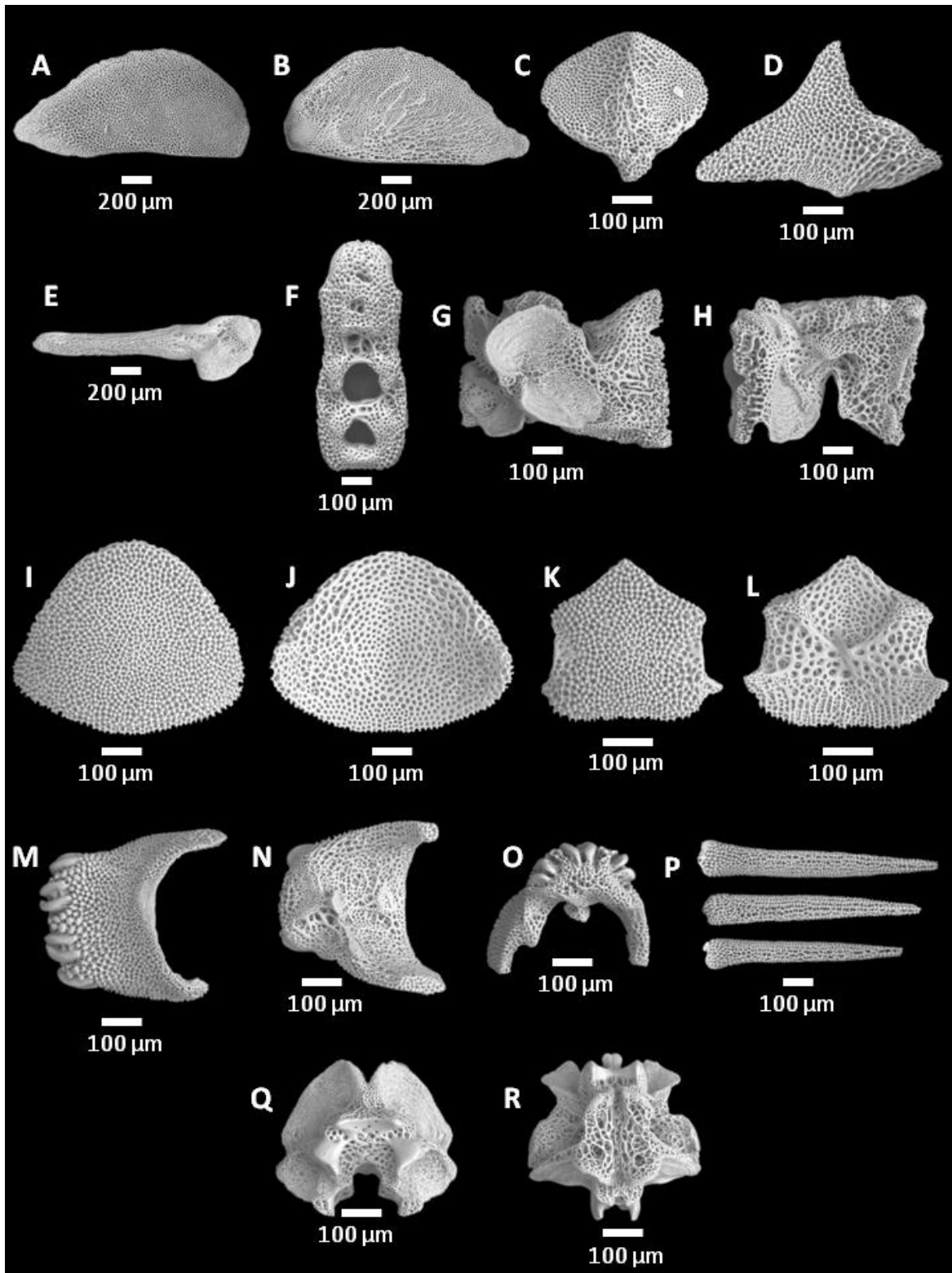
**Distribución geográfica:** Desde Cuenca Sal Sipuedes ( $29^{\circ} 4.0212'N$ ,  $113^{\circ} 15.2917'W$ ), hasta Isla Tortuga Este ( $24.1105'N$ ,  $111^{\circ} 52.3600'W$ ).

**Material examinado:** 300 organismos.



**Fig. 35. *Amphipholis* sp. B.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las escamas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas orales e infradental; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escamas tentaculares y espinas.





**Fig. 35.1. *Amphipholis* sp. B. (Microscopía electrónica de barrido).** (A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa dental; (G) Placa oral abradial; (H) Placa oral adradial; (I) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (J) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (K) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (L) Placa ventral del brazo, vista ventral; (M-O) Placas laterales del brazo; (P) Espinas; (Q-R) Vértebras.

***Ophiothrix galapagensis* Lütken & Mortensen, 1899**  
**(Figuras 36, 36.1)**

**Descripción:** El disco está cubierto en el centro por escamas redondas, entre cada escudo radial hay una fila de escamas alargadas (Figura 36A). Todas están cubiertas por espinas aserradas, las que están en el centro del disco son más largas (Figura 36C). Los escudos radiales son largos y triangulares con los contornos curvados, se reúnen en el centro del disco. El borde distal de cada escudo radial se eleva como una protuberancia y sobresale del disco (Figura 36D). El interrradio está cubierto por escamas redondeadas y sobre cada una hay una espina corta y afilada. La primera placa dorsal es pequeña con forma triangular, las demás son tan anchas como largas con forma de rombo, algunas presentan el borde proximal recto, y están en contacto unas con otras (Figura 36G). El disco está ventralmente desnudo (Figura 36B), solamente se observa en el margen una banda de escamas con espinas cortas que son parte del interrradio. Las hendiduras genitales son anchas y llegan hasta la parte central del escudo oral. La mandíbula presenta de 17 a 18 papilas dentales, seguidas de tres dientes delgados (Figura 36E). El escudo oral es un poco más largo que ancho con forma triangular, el borde proximal es puntiagudo y el distal redondeado. Los escudos adorales tienen forma de coma (,) (Figura 36F). La primera placa ventral es larga y rectangular, las demás tienen forma octagonal y están en contacto unas con otras (Figura 36H). Una escama tentacular, excepto en los primeros dos pares de poros. Las placas laterales del brazo son anchas, entre cada placa se observan espacios desnudos. Cada placa lateral tiene cinco espinas largas, traslúcidas y aserradas (Figura 36G) que aumentan de tamaño hacia la parte dorsal. Cerca de la placa 50 la espina central tiene forma de gancho.

**Estructuras internas:** Los escudos radiales son triangulares (Figura 36.1A) con espacios superficiales muy cerrados, en la parte ventral (Figura 36.1B) hay un cóndilo elevado en el extremo distal, debajo de éste se observa el área de fijación muscular y una línea delgada que recorre transversalmente el escudo. El escudo oral (Figura 36.1C) tiene forma de rombo, se observa una cresta en el extremo proximal y dos más en los bordes laterales, hay una hendidura en el extremo distal. El escudo adoral (Figura 36.1D) es ancho, tiene dos rebordes en el extremo distal y el borde proximal es estrecho. La placa genital adradial (Figura 36.1E) tiene un cóndilo en el extremo distal, después hay un reborde pequeño y se forma una cresta que recorre toda la placa, el borde del extremo proximal es romo. La placa genital abradial es ancha (Figura 36.1F), tiene dos cóndilos elevados en el extremo distal, los bordes son ligeramente ondulados y delgados, el extremo proximal es redondeado. La placa dental (Figura 36.1G) está formada por una



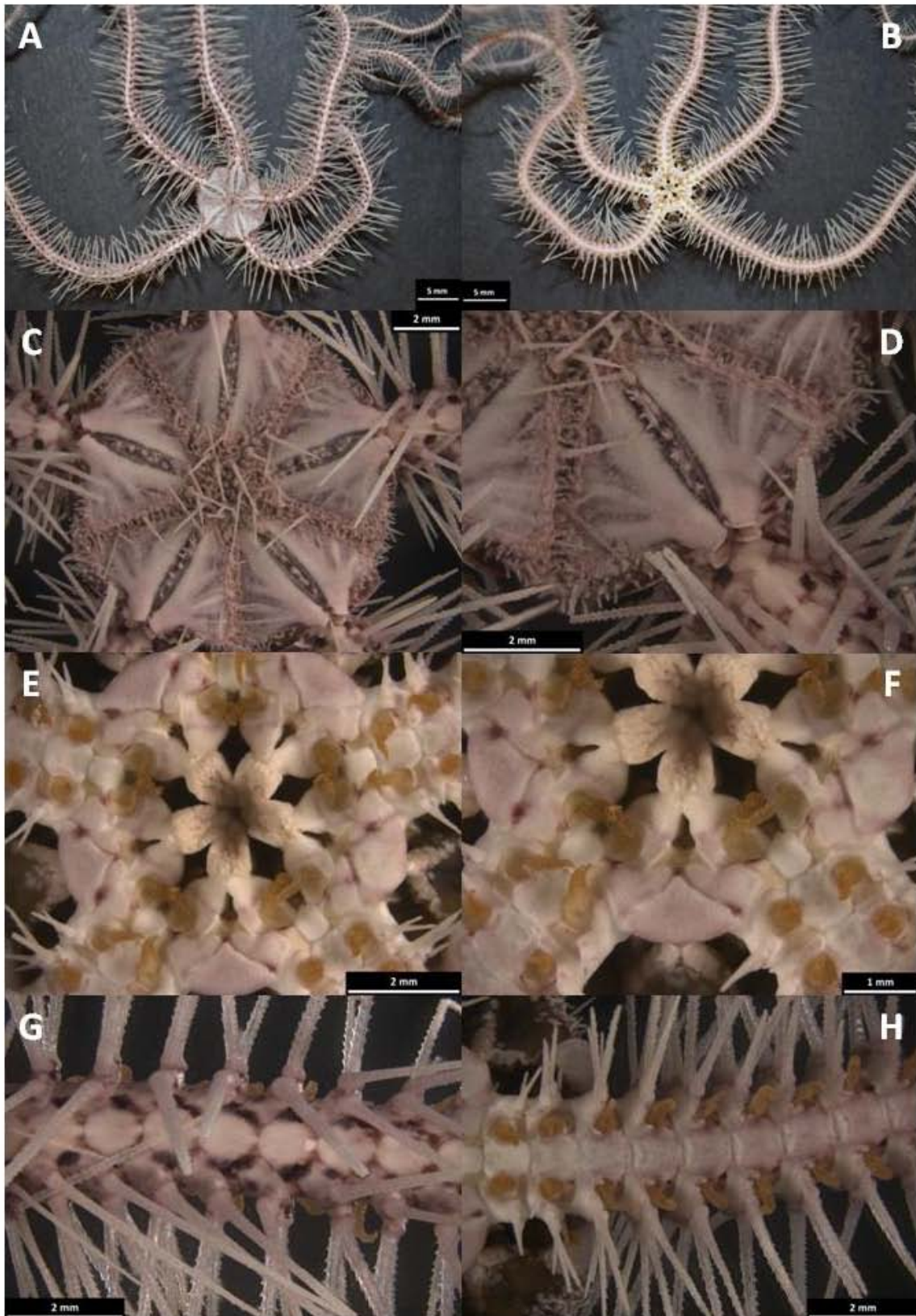
sola pieza, tiene cuatro pares de cuencas dentales en el extremo dorsal, el primer par es el de mayor tamaño y todas perforan la placa. En el extremo ventral hay cinco pares de cuencas pequeñas y redondas, bien definidas éstas sólo se encuentran en los bordes. Las placas orales son anchas, la placa abradial (Figura 36.1H) tiene el borde proximal liso y en el extremo ventral hay un surco profundo, el área de fijación muscular cubre más de la mitad de la placa. La placa adradial (Figura 36.1I) tiene una cresta en la parte central que forma un surco a cada lado, el extremo proximal es liso y en el extremo distal hay una cresta que cruza transversalmente la placa, a cada lado se encuentran áreas de fijación muscular. Las placas dorsales tienen forma de rombo (Figura 36.1J) con una cresta en la parte central que recorre toda la placa, el borde distal es romo y el proximal redondeado, ventralmente (Figura 36.1K) tienen un surco ancho y profundo que cruza toda la placa. Las placas ventrales son pentagonales y están constreñidas en el centro (Figura 36.1L), cerca del extremo distal se forma una proyección de cada lado. La parte ventral (Figura 36.1M) tiene un surco profundo que abarca la mitad del ancho de la placa. Las placas laterales son largas y anchas, tienen una cresta en la parte central, las perforaciones donde se articulan las espinas son anchas y redondas con un borde elevado liso (Figura 36.1O), internamente son lisas y sólo hay un pequeño cóndilo en el extremo proximal (Figura 36.1P). Cada placa tiene cinco perforaciones donde se articulan las espinas (Figura 36.1Q). Las espinas son largas y delgadas (Figura 36.1N), tienen pequeñas espinas afiladas en el borde, separadas entre sí, y un cóndilo elevado. La vértebra proximal (Figura 36.1R) tiene amplias áreas de fijación muscular, en la parte central se forma una serie de crestas y en el extremo proximal tiene una proyección. La vértebra dorsal (Figura 36.1S) es alargada con una cresta bien definida en el centro y en el extremo distal tiene una quilla larga y delgada.

**Localidad de recolecta:** Isla Tortuga Este (27° 24.9045' N, 111° 52.4608' W).

**Distribución batimétrica:** De 0 a los 549 m [Maluf, 1988].

**Distribución geográfica:** Desde Isla Ángel de la Guarda, Baja California Norte (29° 30' N, 113° W) hasta las Islas Galápagos [Maluf, 1988; Laguarda-Figureas *et al.*, 2009].

**Material examinado:** 11 organismos.



**Fig. 36. *Ophiothrix galapagensis* Lütken & Mortensen, 1899.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observan las espinas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas dentales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.

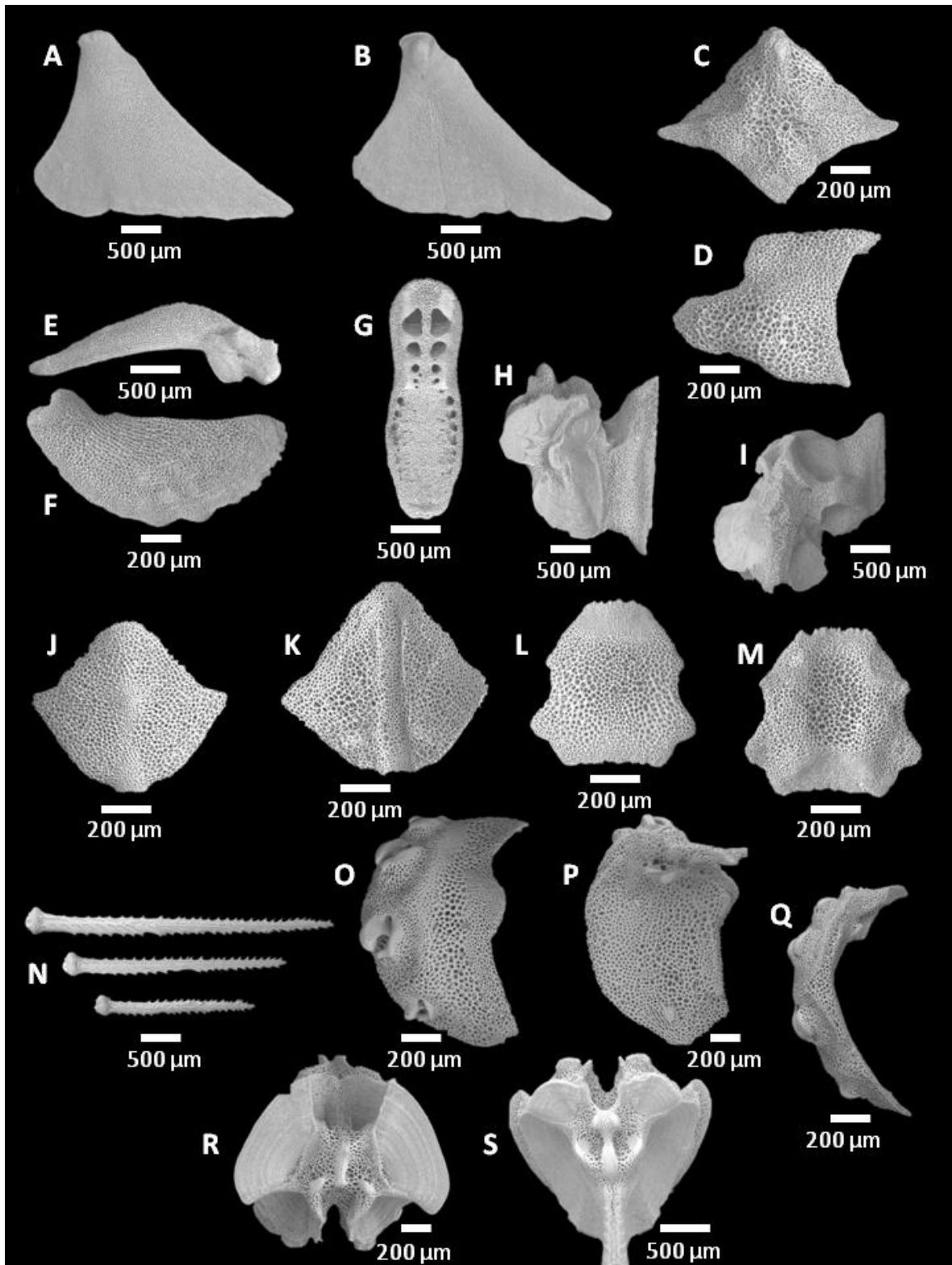


Fig. 36.1. *Ophiothrix galapagensis* Lütken & Mortensen, 1899. (Microscopía electrónica de barrido).

(A) Escudo radial, vista dorsal; (B) Escudo radial, vista ventral; (C) Escudo oral; (D) Escudo adoral; (E) Placa genital adradial; (F) Placa genital abradial; (G) Placa dental; (H) Placa oral abradial; (I) Placa oral adradial; (J) Placa dorsal del brazo, vista dorsal; (K) Placa dorsal del brazo, vista ventral; (L) Placa ventral del brazo, vista dorsal; (M) Placa ventral del brazo, vista ventral; (N) Espinas; (O-Q) Placas laterales del brazo; (R-S) Vértebras.

***Ophiothrix* sp.**  
**(Figura 37)**

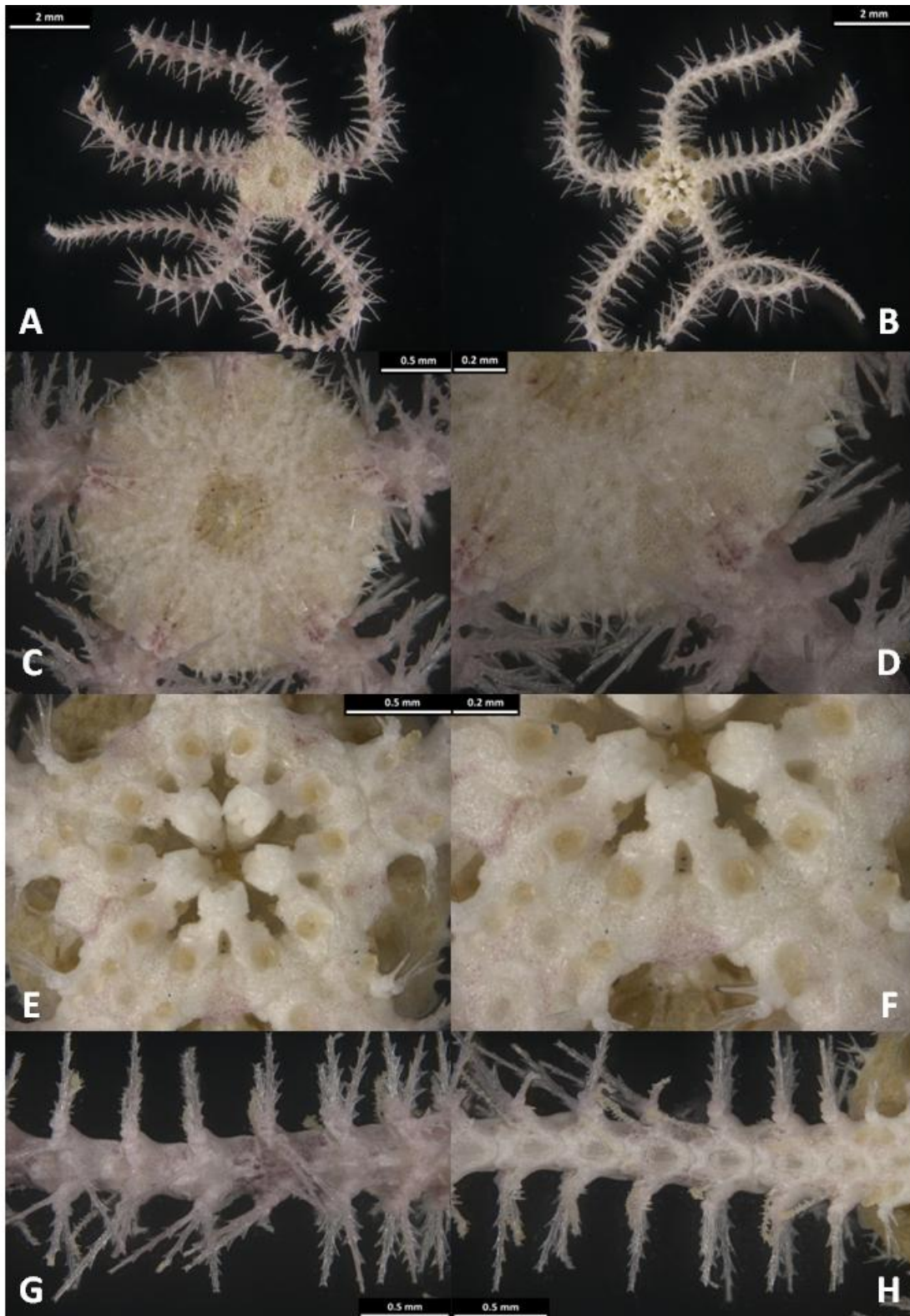
**Descripción:** El disco está cubierto por espinas cortas bífidas y algunas trífidas (Figura 37A). En el centro se observan cinco espinas bífidas formando un círculo y alrededor se forma un anillo de piel desnuda, seguido de espinas que cubren todo el disco, excepto en los escudos radiales (Figura 37C). Los escudos radiales son dos veces más largos que anchos con forma triangular. El borde distal de cada escudo radial se eleva como una protuberancia y sobresale del disco (Figura 37D). El espacio interr radial está cubierto principalmente por piel y algunas espinas. Las placas dorsales son más anchas que largas con el borde distal redondeado, están hinchadas y se encuentran separadas por las placas laterales (Figura 37G). La parte ventral del disco está cubierta por piel desnuda (Figura 37B). Las hendiduras genitales son cortas y estrechas que inician en la parte distal del escudo oral. La mandíbula tiene de siete a ocho papilas dentales, seguidas de dos dientes anchos y cuadrangulares (Figura 37E). El escudo oral tiene forma de rombo. Los escudos adorales son más largos que anchos con forma de coma (,) (Figura 37F). Las placas ventrales son alargadas con el borde proximal recto y el distal presenta una concavidad en el centro, están en contacto unas con otras (Figura 37H). El primer par de poros tentaculares no presenta escama, a partir del segundo hay una escama delgada y afilada. Las placas laterales del brazo son largas y sólo se reúnen en la parte dorsal. Cada placa lateral tiene tres o cuatro espinas largas, traslúcidas y aserradas (Figura 37G). Los segmentos distales del brazo presentan garfios.

**Localidad de recolecta:** Cuenca Sal Sipuedes (29° 4.0212'N, 113° 15.2917'W).

**Profundidad:** 217 m.

**Material examinado:** Un organismo.





**Fig. 37. *Ophiothrix* sp.** (A) Vista dorsal; (B) Vista ventral; (C) Acercamiento del disco, se observa el arreglo de las espinas; (D) Escudos radiales; (E) Detalle de las mandíbulas, se observan las papilas dentales; (F) Escudos oral y adorales; (G) Placas dorsales del brazo con espinas; (H) Placas ventrales del brazo, escama tentacular y espinas.

## 8.2 Especies recolectadas por cuenca

Se elaboró un mapa por cada cuenca donde se observó la ocurrencia de las especies de ofiuroides en función de los lugares donde se realizó la recolecta de muestras. En Isla Tortuga Este de recolectaron nueve especies diferentes (Figura 38), en Cabo Pulmo ocho especies (Figura 39), en Cuenca Sal Sipuedes e Isla San Pedro Mártir Norte siete especies (Figuras 40 y 41 respectivamente), cinco especies en Isla Cerralvo (Figura 42), cuatro especies en Isla San Pedro Mártir Sur (Figura 43) y en Isla Tortuga Sur dos especies (Figura 44).

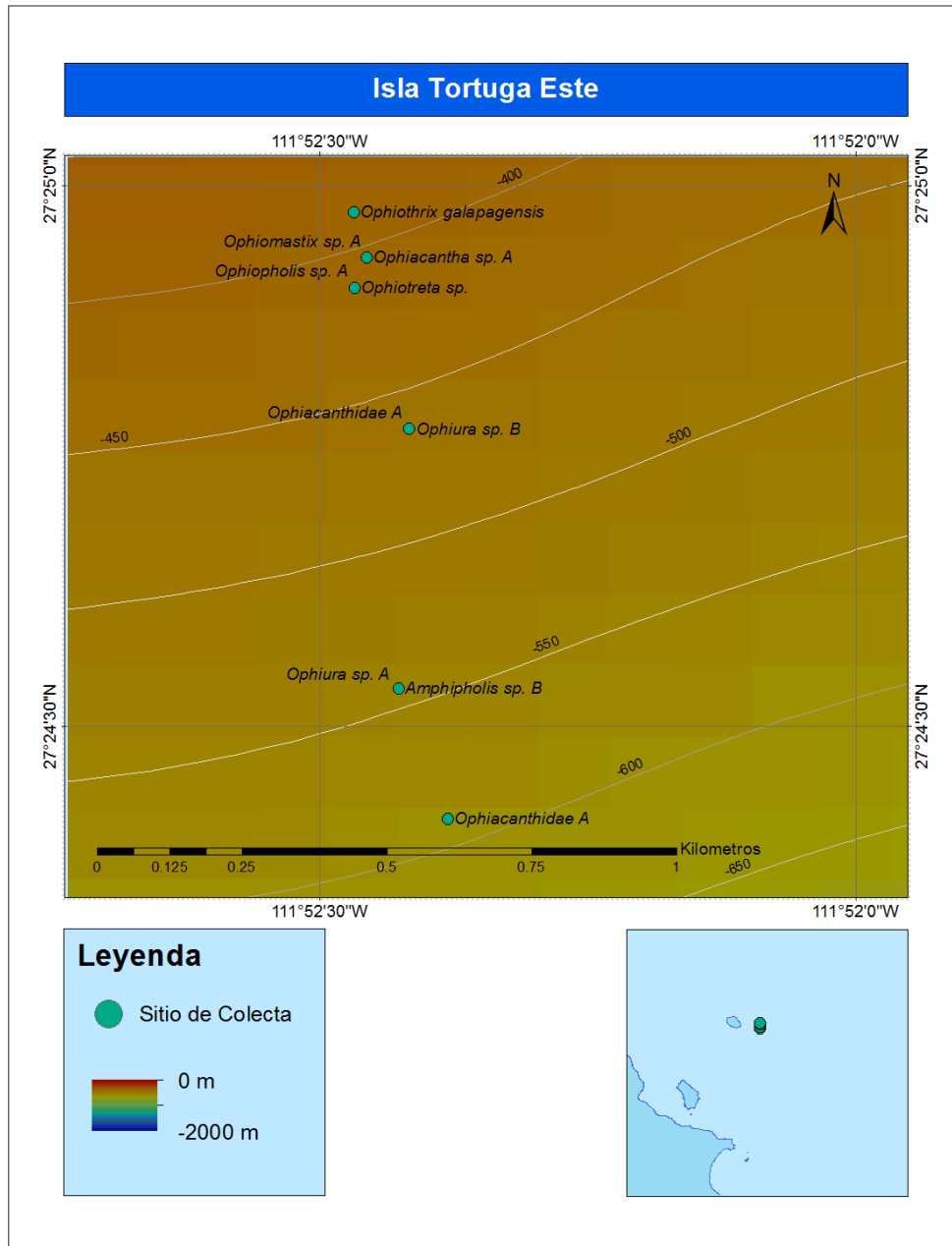


Fig. 38. Mapa de especies recolectadas en Isla Tortuga Este.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

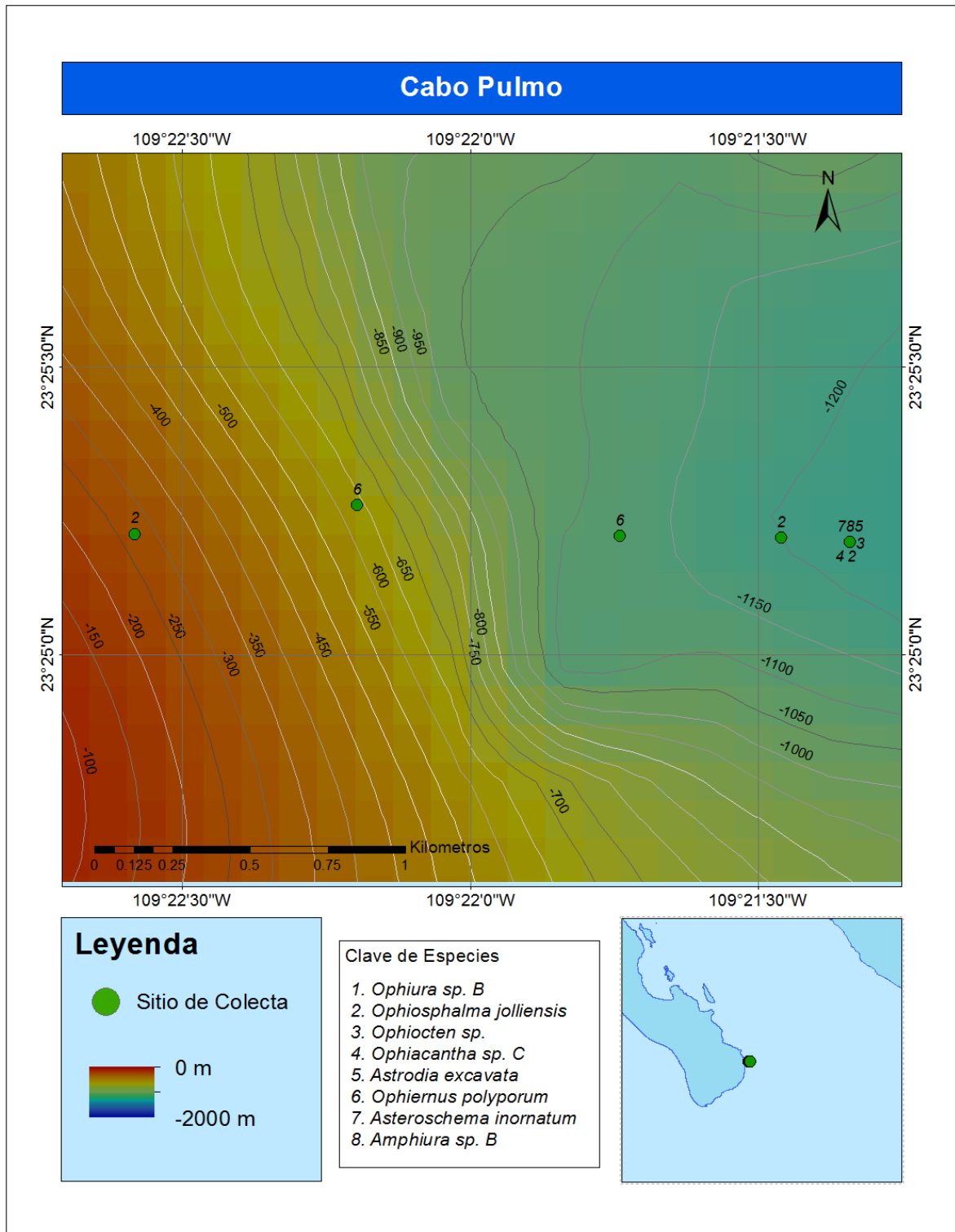


Fig. 39. Mapa de especies recolectadas en Cabo Pulmo.



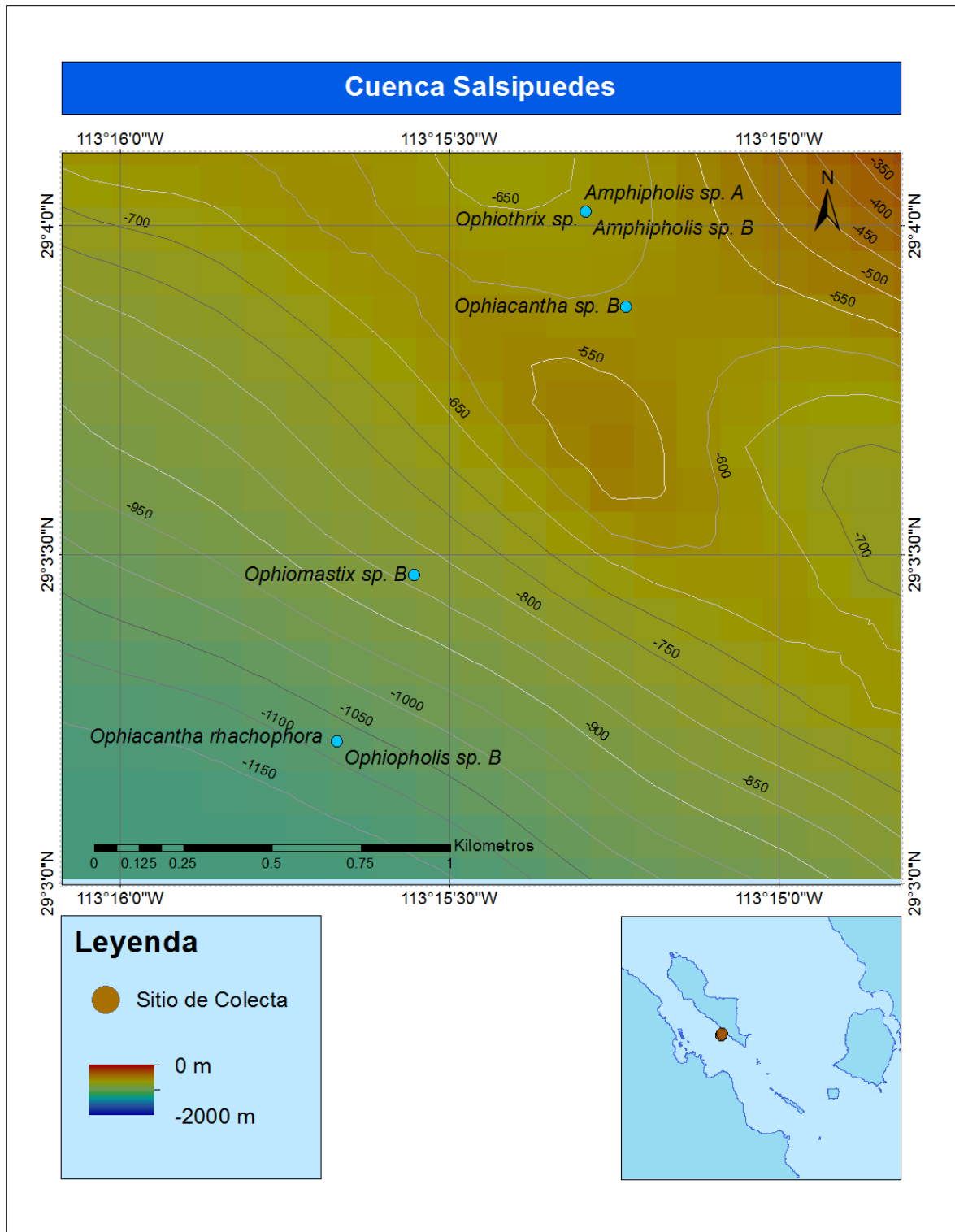


Fig. 40. Mapa de especies recolectadas en Cuenca Sal Sipedes.

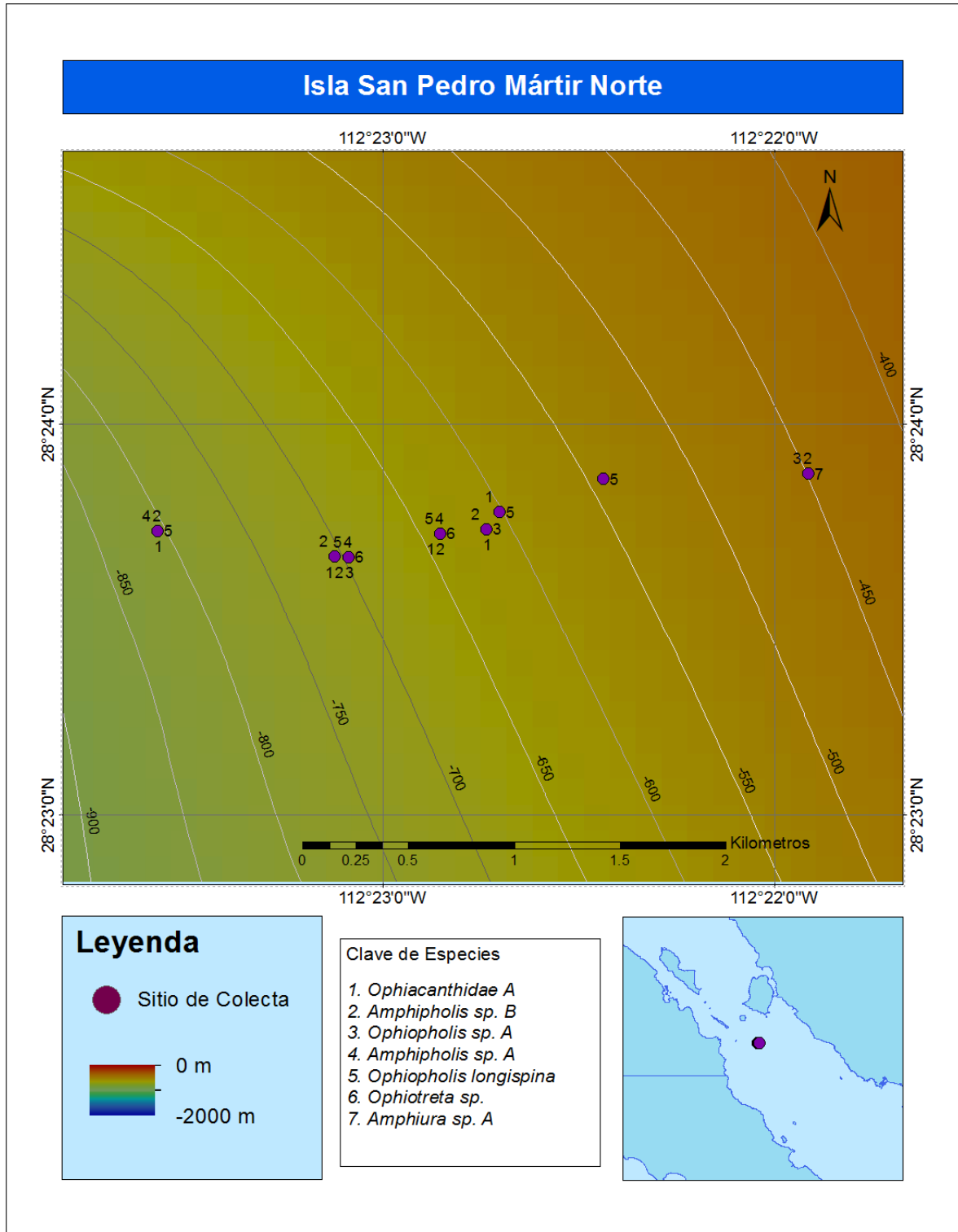


Fig. 41. Mapa de especies recolectadas en Isla San Pedro Mártir Norte.

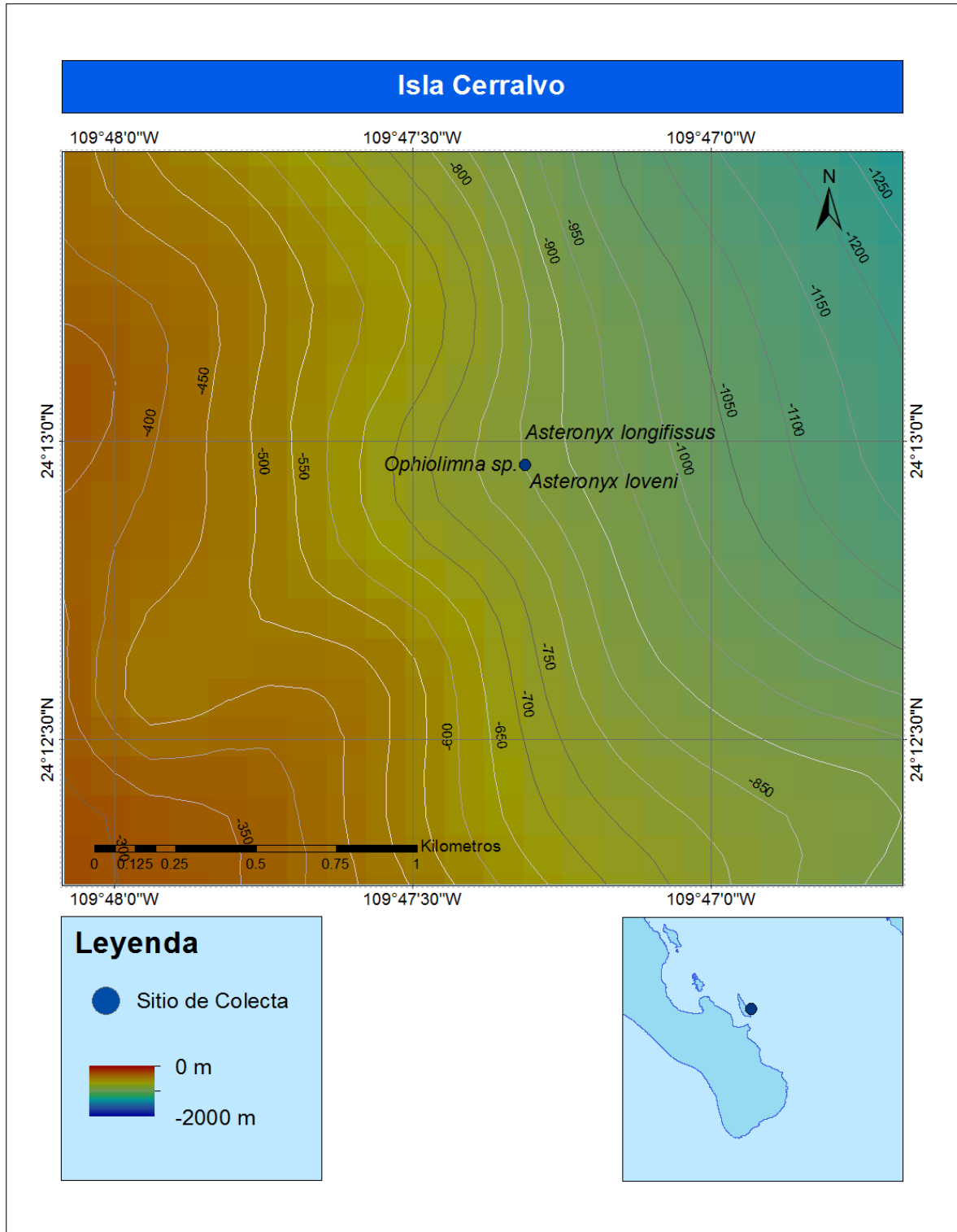


Fig. 42. Mapa de especies recolectadas en Isla Cerralvo.

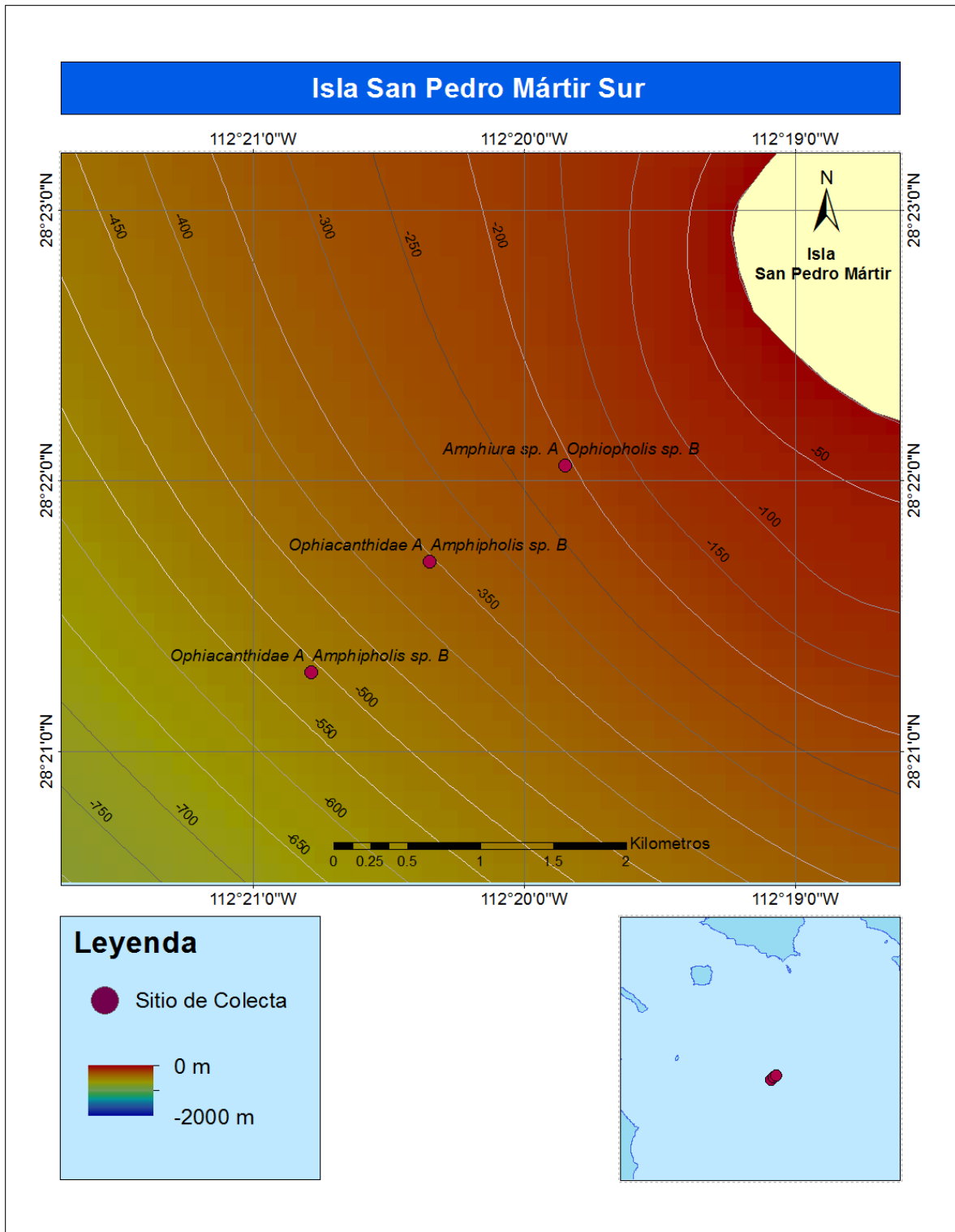


Fig. 43. Mapa de especies recolectadas en Isla San Pedro Mártir Sur.

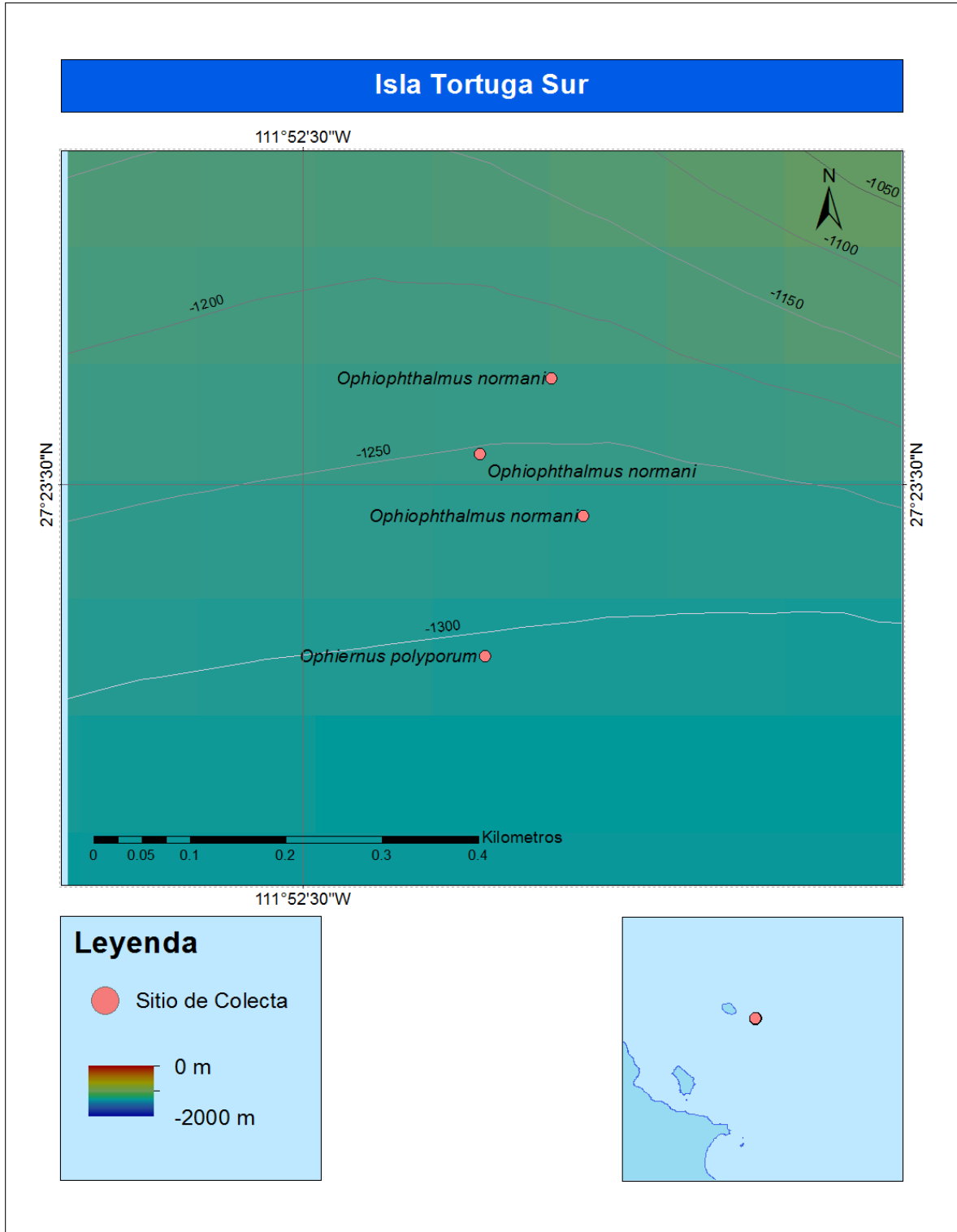


Fig. 44. Mapa de especies recolectadas en Isla Tortuga Sur.

### 8.3 Identificación de hábitats

Con el análisis de cuadros y vídeos se reconocieron un total de 11 hábitats diferentes para las cinco cuencas que conforman el área de estudio, caracterizados por el tipo de sustrato y/o la asociación biológica (Tabla 17).

**Tabla 17.** Hábitats de ofiuroideos identificados en las cuencas hipóxicas del Golfo de California.

Tipo de sustrato		Asociación biológica	Identificación
<b>Duro</b>	Roca		<b>1Dr</b>
	Roca	Tunicado	<b>1Dt</b>
	Roca	Esponja	<b>1De</b>
	Roca	Coral	<b>1Dc</b>
	Roca	Pluma de mar	<b>1Dp</b>
	Roca	Sabellidae (poliqueto)	<b>1Ds</b>
<b>Blando</b>	Limo-Arcilla		<b>2BLa</b>
	Arena		<b>2Ba</b>
	Limo-Arcilla	<i>Brisaster townsendi</i>	<b>2BBt</b>
	Limo-Arcilla	Tunicado	<b>2Bt</b>
	Limo-Arcilla	Sabellidae (poliqueto)	<b>2Bs</b>

En Isla Tortuga Sur se identificaron cuatro hábitats diferentes (Tabla 18), en Isla Tortuga Este cinco hábitats (Tabla 19), en Isla San Pedro Mártir Sur dos hábitats (Tabla 20), en Cuenca Sal Sipuedes dos hábitats (Tabla 21), en Isla San Pedro Mártir Norte siete hábitats (Tabla 22), en Isla Cerralvo cinco hábitats (Tabla 23) y en Cabo Pulmo cuatro hábitats (Tabla 24).

**Tabla 18.** Hábitats identificados en Isla Tortuga S y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Ophiophthalmus normani</i>
2BBt	Blando	<i>Ophiophthalmus normani</i>
2Bt	Blando	<i>Ophiophthalmus normani</i>
2BLa	Blando	<i>Ophiophthalmus normani</i> y <i>Ophiernus polyporum</i>

**Tabla 19.** Hábitats identificados en Isla Tortuga E y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Ophiura</i> sp. A, <i>Ophiura</i> sp. B, <i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiacanthidae</i> sp. A, <i>Ophiothrix galapagensis</i> , <i>Ophiacantha</i> sp. A, <i>Ophiopholis</i> sp. A y <i>Ophiotreta</i> sp.
1De	Duro	<i>Amphipholis</i> sp. B y <i>Ophiacanthidae</i> sp. A
1Ds	Duro	<i>Ophiacanthidae</i> sp. A
2BLa	Blando	<i>Ophiura</i> sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. B y <i>Ophiopholis</i> sp. A
2Ba	Blando	<i>Ophiacantha</i> sp. A, <i>Ophiomastix</i> sp. A y <i>Ophiothrix galapagensis</i>



**Tabla 20.** Hábitats identificados en Isla San Pedro Mártir S y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	Ophiacanthidae sp. A y <i>Amphipholis</i> sp. B
1De	Duro	Ophiacanthidae sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiopholis</i> sp. B y <i>Amphiura</i> sp. A

**Tabla 21.** Hábitats identificados en Cuenca Sal Sipuedes y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Ophiopholis</i> sp. B, <i>Ophiomastix</i> sp. B, <i>Ophicantha</i> sp. B, <i>Amphipholis</i> sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. B y <i>Ophiothrix</i> sp.
1De	Duro	<i>Ophiopholis</i> sp. B y <i>Ophicantha rhachophora</i> ,

**Tabla 22.** Hábitats identificados en Isla San Pedro Mártir N y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Amphipholis</i> sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiacanthidae</i> sp. A, <i>Ophiopholis longispina</i> , <i>Ophiopholis</i> sp. A, <i>Ophiotreta</i> sp. y <i>Amphiura</i> sp. A
1Dc	Duro	<i>Ophiopholis longispina</i>
1Dt	Duro	<i>Amphipholis</i> sp. B
1De	Duro	<i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiacanthidae</i> sp. A, <i>Ophiopholis longispina</i> y <i>Ophiotreta</i> sp.
1Ds	Duro	<i>Ophiopholis longispina</i>
2BLa	Blando	<i>Amphipholis</i> sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiacanthidae</i> sp. A y <i>Ophiotreta</i> sp.
2Bs	Blando	<i>Ophiacanthidae</i> sp. A

**Tabla 23.** Hábitats identificados en Isla Cerralvo y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Ophiolimna</i> sp.
1De	Duro	<i>Ophiacanthidae</i> sp. A y <i>Ophiolimna</i> sp.
1Dp	Duro	<i>Asteronix loveni</i> y <i>Asteronix longiffisus</i>
2BLa	Blando	<i>Ophiernus polyporum</i>

**Tabla 24.** Hábitats identificados en Cabo Pulmo y especies presentes en cada uno.

Hábitat	Tipo de sustrato	Especies
1Dr	Duro	<i>Ophiura</i> sp. B, <i>Ophiocten</i> sp., <i>Ophiacantha</i> sp. C y <i>Amphiura</i> sp. B
1De	Duro	<i>Ophiacantha</i> sp. C
1Dc	Duro	<i>Astrodia excavata</i> y <i>Asteroschema inornatum</i>
2BLa	Blando	<i>Ophiernus polyporum</i> y <i>Ophiosphlama jolliensis</i>

## Guía fotográfica de hábitats identificados

### Hábitats con sustrato duro



Fig. 45. Hábitat 1Dr. Ophiacanthidae sp. A, Isla Tortuga Este, profundidad 538.72 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



Fig. 46. Hábitat 1Dr. *Ophiothrix galapagensis*, Isla Tortuga Este, profundidad 237.22 m.



OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

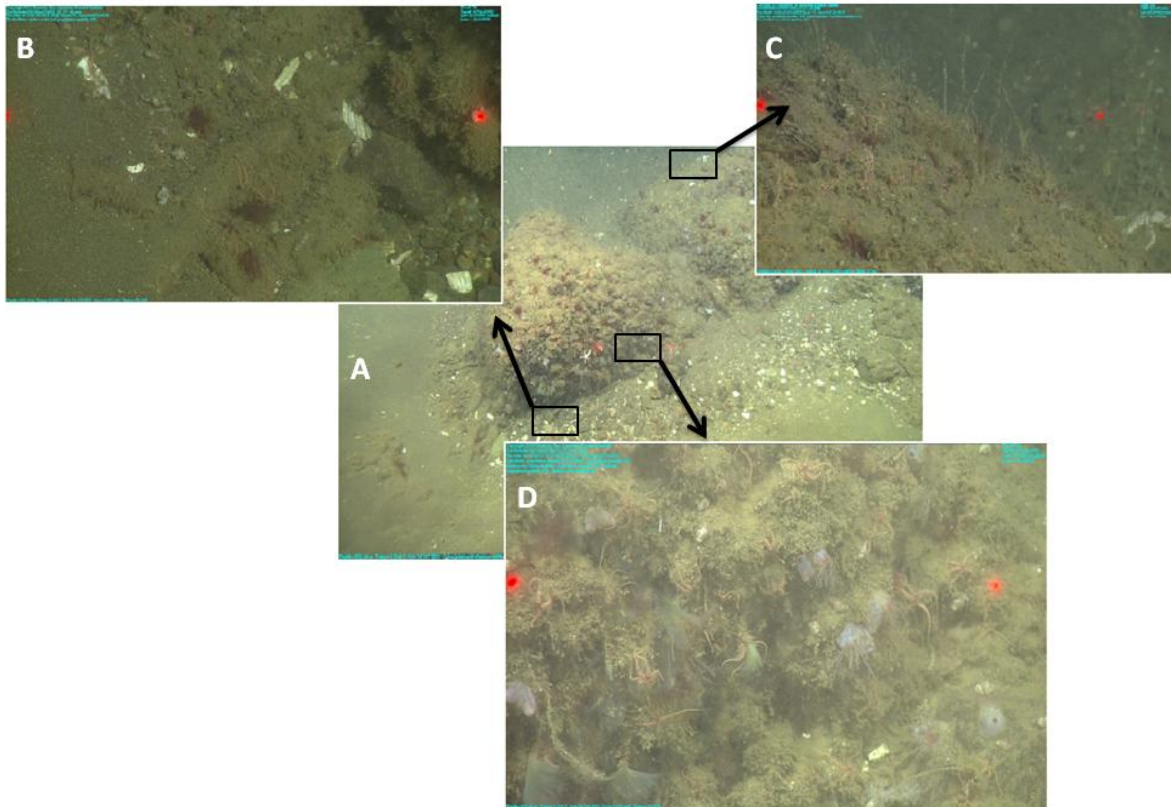
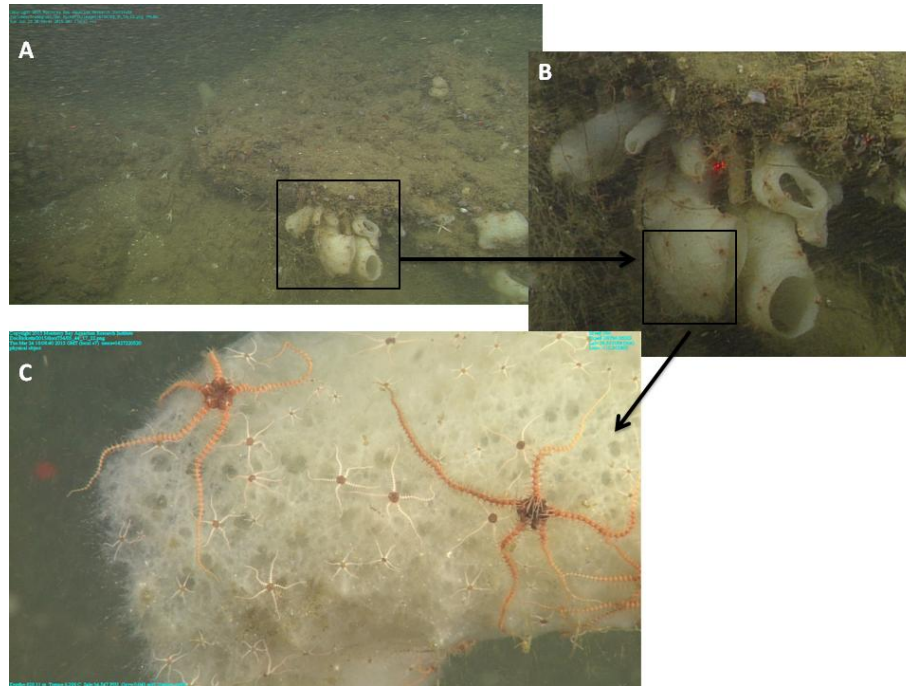


Fig. 47. Hábitat 1Dr. Mosaico de imágenes (A) Vista general de la roca, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 902.46 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca se observan las especies *Ophiacanthidae* sp. A y *Amphipholis* sp. B.

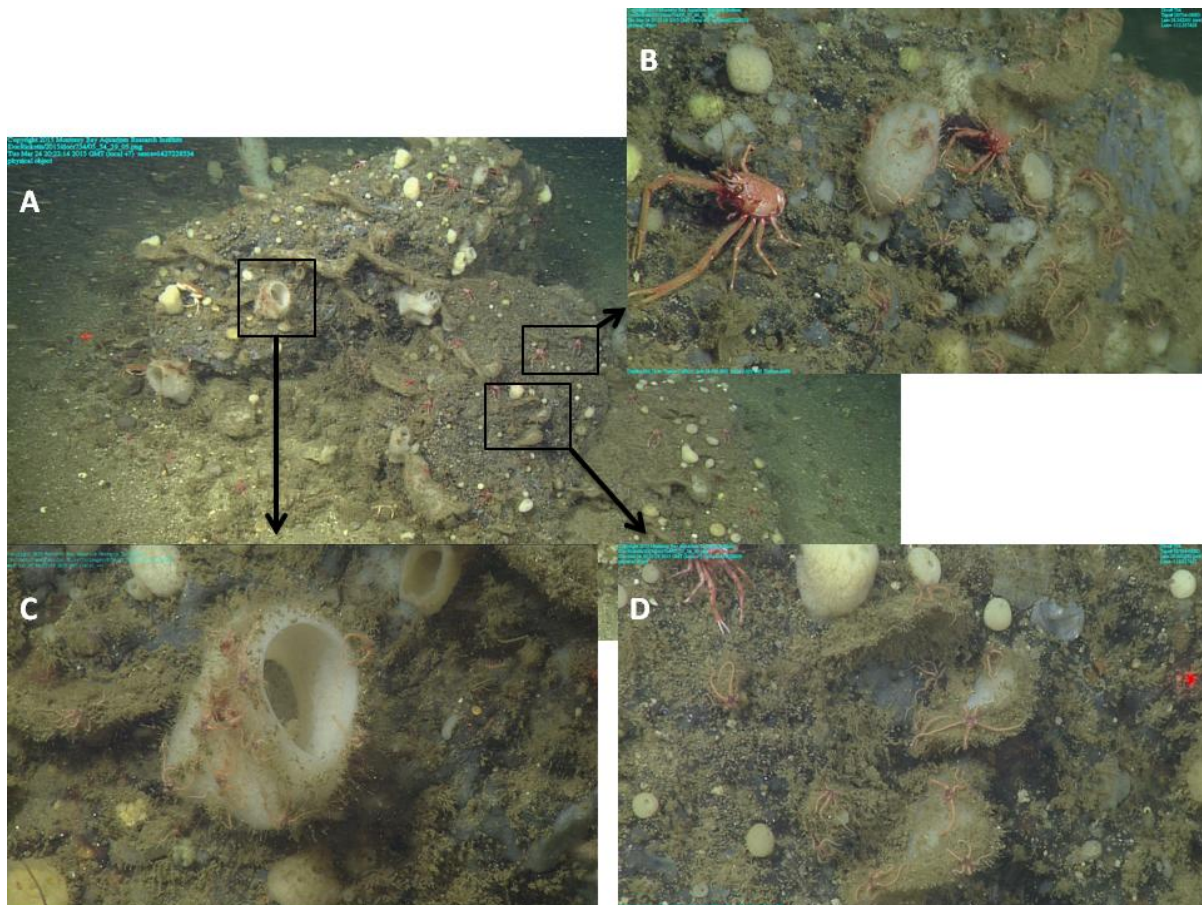


Fig. 48. Hábitat 1Dt. *Amphipholis* sp. B, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 781.15 m.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS



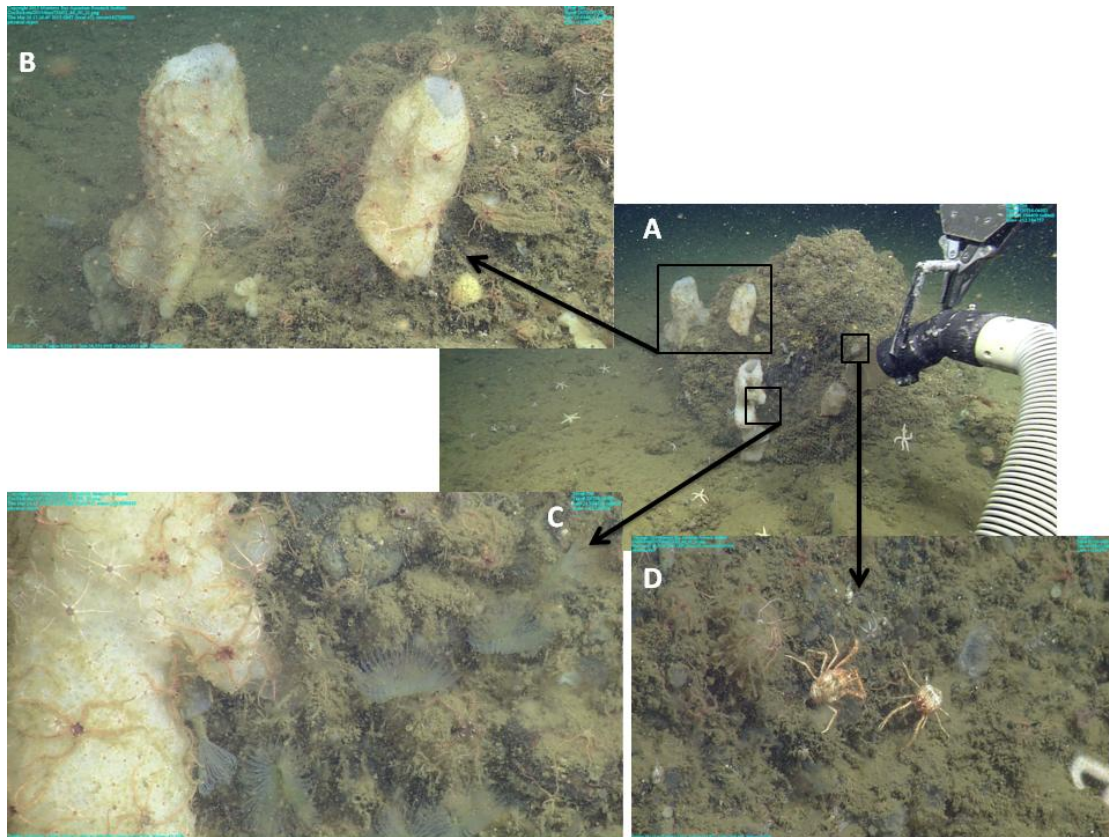
**Fig. 49. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de la esponja adherida a una roca, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 828.22 m; (B) Acercamiento de la esponja; (C) Acercamiento a la esponja y especies asociadas, se observa *Ophiacanthidae* sp. A y *Amphipholis* sp. B.



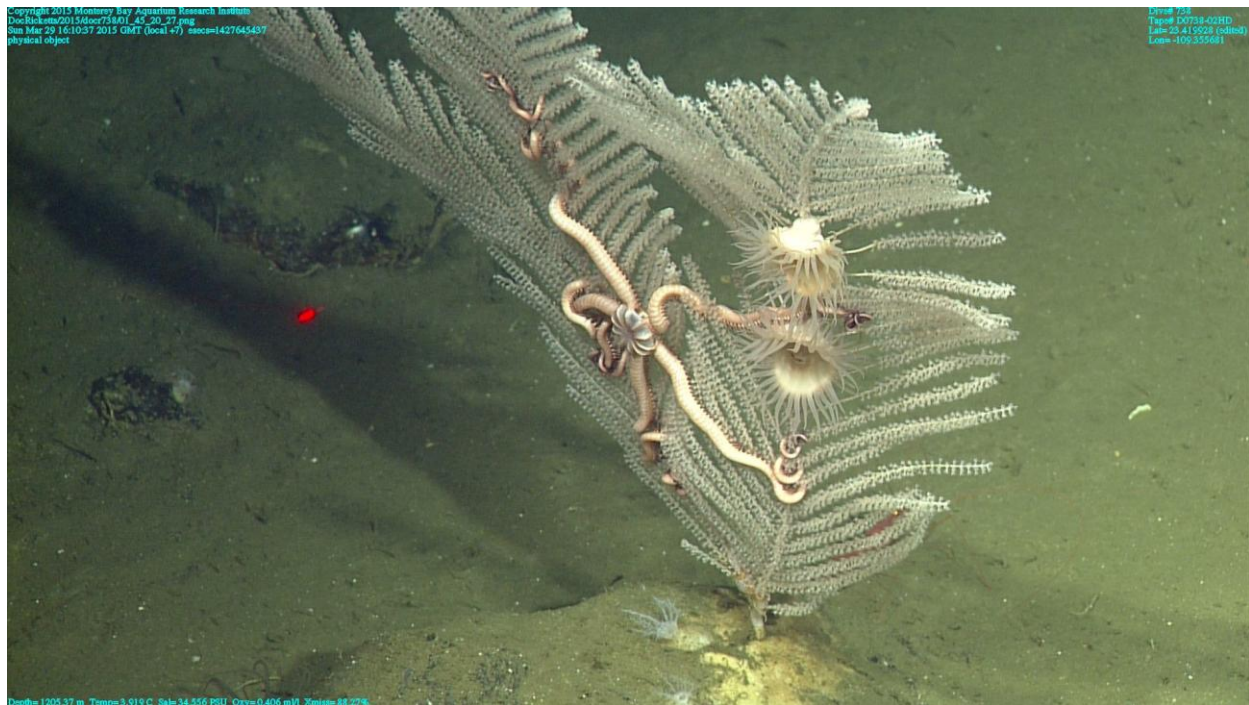
**Fig. 50. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de una roca con diferentes especies de esponjas adheridas a ella, Isla San Pedro Mártir Sur, profundidad 610.39 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca con esponjas, se observa *Ophiacanthidae* sp. A y *Amphipholis* sp. B.



OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA



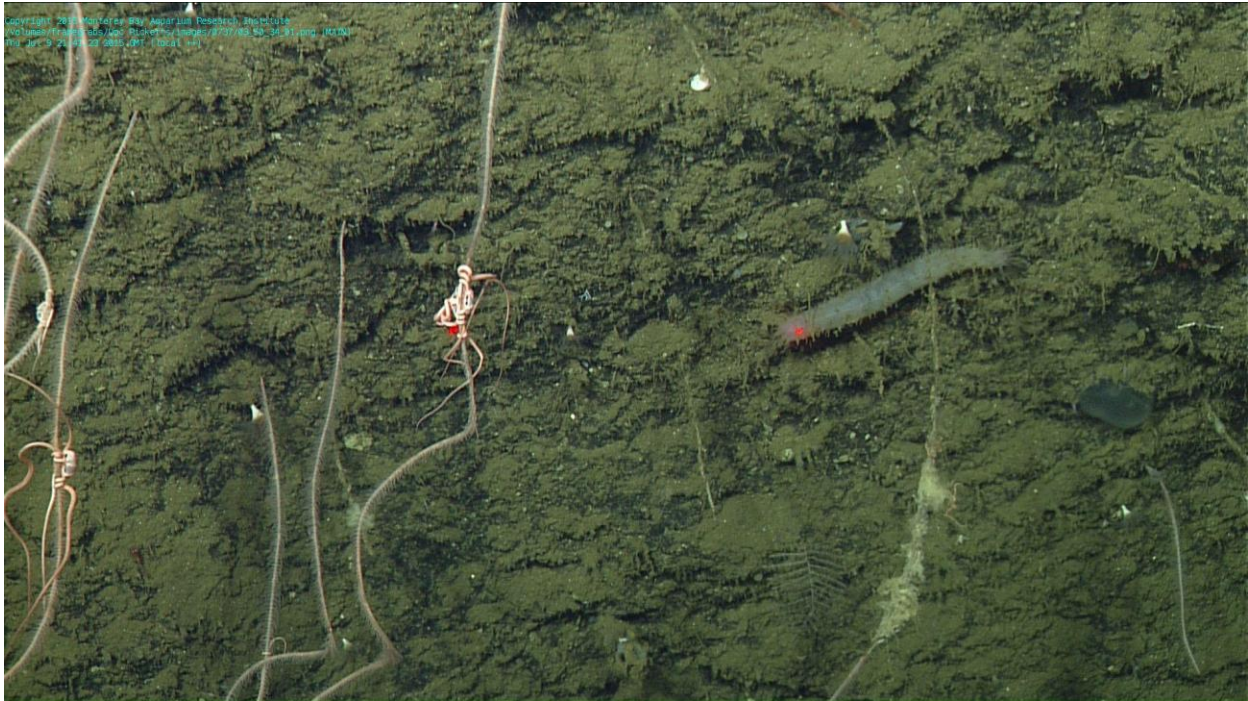
**Fig. 51. Hábitat 1De.** Mosaico de imágenes (A) Vista general de una roca con diferentes especies de esponjas adheridas a ella, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 781.15 m; (B, C, D) Acercamientos de diferentes partes de la roca con esponjas, se observa *Ophiacanthidae* sp. A y *Amphipholis* sp. B.



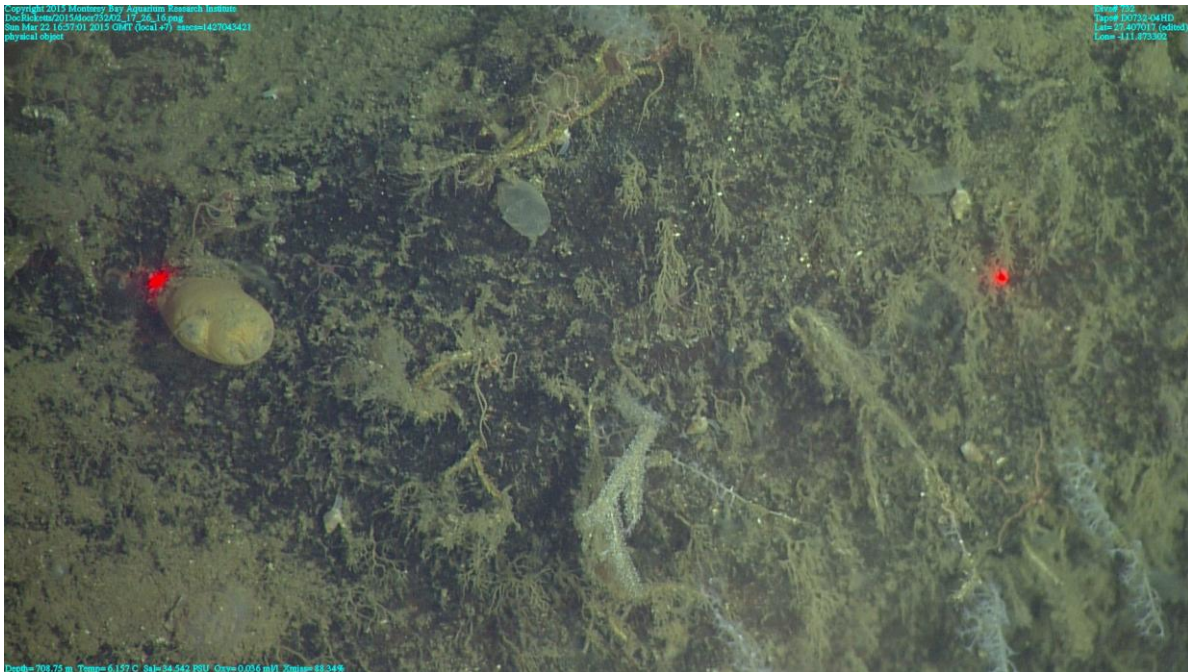
**Fig. 52. Hábitat 1Dc.** *Asteroschema inornatum*, Cabo Pulmo, profundidad 1,205.37 m.



**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**



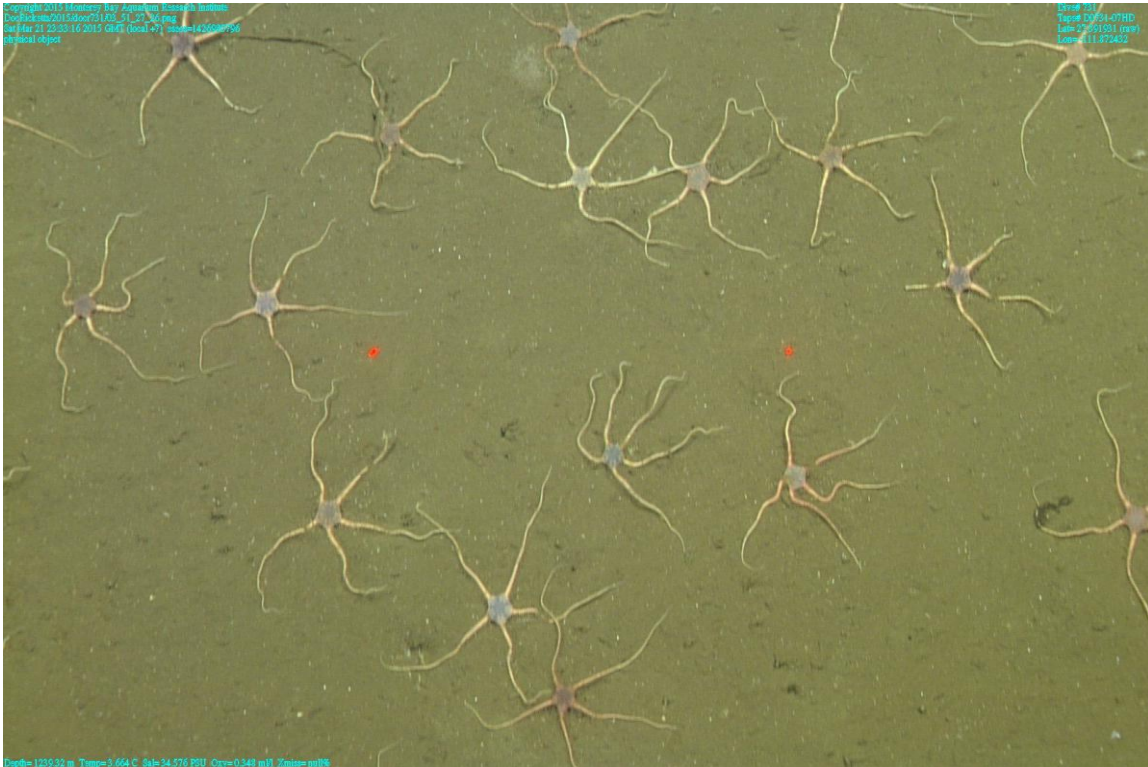
**Fig. 53. Hábitat 1Dp.** *Asteronix loveni* y *Asteronix longifissus*, Isla Cerralvo, profundidad 902.76 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



**Fig. 54. Hábitat 1Ds.** Ophiacanthidae sp. A, Isla Tortuga Este, profundidad 710.73 m.



## Hábitats con sustrato blando



**Fig. 55. Hábitat 2BLa.** *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1,239.32 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



**Fig. 56. Hábitat 2BLa.** *Ophiernus polyporum*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1,309.67 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA



Fig. 57. Hábitat 2Ba. *Ophiacantha* sp. A y *Ophiomastix* sp. A, Isla Tortuga Este, profundidad 311.07 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



Fig. 58. Hábitat 2BBt. *Brisaster townsendi* y *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1345.77 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.



**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**



**Fig. 59. Hábitat 2Bs.** Ophiacanthidae sp. A, Isla San Pedro Mártir Norte, profundidad 848.19 m.



**Fig. 60. Hábitat 2Bt.** Tunicado (*Megalodicopia*) y *Ophiophthalmus normani*, Isla Tortuga Sur, profundidad 1,354.54 m. Distancia entre puntos (láser) es de 29 cm, representa 1 m<sup>2</sup>.

#### 8.4 Especies y hábitats por cuenca y estrato de profundidad

La cuenca con la mayor diversidad de especies es Isla Tortuga E, donde ocurren cinco hábitats diferentes (ver Tabla 19) y tres de ellos son constantes a lo largo de los estratos de profundidad, estos son 1Dr, 1De y 2Ba.

La ocurrencia de especies es mayor dentro de una cuenca y disminuye entre cuencas (Tabla 25), de las 28 especies identificadas, 19 ocurren sólo en una cuenca.

**Tabla 25.** Número de especies de ofiuroides que ocurren por cuenca.

Especies que ocurren en:	No.	Porcentaje (%)
1 cuenca	19	68
2 cuencas	6	21
3 cuencas	1	4
4 cuencas	2	7
5 cuencas	0	0
6 cuencas	0	0
7 cuencas	0	0
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>100</b>

Estos valores indican que la diversidad local de especies tiene una mayor contribución a la diversidad regional ya que aporta especies microendémicas dentro de una sola cuenca.

El análisis de cluster por cuenca (Figura 61) muestra que las cuencas hipóxicas del N tienen una mayor similitud entre sí en cuanto a la composición de especies. Isla Tortuga E, Isla San Pedro Mártir N y S, forman un conglomerado junto con la Cuenca Sal Sipuedes. Isla San Pedro Mártir N y S tienen una similitud de 37.5 %, seguida de Isla San Pedro Mártir N con Isla Tortuga E con similitud de 33.33% y la Isla San Pedro Mártir S con la Cuenca Sal Sipuedes con 22.22% de similitud.

Mientras que las cuencas que se encuentran al S (Cabo Pulmo, Isla Cerralvo e Isla Tortuga S) tienen una composición de especies particular entre cada una y diferente al de las cuencas del N, forman un conglomerado distinto de similitud. Isla Cerralvo presenta 16.66% de similitud con Isla Tortuga S, seguida de Cabo Pulmo con Isla Tortuga S con 11.11% de similitud e Isla Cerralvo con Cabo Pulmo con 8.33% de similitud.

ANÁLISIS CLUSTER CUENCAS

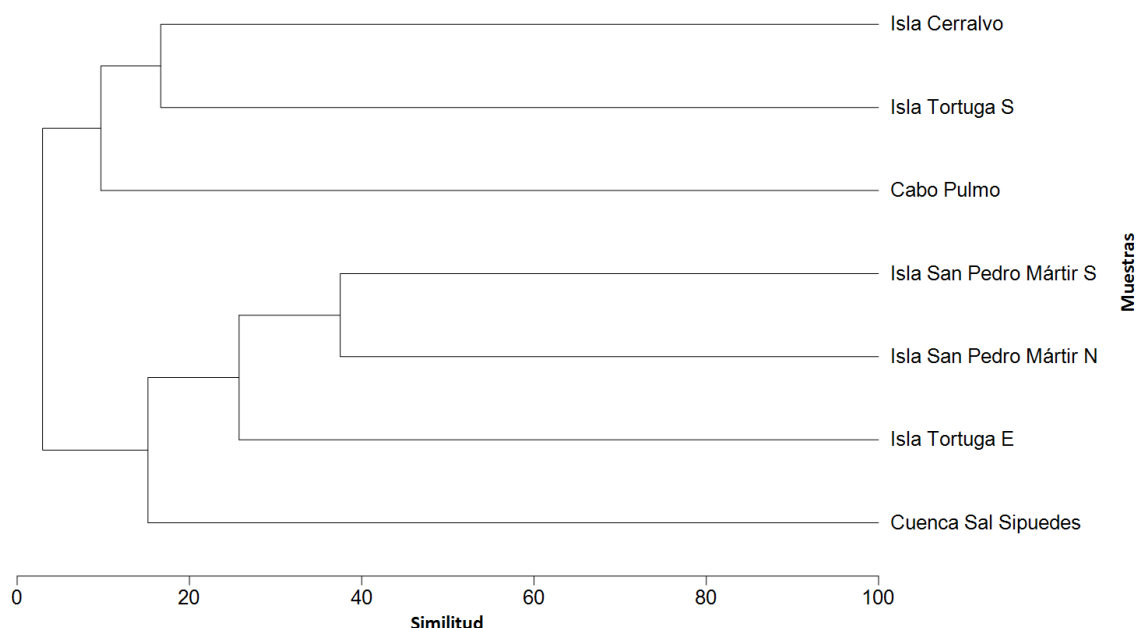
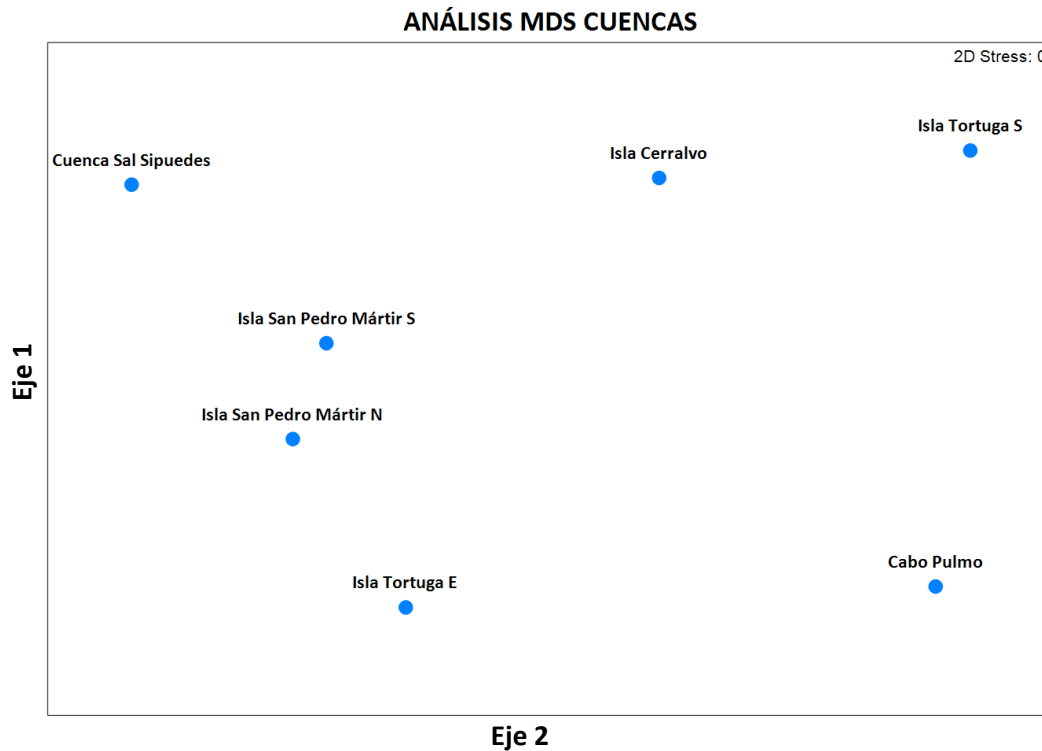


Fig. 61. Dendrograma construido con un análisis cluster de similitud con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada cuenca hipóxica.

El análisis MDS (Figura 62) muestra la similitud de las cuencas en relación a la presencia de especies de ofiuroides. La relación con mayor similitud ocurre entre las Islas San Pedro Mártir S y N, y están relacionadas, pero con una menor proximidad con las otras cuencas del N que son Isla Tortuga E y Cuenca Sal Sipuedes. Estas cuencas tienen un elevado número de especies y comparten entre sí las siguientes especies: *Ophiacanthidae* sp. A, *Amphipholis* sp. B. Isla San Pedro Mártir N y S comparten la especie *Amphiura* sp. A, Isla Tortuga E comparte con Isla San Pedro Mártir N la presencia de *Ophiopholis* sp. A y *Ophiotreta* sp., y con Cuenca Sal Sipuedes especies del género *Ophiomastix*, *Ophiothrix* y *Ophiacantha*. Finalmente, Cuenca Sal Sipuedes tiene a *Ophiopholis* sp. B en común con Isla San Pedro Mártir Sur, y a *Amphipholis* sp. A con Isla San Pedro Mártir Norte.

Para las cuencas del S la relación más cercana es entre Isla Tortuga S e Isla Cerralvo, mientras que Cabo Pulmo está más alejado. Únicamente Isla Tortuga S y Cabo Pulmo comparten la presencia de una especie (*Ophiernus polyporum*) el resto de las especies se encuentran sólo en una cuenca. *Ophiophthalmus normani* en Isla Tortuga S, *Asteronyx loveni* y *longifissus* y *Ophiolimna* sp. en Isla Cerralvo y *Ophiosphalma jolliensis*, *Ophiocten* sp., *Ophiacantha* sp. C, *Amphiura* sp. B, *Astrodia excavata* y *Asteroschema inornatum* en Cabo Pulmo.

Ambos análisis muestran resultados similares para las cuencas, las que se encuentran al N tienen mayor correlación entre sí, y están separadas de las cuencas del S por las especies de ofiuroideos que están presentes en cada una. Ophiacanthidae A y *Amphipholis* sp. B que están presentes en todas las cuencas del N no ocurren en las cuencas del S. Y algunas especies de las cuencas del S, sólo ocurren en una cuenca.



**Fig. 62.** Análisis MDS no métrico con el eje 1 y eje 2, construido con base en las especies de ofiuroideos que ocurren en cada cuenca hipóxica.

Los estratos de profundidad con mayor diversidad de especies en todas las cuencas corresponden a 601-800 m y 801-1000 m de profundidad. Estos estratos corresponden al núcleo de la ZOM con los valores de oxígeno disuelto más bajos. Dentro de este estrato ocurren principalmente los hábitats 2BLa (Fondo blando con limos y arcillas), 1Dr (Fondo duro con roca) y 1De (Fondo duro con esponjas). Las especies de ofiuroideos tienen una distribución batimétrica distinguible, hay especies que únicamente ocurren en un estrato de profundidad (Tabla 25), sin que esto signifique que ese estrato sea el mismo para todas las especies, ni que forme parte de la ZOM. El



número de especies que ocurren en más de un estrato disminuye al ser mayor el número de estratos.

**Tabla 26.** Número de especies de ofiuroides que ocurren por estrato de profundidad. \*1 estrato significa que la especie se encuentra sólo en un intervalo de 200 m sin que este forme parte de la ZOM.

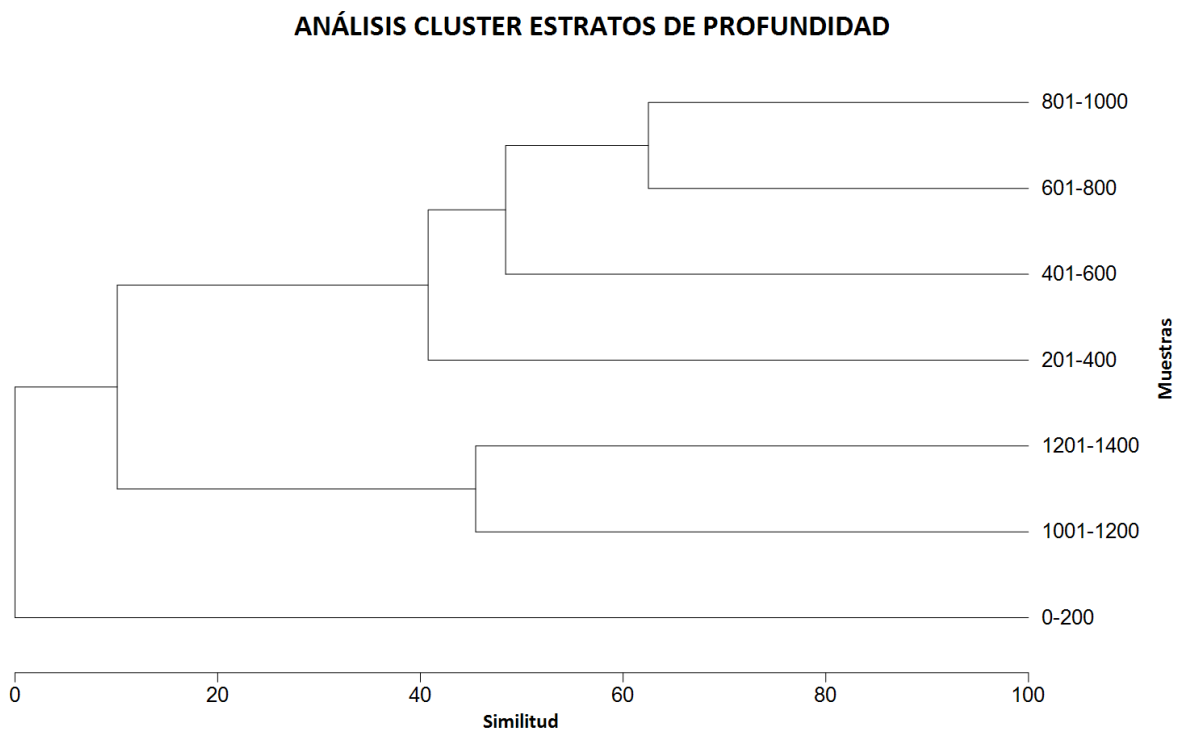
Especies que ocurren en:	No.	Porcentaje (%)
*1 estrato	12	43
2 estratos	3	11
3 estratos	7	25
4 estratos	5	18
5 estratos	1	4
6 estratos	0	0
7 estratos	0	0
Total	28	100

Estos valores indican que el 54% de especies identificadas de ofiuroides es estenobática, porque ocurren en intervalos delimitados de profundidad. 13 especies ocurren en el estrato de profundidad de 201-400 m, casi el 50% tiene un alcance batimétrico de 600 m y 14 especies ocurren en el intervalo de 801-1000 m. El número de especies euribáticas es bajo, solamente una especie (*Ophiopholis* sp. B), ocurre en dos cuencas (Cuenca Sal Sipuedes e Isla San Pedro Mártir Sur) y cinco estratos de profundidad, y cinco especies ocurren en cuatro estratos de profundidad: *Ophiosphalma jolliensis*, *Ophiacanthidae* sp. A, *Ophiopholis* sp. A, *Ophiopholis longispina* y *Amphipholis* sp. B., lo que significa que la mayoría de las especies de ofiuroides están adaptadas a un intervalo de profundidad limitado.

El análisis de cluster por estrato de profundidad (Figura 63) muestra dos conglomerados diferentes donde se asocian las especies de ofiuroides. El primero comprende las profundidades desde 401 m hasta 1,000 m siendo los estratos 401-600 m, 601-800 m y 801-1,000 m los que tienen una mayor similitud. Mientras que el segundo conglomerado está formado por los estratos 1,001-1,200 m y 1,200-1,400 m. Hay un tercer grupo de 0-200 m, pero en este estrato de profundidad no se registraron especies de ofiuroides. Los estratos de profundidad con mayor similitud son 401-600 m con 601-800 m y 61.53%, que comparten las siguientes especies: *Ophiacanthidae* sp. A, *Amphipholis* sp. B, *Ophiomastix* sp. B, *Ophiopholis longispina* y *Ophiotreta* sp.

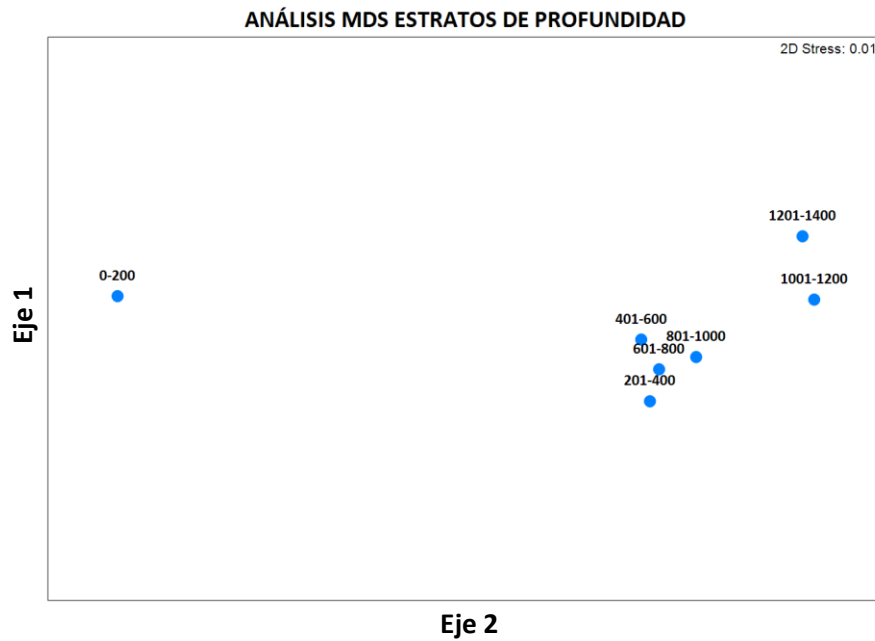
Seguido de los estratos de profundidad 201-400 m con 601-800 m (que comparten las especies *Ophiacanthidae* sp. A, *Amphipholis* sp. B, *Ophiopholis longispina* y *Ophiotreta* sp.); y 201-400 m con 401-600 m (que comparten las especies *Ophiacanthidae* A, *Amphipholis* sp. B y *Ophiothrix galapagensis*) con 47.05% y 46.66% de similitud respectivamente.

Los siguientes estratos son 1001-1200 m y 1201-1400 m con una similitud de 45.45% y comparten las especies *Ophiernus polyporum*, *Ophiophthalmus normani* y *Ophiosphalma jolliensis*. Finalmente, 0-200 m no muestra ninguna similitud con otro estrato porque no formó parte del muestreo y corresponde a la columna de agua.



**Fig. 63.** Dendrograma construido con un análisis cluster de similitud con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada estrato de profundidad.

El análisis MDS (Figura 64) corrobora los resultados obtenidos en el análisis de cluster, el estrato más somero está alejado de todos los demás (0-200 m), mientras que los estratos de profundidad media (201-1000 m) forman un grupo de composición similar de especies separado de los estratos más profundos (1001-1400 m).



**Fig. 64.** Análisis MDS no métrico con el eje 1 y eje 2, construido con base en las especies de ofiuroides que ocurren en cada estrato de profundidad.

Con respecto a los parámetros ambientales, la concentración de oxígeno disuelto ( $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ) tiene influencia en la diversidad de especies y abundancia de ofiuroides. Dentro de las cuencas los ofiuroides ocurren en concentraciones de oxígeno disuelto que van de los  $1.205 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  ( $0.027 \text{ ml.L}^{-1}$ ) a los  $72.127 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  ( $1.61 \text{ ml.L}^{-1}$ ) (Tabla 26). La mayor diversidad de especies y los valores más altos de abundancia ocurren en el núcleo de la ZOM donde los niveles de  $\text{O}_2$  disuelto son muy bajos ( $1.205\text{-}8.574 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$  /  $0.027\text{-}0.19 \text{ ml.L}^{-1}$ ).

**Tabla 27.** Valores mínimos y máximos de  $\text{O}_2$  donde ocurren los ofiuroides por cuenca.

Cuencas (N a S)	Oxígeno disuelto ( $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ )	
	Mínimo	Máximo
Cuenca Sal Sipuedes	26.39	72.12
Isla San Pedro Mártir N	1.42	28.58
Isla San Pedro Mártir S	1.47	27.42
Isla Tortuga E	1.33	36.71
Isla Tortuga S	7.19	18.89
Isla Cerralvo	1.65	6.34
Cabo Pulmo	1.20	22.33

Los valores de O<sub>2</sub> disuelto para los estratos de profundidad muestran que los estratos de 601-1000 m corresponden al núcleo de las ZOM (Tabla 28) en Isla Tortuga E, Isla San Pedro Mártir N y S e Isla Cerralvo con los valores más bajos de oxígeno (entre 1.205 y 8.574  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  / 0.027-0.19  $\text{ml.L}^{-1}$ ). Las especies de ofiuroides que subsisten en estas concentraciones de oxígeno disuelto son *Amphipholis* sp. B y *Ophiacanthidae* sp. A en Isla Tortuga Este e Isla San Pedro Mártir N y S. En Isla Cerralvo únicamente *Ophiacanthidae* sp. A. Otro caso particular es *Ophiosphalma jolliensis* que se recolectó únicamente en Cabo Pulmo y ocurre en las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto (1.205  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  / 0.027 $\text{ml.L}^{-1}$ ).

**Tabla 28.** Valores mínimos y máximos de O<sub>2</sub> donde ocurren los ofiuroides por estrato de profundidad.

Estrato de profundidad	Oxígeno disuelto ( $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ )	
	Mínimo	Máximo
0-200 m	---	---
201-400 m	6.02	72.12
401-600 m	1.56	34.34
601-800 m	1.20	33.09
801-1000 m	1.47	30.54
1001-1200 m	7.19	27.10
1201-1400 m	11.87	22.33

Todas las especies y taxa de ofiuroides identificadas ocurren en condiciones hipóxicas (entre 60 y 120  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  / 1.34-2.68  $\text{ml.L}^{-1}$ ), no subóxicas (entre 10 y 50  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  / 0.22-1.11  $\text{ml.L}^{-1}$ ) y subóxicas (<5  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$  / <0.11  $\text{ml.L}^{-1}$ ). La mayor diversidad de especies subsiste bajo condiciones no subóxicas y sólo algunas en condiciones hipóxicas (Tabla 28), pero la mayor abundancia de organismos ocurre en condiciones subóxicas.

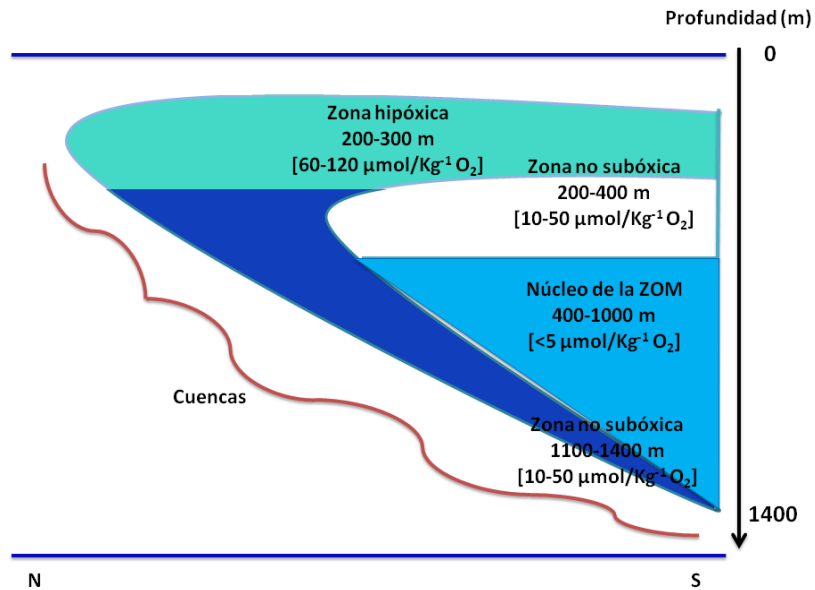
La zona hipóxica se encuentra entre los 200 y 300 m (Figura 65), por debajo de esta los niveles de oxígeno comienzan a bajar y se forma una zona no subóxica entre los 200 y 400 m. Inmediatamente después surge el núcleo de la ZOM entre los 600 y 1000 m para todas las cuencas, excepto Isla Tortuga E donde el núcleo se forma desde los 400 m. Por último, después de los 1000 m los niveles de oxígeno disuelto comienzan a subir y se forma de nuevo una zona no subóxica hasta los 1400 m.

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**Tabla 29.** Especies de ofiuroides que ocurren en condiciones hipóxicas, no subóxicas y subóxicas, por estrato de profundidad. Condiciones de oxígeno disuelto modificadas de Stramma, et al., [2010].

\*En el caso de Isla Tortuga S las condiciones no subóxicas ocurren entre los 1200 y 1400 m y en Cabo Pulmo entre los 1100 y 1200 m.

Cuencas							Condiciones
Cuenca Sal Sipedes	Isla San Pedro Mártir N	Isla San Pedro Mártir S	Isla Tortuga E	Isla Tortuga S	Isla Cerralvo	Cabo Pulmo	
<i>Ophiacantha</i> sp. B, <i>Ophiopholis</i> sp. B, <i>Amphipholis</i> sp. A y B y <i>Ophiothrix</i> sp.	----	----	----	----	----	----	Hipóxicas (60-120 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ /1.34-2.68 $\text{ml.L}^{-1}$ ) 200-300 m
<i>Ophiopholis</i> sp. B, <i>Ophiacantha rhachophora</i> y <i>Ophiomastix</i> sp. B	<i>Ophiopholis longispina</i> , <i>Ophiotreta</i> sp., <i>Amphipholis</i> sp. B y <i>Amphiura</i> sp. A.	Ophiacanthidae sp. A, <i>Ophiopholis</i> sp. B y <i>Amphiura</i> sp. A.	<i>Ophiacantha</i> sp. A, <i>Ophiomastix</i> sp. A, <i>Ophiothrix galapagensis</i> y <i>Ophiotreta</i> sp.	<i>Ophiophthalmus normani</i> y <i>Ophiernus polyporum</i>	----	<i>Ophiacantha</i> sp. C, <i>Ophiocten</i> sp., <i>Ophiernus polyporum</i> , <i>Ophiura</i> sp. B, <i>Asteroschema inornatum</i> , <i>Astrodia excavata</i> , <i>Ophiosphalma jolliensis</i> y <i>Amphiura</i> sp. B	No subóxicas (10-50 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ / 0.22-1.11 $\text{ml.L}^{-1}$ ) 200-400 m 1100-1400 m*
----	Ophiacanthidae sp. A, <i>Amphipholis</i> sp. A y B., <i>Ophiopholis longispina</i> , <i>Ophiopholis</i> sp. A y <i>Ophiotreta</i> sp.,	Ophiacanthidae sp. A y <i>Amphipholis</i> sp. B.	<i>Ophiura</i> sp. A y B, <i>Amphipholis</i> sp. B, <i>Ophiopholis</i> sp. A y Ophiacanthidae sp. A	<i>Ophiophthalmus normani</i> y <i>Ophiernus polyporum</i>	<i>Ophiernus polyporum</i> , <i>Asteronyx loveni</i> , <i>Asteronyx longiffisus</i> , <i>Ophiolimna</i> sp. y Ophiacanthidae sp. A	<i>Ophiernus polyporum</i> y <i>Ophiosphalma jolliensis</i>	Subóxicas (<5 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ / <0.11 $\text{ml.L}^{-1}$ ) 400-1000 m



**Fig. 65.** Zonas identificadas en las cuencas hipóxicas del Golfo de California con base en las condiciones de oxígeno disuelto presentes.

Los perfiles de temperatura de cada cuenca muestran que ésta disminuye gradualmente con la profundidad (Figuras 66B-72B).

En Cuenca Sal Sipuedes se registraron las concentraciones de oxígeno disuelto más altas (Ver Tabla 27) de todas las cuencas, y los valores de oxígeno disuelto disminuyen gradualmente con la profundidad (Figura 66A), la mayor abundancia de ofiuroides ocurre entre los 896 y 1091 m de profundidad y a los 218 m se registró un valor de cuatro  $\text{ind}/\text{m}^2$  (Figura 66C). En Isla San Pedro Mártir N la zona no subóxica (o límite superior) ocurre a los 380 m de profundidad, después de los 400 m las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyen y corresponde al núcleo de la ZOM (Figura 67A) con condiciones subóxicas, los valores más altos de abundancia de ofiuroides ocurren después de los 800 m de profundidad (Figura 67C). En la Isla San Pedro Mártir S, se registró que las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyen rápidamente después de los 600 m de profundidad (Figura 68A) y los valores más altos de abundancia de ofiuroides se registraron de los 891 a los 909 m (Figura 68C). El perfil de oxígeno disuelto de Isla Tortuga E muestra las diferentes zonas de la ZOM, de los 258 a los 314 m de profundidad está la zona hipóxica, de los 315 hasta los 416 m se encuentra la zona no subóxica (o límite superior), de los 416 hasta los 850 m se encuentra el núcleo de la ZOM con condiciones subóxicas y después de esta profundidad las concentraciones de oxígeno disuelto aumentan gradualmente, formando otra zona no subóxica o también llamada límite inferior (Figura 69A).



Los valores de abundancia más altos ocurren de los 237 a los 550 m de profundidad (Figura 69C). En la Isla Tortuga S, la concentración de oxígeno disuelto aumenta con la profundidad, el valor máximo ( $18.89 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / <0.423 \text{ ml.L}^{-1}$ ) ocurre a los 1366 m (Figura 70A) y la mayor abundancia de ofiuroides se registró a 1200 m de profundidad aproximadamente (Figura 71C). En Isla Cerralvo los valores de oxígeno disuelto aumentan con la profundidad, el valor más bajo ( $1.65 \mu\text{mol.Kg}^{-1} / 0.037 \text{ ml.L}^{-1}$ ) ocurre a los 770 m y es factible suponer que corresponde al límite inferior del núcleo de la ZOM y después de esta profundidad las concentraciones de oxígeno disuelto aumentan, formando la zona no subóxica (Figura 71A), el valor más alto de abundancia se registró a los 770 m de profundidad (Figura 71C). Finalmente, en Cabo Pulmo se registró el límite inferior del núcleo de la ZOM de los 702 a los 747 (Figura 72A) m de profundidad, después las concentraciones de oxígeno aumentan gradualmente formándose la zona no subóxica (o límite inferior), la mayor abundancia de ofiuroides se registró a los 1225 m de profundidad (Figura 72C).

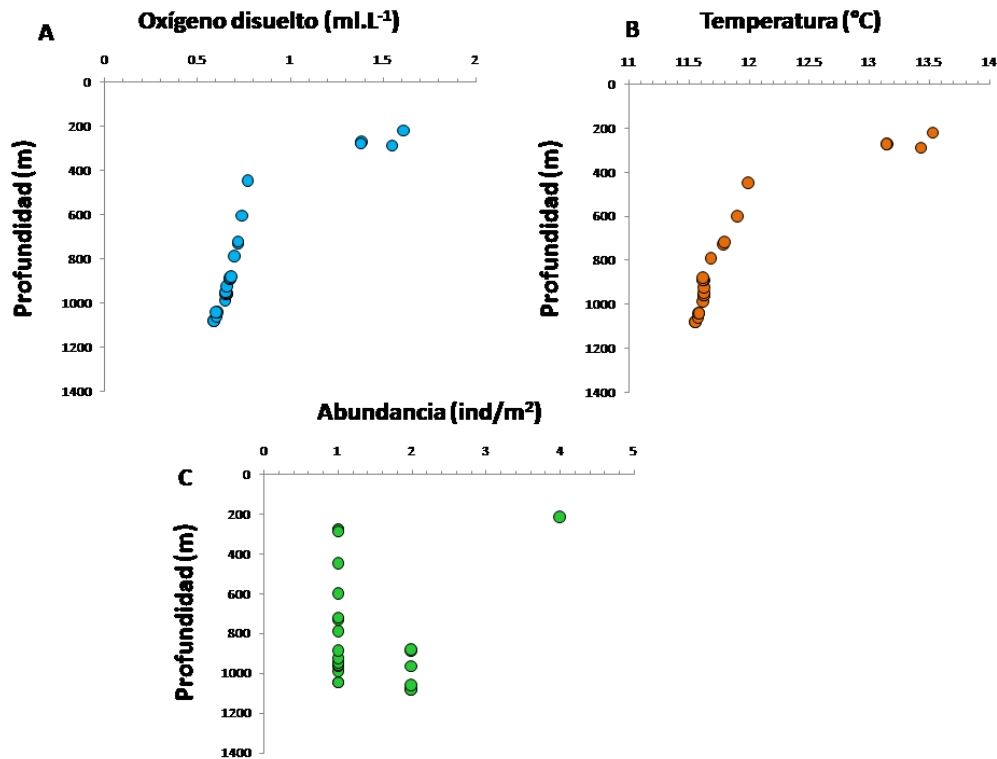


Fig. 66. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Cuenca Sal Sipuedes.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

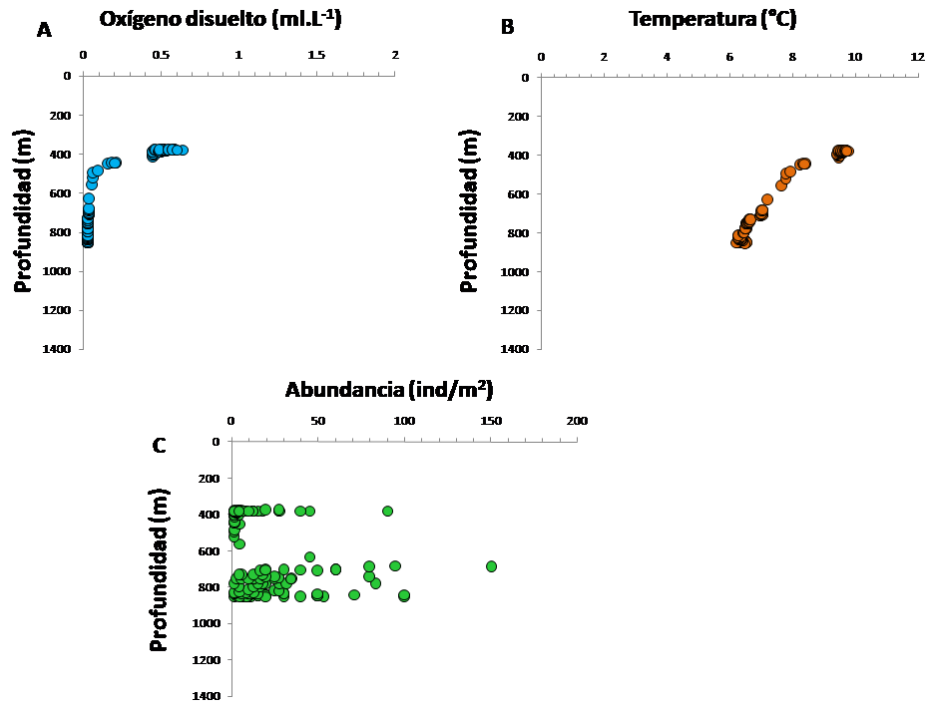


Fig. 67. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla San Pedro Mártir N.

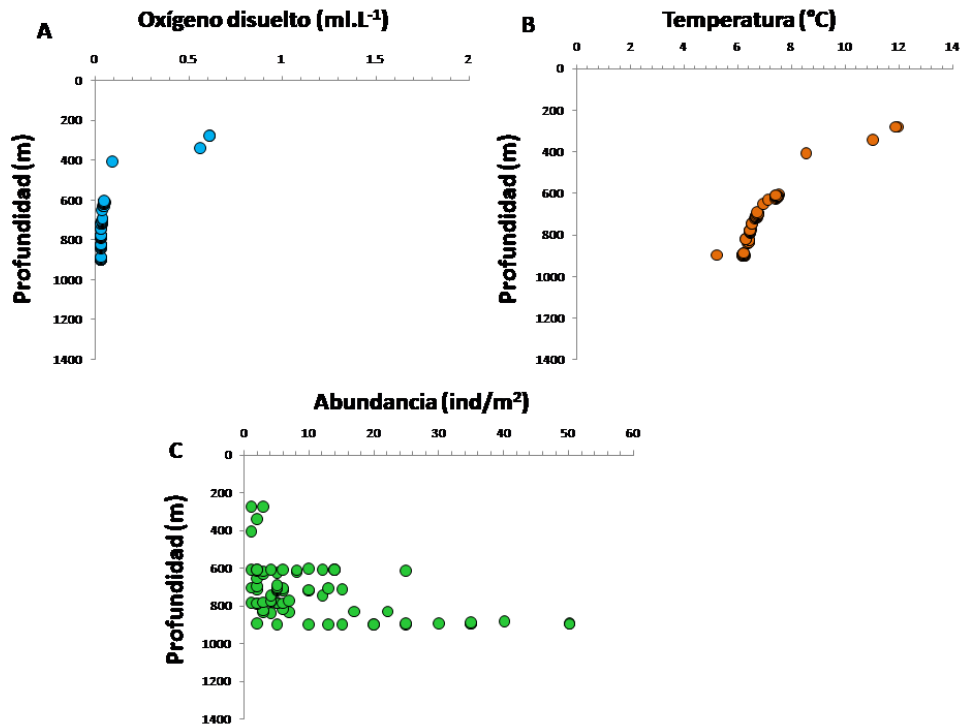


Fig. 68. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla San Pedro Mártir S.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

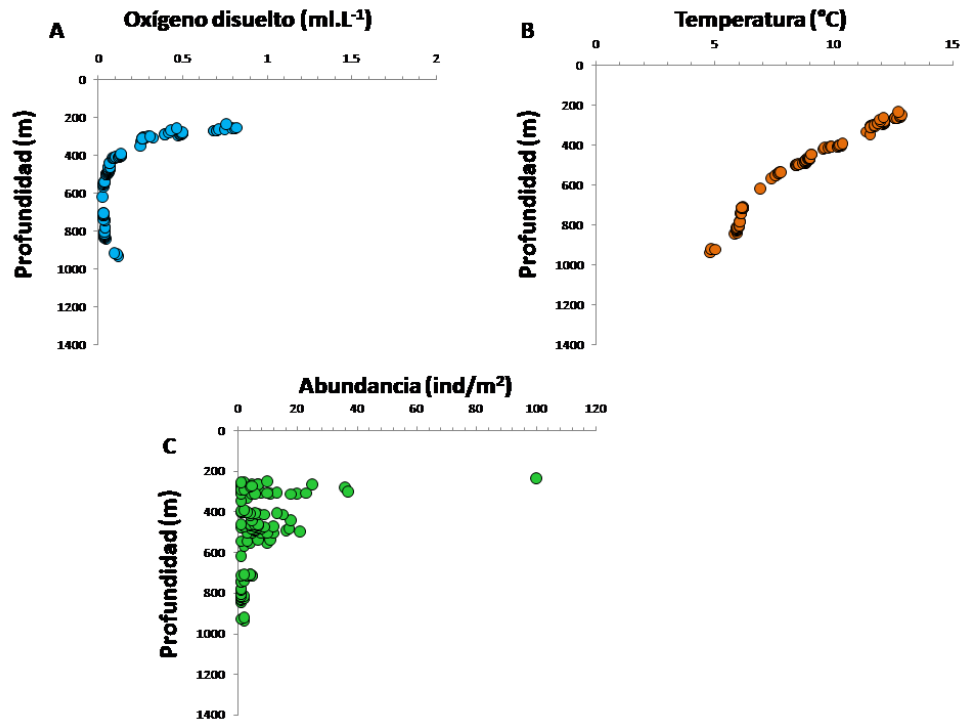


Fig. 69. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Tortuga E.

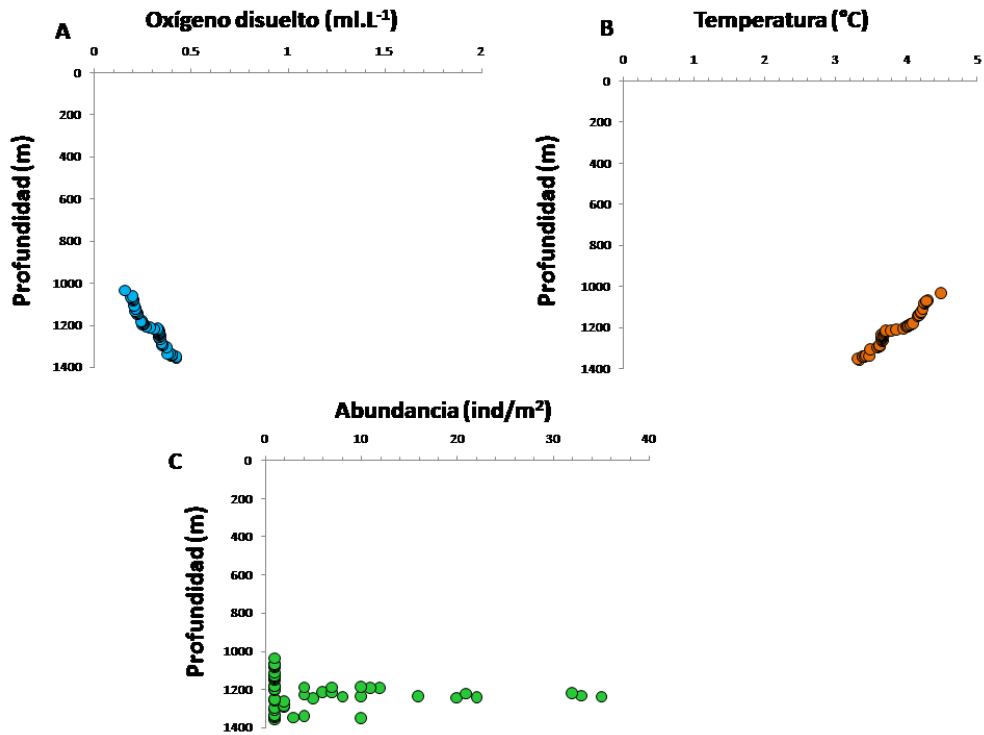


Fig. 70. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Tortuga S.

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

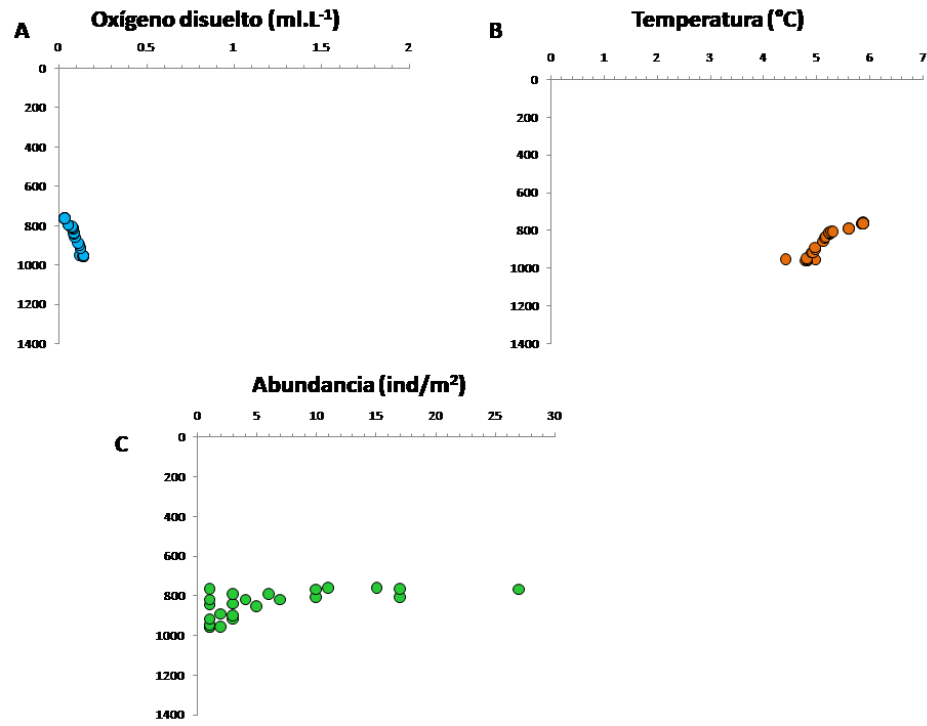


Fig. 71. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Isla Cerralvo.

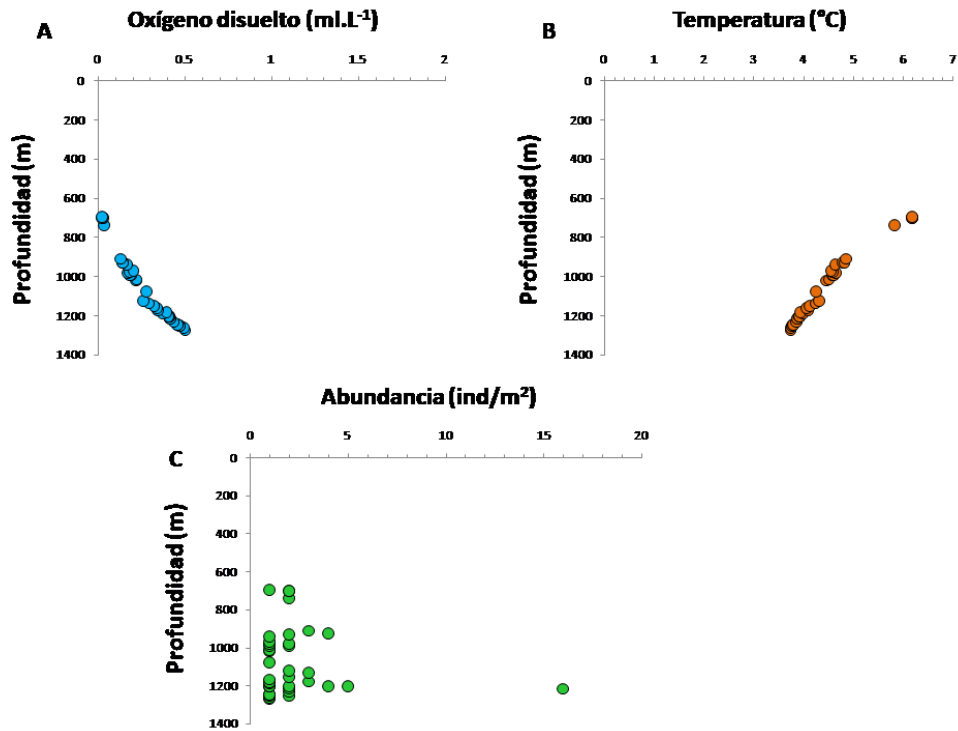


Fig. 72. Perfiles de oxígeno disuelto, temperatura y abundancia donde ocurren ofiuroides en Cabo Pulmo.

### 8.5 Riqueza de especies

La riqueza de especies de ofiuroides se definió primero por cuenca y después por hábitat. Isla Tortuga Este fue la cuenca con la mayor riqueza de especies, con un total de nueve especies (Tabla 29).

**Tabla 30.** Riqueza de especies de ofiuroides por cuenca.

Cuencas hipóxicas de N a S	Riqueza de especies
Cuenca Sal Sipuedes	7
Isla San Pedro Mártir Norte	7
Isla San Pedro Mártir Sur	4
<b>Isla Tortuga Este</b>	<b>9</b>
Isla Tortuga Sur	2
Isla Cerralvo	5
Cabo Pulmo	8

Mientras que el hábitat con la mayor riqueza es el hábitat 1Dr con sustrato duro (roca) con 20 de las 28 especies identificadas (Tabla 30).

**Tabla 31.** Riqueza de especies de ofiuroides por hábitat.

Hábitat	Riqueza de especies	
<b>1Dr</b>	<b>20</b>	
1Dt	1	
Sustrato duro	1De	9
	1Dc	3
	1Dp	2
	1Ds	2
2BLa	9	
2Ba	3	
Sustrato blando	2BBt	1
	2Bt	1
	2Bs	1

### 8.6 Abundancia de especies

La abundancia promedio de especies se determinó para cada uno de los hábitats identificados. El hábitat con la mayor abundancia promedio es el 1De con 12.8 individuos por m<sup>2</sup>, seguido del hábitat 2BLa con 12.6 individuos por m<sup>2</sup> y el hábitat 1Dr con 8.4 individuos por m<sup>2</sup> (Tabla 31).

**Tabla 32.** Abundancia promedio de ofiuroides por hábitat.

Hábitat	No. de réplicas	$\bar{x}$ individuos (m <sup>2</sup> )	$\sigma$
1Dr	30	8.4	15.13
1Dt	1	1	0
<b>1De</b>	30	<b>12.8</b>	22.37
1Dc	3	1.6	1.15
1Dp	6	2.5	1.51
1Ds	2	4	0
2BLa	30	12.6	29.23
2Ba	7	7.5	8.56
2BBt	1	1	0
2Bt	3	5	4.58
2Bs	1	4	0

La profundidad de cada cuenca varía, así como la presencia de ofiuroides en cada estrato de profundidad, pero la mayor abundancia de ofiuroides ocurre entre los 600 y 1,000 m de profundidad, disminuyendo por debajo de los 600 m y por encima de los 1,000 m.

De las nueve especies que ocurren en el hábitat 1De las que tienen mayor abundancia son *Amphipholis* sp. B y *Ophiacanthidae* sp. A, que son especies de talla pequeña. En el hábitat 2BLa ocurren nueve especies diferentes, las de talla grande se encuentran entre uno y tres individuos por m<sup>2</sup>, mientras que las de talla pequeña pueden contarse más de 100 individuos por m<sup>2</sup>, como es el caso de *Amphipholis* sp. B y *Ophiacanthidae* sp. A. Por último, en el hábitat 1Dr las especies de talla pequeña y grande ocurren en los mismos valores de abundancia, los individuos pueden encontrarse directamente en la superficie o escondidas entre las rugosidades formadas por la roca.



### 8.7 Importancia en propuestas de conservación

Para determinar si los hábitats descritos son susceptibles de conservación se utilizaron los criterios 1, 4, 6 y 7 de la COP. Cada criterio fue evaluado para cada cuenca (Tabla 32), tomando en cuenta toda la información recopilada para la identificación de hábitats (diversidad y riqueza de especies, número de hábitats, abundancia, etc.).

**Tabla 33.** Criterios de conservación por cuenca.

Criterio	1.Unicidad o rareza	4. Vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación	6. Diversidad biológica	7. Naturalidad
Cuenca				
Sal Sipuedes	SI	SI	SI	SI
Isla San Pedro Mártir N	SI	SI	SI	SI
Isla San Pedro Mártir S	SI	SI	NO	SI
Isla Tortuga E	SI	SI	SI	SI
Isla Tortuga S	SI	SI	NO	SI
Isla Cerralvo	SI	SI	SI	SI
Cabo Pulmo	SI	SI	SI	SI

Las especies de ofiuroides identificadas en este trabajo son estenotópicas y estenobáricas, lo que quiere decir que las condiciones ambientales y geográficas en las que se encuentran son limitadas. Esto implica que la conservación de las localidades (cuencas) donde se distribuyen sus hábitats se vuelve un punto importante, porque la mayor parte de las especies son microendémicas, lo que significa que si se altera o perturba una cuenca se pierde una especie o más a la vez.

### 8.8 Ampliaciones batimétricas, geográficas y nuevos registros

Se amplía la distribución batimétrica y geográfica para la siguiente especie:

- *Ophiernus polyporum*. Desde Isla Tortuga S ( $27^{\circ} 23.4038' N$ ,  $111^{\circ} 52.3974' W$ ) hasta el sur de las Islas Galápagos ( $0^{\circ} S$ ,  $84^{\circ} W$ ). De los 931 a los 1287 m.

Nuevos registros geográficos dentro del Golfo de California para la siguiente especie:

- *Astrodia excavata*. Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ). A 1204 m.

Nuevos registros de géneros en el Golfo de California:

- *Ophiomastix*. Isla Tortuga E ( $27^{\circ} 24.9045 N$ ,  $111^{\circ} 52.4608 W$ ). A 331 m. E Isla San Pedro Mártir N ( $29^{\circ} 3.4690 N$ ,  $113^{\circ} 15.5529 W$ ). A 792 m.
- *Asteroschema inornatum*. Cabo Pulmo ( $23^{\circ} 25.1957' N$ ,  $109^{\circ} 21.3404' W$ ). A 1204m.

## 9. DISCUSIÓN

Los ofiuroideos son un componente principal de las comunidades bentónicas marinas, ocurren en todos los océanos desde el intermareal hasta profundidades hadales [Thuy y Stöhr, 2016]. En la actualidad se conocen más de 2,000 especies, siendo el grupo más diverso de las cinco clases de equinodermos [Thuy y Stöhr, 2016].

Las clasificaciones tradicionales de estos organismos se basan en un conjunto más o menos limitado de estructuras de su morfología externa (placas y escamas del disco y brazo, espinas y papilas), ahora se suman otros enfoques morfológicos como el estudio del esqueleto interno (mandíbulas, placas dentales, placas laterales, vértebras) con el uso intensivo de microscopía electrónica de barrido (MEB), ontogenia y estudios moleculares que intentan mejorar la comprensión de la diversidad y evolución de los ofiuroideos [Stöhr, 2012]. La clasificación tradicional ha dado origen a contradicciones taxonómicas causadas por el solapamiento de especies descritas con base en la morfología externa [Martynov, 2010].

La MEB es una herramienta actual y muy útil que permite establecer la identidad correcta de una especie [Stöhr, 2012]. Debido a que la mayor diversidad de ofiuroideos ocurre en aguas profundas, el avance tecnológico ha supuesto un progreso en la comprensión de la diversidad de estos organismos. A pesar de esto, su clasificación sigue suponiendo algunas barreras como la clasificación tradicional vs estudios de MEB o moleculares, así como la aparición de especies “inusuales” y especies sin describir [Martynov, 2010].

Actualmente existen varias propuestas que ponen especial atención en el estudio del esqueleto interno de los ofiuroideos, Martynov [2010] propone un enfoque novedoso para estudiar las articulaciones de las espinas del brazo, proponiendo patrones que puedan tener un valor taxonómico para determinar la identidad de las especies. Thuy y Stöhr [2011] hacen un estudio profundo de las placas laterales del brazo, evaluando la variabilidad morfológica entre especies, relacionada con la posición de la placa a lo largo de todo el brazo para evaluar su potencial en la identificación de especies. Thuy y Stöhr [2011] toman en cuenta caracteres generales de la placa lateral para evaluar la variabilidad morfológica como la relación altura-anchura, ornamentaciones de la superficie externa, articulaciones de la espina, etc.

Si bien no todos los organismos fueron identificados a nivel de especie, las imágenes de MEB fueron una herramienta muy importante para discernir y clasificar a todos los organismos dentro de una familia o género. Los trabajos de Martynov [2010], Thuy y Stöhr [2011], Stöhr y colaboradores [2012] resultaron importantes para establecer la identidad correcta de los géneros.

Aún se debe profundizar en la clasificación taxonómica de los ofiuroides de este trabajo. Se identificaron 10 especies (*Asteronyx longifissus*, *Asteronyx loveni*, *Astrodia excavata*, *Asteroschema inornatum*, *Ophiosphalma jolliensis*, *Ophiernus polyporum*, *Ophiacantha rhachophora*, *Ophiophthalmus normani*, *Ophiopholis longispina* y *Ophiothrix galapagensis*), las 18 restantes se consideran especies nuevas por las características morfológicas externas e internas que presentan.

Las 28 especies de ofiuroides identificadas en este trabajo pertenecen a nueve familias diferentes, siendo Ophiacanthidae la mejor representada con ocho especies diferentes, seguida de Ophiuridae y Amphiuridae con cuatro especies cada una; y Asteronychidae con tres especies. Los estudios en zonas de oxígeno mínimo (ZOM) son prolíficos, y cuando abordan la composición de la megafauna los ofiuroides están presentes como componente de las comunidades, sin embargo, pocas veces se hace mención de las especies que ocurren en dichos ambientes. Summers [1992] menciona 10 especies de las familias Ophiacanthidae, Ophiuridae y Amphiuridae que ocurren en islas Farallón a profundidades de entre 550 y 3085 m, de las cuales cuatro géneros (*Amphiura*, *Ophiacantha*, *Ophiolimna* y *Ophiura*) y una especie (*Ophiophthalmus normani*) ocurren en el Golfo de California a profundidades de entre 274 y 1368 m. Quiroga y colaboradores [2008] reportan para las ZOM en Chile la especie *Asteronyx loveni* y los géneros *Ophiura* y *Ophiocten* entre los 502 y 2201 m de profundidad. En el Mar Arábigo Murty y colaboradores [2008] y Hunter y colaboradores [2011] reportan géneros de las familias Amphiuridae (*Amphiura*) a 140, 1100 y 1200 m de profundidad y Ophiacanthidae (*Ophiolimna*) a 800 m de profundidad, que también se encuentran en las ZOM del Golfo de California, *Amphiura* de los 278 a los 378 m y a 1204 m de profundidad y *Ophiolimna* a 854 m de profundidad.

Rice y colaboradores [1990] y Bett y Rice [1992] proponen que las agregaciones de esponjas se asocian con un aumento en la abundancia y riqueza de especies dentro de las espículas o cuerpos de las esponjas, lo que proporciona complejidad al hábitat y un sustrato duro para la epifauna. Buhl-Mortensen y colaboradores [2010] exponen que las estructuras biológicas tienen una gran influencia en la diversidad de especies a nivel local en los márgenes continentales. Explican que en el borde de la plataforma continental (200-400 m) existen principalmente pendientes con gravas y campos de

roca que junto con los cambios de temperatura influyen en los hábitats. Aquí aparecen organismos formadores de arrecife como esponjas y corales gorgónidos que aumentan significativamente la heterogeneidad del hábitat.

Las estructuras o formaciones de roca también son un hábitat importante para los ofiuroides desde los 200 hasta los 1300 m de profundidad. La rugosidad se calcula como la relación del área de superficie 3D con respecto al área plana que se encuentra alrededor, esto actúa como una medida de la complejidad estructural del hábitat [Ross y Howell, 2012]. Freiwald y Murray [2005] indican que los hábitats complejos proporcionan un refugio, mayor área de superficie para asentamiento y mayor variabilidad que los hábitats más simples.

En el intervalo de profundidad de 200-400 m ocurren principalmente los hábitats 1Dr (Sustrato duro, roca) y 1De (sustrato duro con esponjas), con una elevada diversidad de especies de ofiuroides. En el hábitat 1Dr ocurren *Ophiacanthidae* sp. A, *Ophiacantha* sp. A y B, *Ophiothrix galapagensis*, *Ophiomastix* sp. A, *Amphipholis* sp. A y B, *Ophiopholis longispina*, *Ophiotreta* sp., *Ophiopholis* sp. A y *Amphiura* sp. A. Mientras que en el hábitat 1De ocurren las especies *Ophiopholis* sp. B, *Amphiura* sp. A, *Ophiopholis longispina* y *Amphipholis*, sp. B.

La zona que comprende los 500-1500 m es a menudo heterogénea debido a la complejidad topográfica y exhibe una mayor variabilidad de las características del sedimento [Mortensen *et al.*, 2009]. Mortensen y colaboradores [2008] proponen que en estas profundidades los corales gorgónidos y esponjas se encuentran entre los organismos más grandes responsables de formar hábitats bióticos complejos. Dentro de este intervalo de profundidad ocurren diferentes hábitats, pero el hábitat 1De y 1Dc (sustrato duro con coral) tienen una diversidad alta de especies de ofiuroides. En el hábitat 1De ocurren las especies *Ophiacanthidae* A, *Amphipholis* sp. B, *Ophiopholis* sp. B, *Ophiacantha rhachophora*, *Ophiotreta* sp. y *Ophiopholis longispina*. Y en el hábitat 1Dc las especies *Astrodia excavata* y *Asteroschema inornatum*.

Los hábitats bióticos proporcionan un sustrato estable y elevado que contribuye sustancialmente a la riqueza de especies [Buhl-Mortensen y Mortensen, 2004], además el sustrato elevado puede favorecer la alimentación de los organismos asociados. Los ofiuroides que ocurren en las cuencas hipóxicas del Golfo de California a profundidades de 200 a 1300 m tienen una mayor riqueza y abundancia en los hábitats más complejos formados por factores bióticos y roca.

Con referencia a patrones de diversidad Best y colaboradores [2007] explican que a pesar de la ubicuidad que tienen los modelos de presencia, debe incluirse además un proceso de modelado para limitar el sesgo espacial, que podría entre otras cosas incluir un mayor almacenamiento de información en forma de líneas de esfuerzo o polígonos del área de estudio. O'Hara y colaboradores [2016] plantean que establecer patrones de biodiversidad en aguas profundas dentro de grandes escalas espaciales suele ser problemático, ya que los datos pueden estar incompletos o existir vacíos espaciales.

Las relaciones de similitud de grupos obtenidas en este trabajo establecen patrones en la composición de especies de ofiuroideos de cuencas hipóxicas del Golfo de California.

Best y colaboradores [2007] establecen los criterios más importantes para predecir el hábitat de mamíferos marinos, entre los que se encuentran la recopilación de observaciones biológicas y el esfuerzo de muestreo asociado, que el muestreo de parámetros ambientales se desarrolle en fechas sincronizadas, el ajuste de modelos estadísticos para datos multivariados y la predicción de hábitats con base en los modelos a partir condiciones ambientales y de tiempo específicas. También establecen el prototipo de una herramienta que permitiría recuperar puntos puntuales de observación a través de interfaces de consulta en la web.

También señalan [Best *et al.*, 2007] que la falta de observación visual no puede considerarse como una verdadera ausencia, ya que los mamíferos marinos simplemente pueden estar debajo de la superficie. En el caso de los ofiuroideos hay que resaltar que únicamente se utilizó la información digital proveniente de los *zoom in transect* que representan un área de 1 m<sup>2</sup> a lo largo de aproximadamente 100 m, por lo que también podríamos considerar que las ausencias (0 en la matriz de datos para los análisis estadísticos) no pueden considerarse como una verdadera ausencia de especies de ofiuroideos. La principal limitante en este trabajo fue la huella visual, es decir, la escala espacial permitida por el ROV es pequeña. Cada tipo de muestreo tiene limitaciones cuando se dirige a características discretas [Dolan *et al.*, 2008].

Best y colaboradores [2007] trabajaron una matriz que contenía datos de pseudo-ausencia (áreas donde existe la probabilidad de encontrar los organismos estudiados) y presencia los datos ambientales asociados, que utilizaron para adaptarlos a varios tipos de regresiones lineales multivariantes, como el modelo lineal generalizado y el modelo lineal aditivo y utilizaron el criterio de información de Akaike (del programa R) para seleccionar el modelo más parsimonioso y resolver el problema causado por los vacíos espaciales. Con toda esto usaron el modelo más adecuado para predecir la probabilidad de encuentro con mamíferos marinos para un conjunto de condiciones ambientales



específicas. Estas herramientas son útiles para robustecer los resultados y tienen la ventaja de poder elegir un modelo que resuelva los inconvenientes que ocasionan los vacíos espaciales dentro de las matrices de datos.

La concentración de oxígeno disuelto permitió establecer las zonas hipóxica ( $60-120 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ), no subóxica ( $10-50 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ) y subóxica ( $<5 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ) [Stramma *et al.*, 2010]. La mayor diversidad de especies de ofiuroides ocurre en la zona no subóxica y subóxica en Isla Tortuga E e Isla San Pedro Mártir N y S. Contrario a lo que reportan Quiroga y colaboradores [2009] para el margen continental de Chile, los ofiuroides estuvieron de las zonas afectadas por bajas concentraciones de oxígeno disuelto; las especies en el margen de Chile ocurren a más de 500 m donde las concentraciones de oxígeno disuelto son  $>44 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ . Esto puede significar que los ofiuroides que se encuentran en el Golfo de California tienen adaptaciones que les permiten sobrevivir con niveles muy bajos de oxígeno disuelto o que existen diferencias en las tasas de consumo de oxígeno.

Los hábitats con la mayor abundancia de ofiuroides fueron 1Dr, 2BLa (fondo blando con limos y arcillas) y 1De en el Golfo de California desde los 260 hasta los 1350 m de profundidad, en el caso del hábitat 1De su distribución batimétrica es más restringida y ocurre hasta los 1100 m de profundidad. Murty y colaboradores [2009] reportan la mayor abundancia de ofiuroides a los 1000 m en el margen continental de Pakistán con un promedio de  $27.85 \text{ ind/m}^2$  donde los valores de oxígeno disuelto son de  $7.14 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ , sin embargo no hacen mención del hábitat en el que ocurren estos organismos. En el margen continental de India Hunter y colaboradores reportan el valor máximo de abundancia de ofiuroides en el límite inferior de la ZOM, a los 800 m con valores de  $0.20-0.44 \text{ ind/m}^2$ . En el Pacífico NE Cabrera De Leo y colaboradores [2017] realizaron transectos a lo largo de la ZOM que cubrieron grandes áreas del fondo marino y reportaron los valores más altos de abundancia de ofiuroides entre los 500 y 600 m de profundidad con valores  $< 2000 \text{ ind/500 m lineales}$ , utilizando un análisis que consistió en asignar identidades únicas a los taxa y haciendo recuentos individuales, contando los organismos cuando cruzaban la línea horizontal en el centro de la imagen de vídeo con dos puntos láser paralelos con separación de 10 cm. Lo que significa que su huella visual fue más pequeña que la utilizada en este estudio, además su área de medición fue más grande.

Los valores reportados para el Mar Arábigo se encuentran por encima y por debajo de los valores reportados en este trabajo. Esto puede atribuirse a diversos factores, en primer lugar a que los valores de abundancia en este trabajo fueron obtenidos para cada hábitat y no de manera general, adicionalmente el número de réplicas utilizadas

es diferente, Murty y colaboradores usaron de siete a trece réplicas cada 100 m<sup>2</sup> y en este estudio se utilizaron de una a treinta réplicas para determinar la abundancia de ofiuroides en 1 m<sup>2</sup>. En el caso de Hunter y colaboradores ellos marcan el límite inferior de la ZOM a los 800 m, mientras que en el Golfo de California este límite aparece debajo de los 1000 m. En los tres estudios arriba mencionados el intervalo de profundidad en el que se registró la mayor abundancia de ofiuroides fue de 600 a 1000 m. Aunque la profundidad en la cual ocurre la ZOM varía en cada región, es factible generalizar el estrato batimétrico y de concentración de oxígeno disuelto en el que ocurren ofiuroides.

La amplitud e intensidad de las amenazas antropogénicas actuales y futuras a los ecosistemas de aguas profundas crea la necesidad de regular las actividades humanas [Clark *et al.*, 2014], por ello los acuerdos internacionales son una herramienta crítica para fortalecer los esfuerzos de conservación. Si bien se ha cumplido con el objetivo de que al menos el 10% de las áreas marinas o costeras deben conservarse por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz y equitativa. México excede el porcentaje al que se ha comprometido [Llano y Fernández, 2017].

Los hábitats con elevada diversidad en las cuencas del Golfo de California son un ejemplo de áreas con potencial de conservación. Para los criterios 1, 4 y 6: Unicidad o rareza, Vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación y Diversidad biológica respectivamente, los hábitats 1De, 1Dr, 2BLa y 1Dc cumplen las características para ser evaluados bajo alguna medida de conservación, en dichos hábitats ocurren especies nuevas que aún no han sido descritas, son hábitats susceptibles a la degradación y exhiben un alta diversidad biológica. Clark y colaboradores [2014] proponen un método que busca complementar el proceso para la identificación de EBSA's que incluye evaluar los datos que se tienen de determinado hábitat contra un conjunto de los criterios propuestos por el CDB, ya que si los criterios se combinan se pueden generar áreas más grandes que representen unidades de manejo.

Para la evaluación del criterio 1 (Unicidad o rareza) se requiere de datos espacialmente explícitos sobre la distribución, ocurrencia y/o abundancia de especies. La disponibilidad de estos datos aún no es clara, pero O'Hara y colaboradores [2011] han reconocido que existen grupos de organismos que están bien muestreados y catalogados en regiones limitadas como los ofiuroides. Este criterio también se puede abordar en términos de características inusuales del hábitat con respecto a las propiedades físicas, McClain y colaboradores [2010] explican que la profundidad es un factor determinante en la composición de las especies y es factible proponer que los

hábitats descritos en este trabajo tienen un conjunto de biota característico, lo que favorece la evaluación de este criterio.

En el caso de criterio número 4, los mapas de especies y hábitats son los datos primarios para poder evaluarlo. Por ejemplo, los corales de aguas frías son particularmente frágiles y su recuperación es muy lenta, por lo que ya existen mapas que muestran su distribución [Rogers *et al.*, 2007]. Los mapas de especies por cuenca se muestran en este estudio.

Para evaluar el criterio 6 (Diversidad biológica) son necesarios mapas de índices de diversidad, éstos ya se tienen para algunos taxa, por ejemplo peces de aguas profundas [Froese y Pauly, 2013], pero en el caso de los invertebrados el conocimiento se encuentra más limitado, aunque se han realizado predicciones sobre riqueza de especies a gran escala, un ejemplo son los ofiuroideos en montes submarinos [O'Hara y Tittensor, 2010].

En el caso del criterio 7 (Naturalidad) se requieren mapas regionales de pesca y otras actividades que puedan generar un impacto negativo en los hábitats, para ser utilizados como un proxy de naturalidad [Clark *et al.*, 2014].

Este trabajo ofrece información de utilidad para la conservación.

## 10. CONCLUSIONES

La diversidad de ofiuroides de cuencas hipóxicas del Golfo de California se representa en las 28 especies de ofiuroides pertenecientes a nueve familias.

Los hábitats bénticos donde ocurren ofiuroides en cuencas con presencia de oxígeno mínimo en el Golfo de California son 11, caracterizados por tener sustrato blando, duro y/o asociaciones bióticas.

1a. Las especies de ofiuroides asociadas a cuencas hipóxicas del Golfo de California son:

<i>Asteronyx longifissus</i>	<i>Ophiacantha</i> sp. B
<i>Asteronyx loveni</i>	<i>Ophiacantha</i> sp. C
<i>Astrodia excavata</i>	<i>Ophiotreta</i> sp.
<i>Asteroschema inornatum</i>	<i>Ophiolimna</i> sp.
<i>Ophiura</i> sp. A	<i>Ophiophthalmus normani</i>
<i>Ophiura</i> sp. B	<i>Ophiopholis</i> sp. A
<i>Ophiosphalma jolliensis</i>	<i>Ophiopholis</i> sp. B
<i>Ophiocten</i> sp.	<i>Ophiopholis longispina</i>
<i>Ophiernus polyporum</i>	<i>Amphiura</i> sp. A
<i>Ophiomastix</i> sp. A	<i>Amphiura</i> sp. B
<i>Ophiomastix</i> sp. B	<i>Amphipholis</i> sp. A
<i>Ophiacanthidae</i> sp. A	<i>Amphipholis</i> sp. B
<i>Ophiacantha rhachophora</i>	<i>Ophiothrix galapagensis</i>
<i>Ophiacantha</i> sp. A	<i>Ophiothrix</i> sp.

Las especies de ofiuroides mejor adaptadas a las condiciones subóxicas son *Ophiacanthidae* sp. A, *Amphipholis* sp. B y *Ophiosphalma jolliensis*.

Se reconocieron nuevas especies de ofiuroides y se presenta por primera vez la Microscopía Electrónica de Barrido completa de las estructuras internas que intervienen como caracteres diagnósticos.

1b. Los hábitats donde ocurren ofiuroides son:

- 1Dr
- 1Dt
- 1De
- 1Dc
- 1Dp
- 1Ds
- 2BLa
- 2Ba
- 2BBt
- 2Bt
- 2Bs

Tienen sustrato duro o blando, entre los que se encuentran el hábitat de esponjas, el hábitat de corales, el hábitat dominado por tunicados, el hábitat de poliquetos, el hábitat de plumas de mar y el hábitat de erizos de mar.

Isla San Pedro Mártir N es la cuenca con la mayor cantidad de hábitats reconocidos, siete en total.

Los hábitats con sustrato duro son que tienen la mayor diversidad de especies de ofiuroides.

1c. La riqueza de especies por hábitat fue:

- |        |    |
|--------|----|
| • 1Dr  | 20 |
| • 1Dt  | 1  |
| • 1De  | 9  |
| • 1Dc  | 3  |
| • 1Dp  | 2  |
| • 1Ds  | 2  |
| • 2BLa | 9  |
| • 2Ba  | 3  |
| • 2BBt | 1  |
| • 2Bt  | 1  |
| • 2Bs  | 1  |

La cuenca con la mayor riqueza de especies fue Isla Tortuga E con nueve especies diferentes.

El hábitat con la mayor riqueza de especies es el 1Dr (sustrato duro, roca) con 20 de las 28 especies identificadas.

1d. La abundancia promedio (ind/m<sup>2</sup>) para cada hábitat fue:

• 1Dr	8.4
• 1Dt	1
• 1De	12.8
• 1Dc	1.6
• 1Dp	2.4
• 1Ds	4
• 2BLa	12.6
• 2Ba	7.5
• 2BBt	1
• 2Bt	5
• 2Bs	4

La mayor abundancia de ofiuroides ocurre en el estrato de profundidad 600-1000 m.

La abundancia de especies es diferente en cada uno de los hábitats.

1e. El potencial de conservación de hábitats

Las cuencas hipóxicas del Golfo de California poseen características para la conservación porque los hábitats 1De, 1Dr, 1Dc y 2BLa cumplen con los criterios 1, 4 y 6 propuestos por el Convenio de la Diversidad Biológica (CDB).

Los ofiuroides que se identificaron en este trabajo son especies estenotópicas y estenobáticas lo que significa que su conservación para cada localidad y sus hábitats se vuelve importante.

Este trabajo representa una línea base en el estudio de ofiuroides a escala pequeña, de metros (hábitat y especie) y contribuye como un primer estudio a estas profundidades para reconocer la diversidad e importancia de estas zonas en el Pacífico oriental tropical en México.

## REFERENCIAS

### **Formato Deep-sea Research.**

Aguayo, J. 1981. Origen y distribución de los sedimentos en el Golfo de California. Rev. Instituto Mexicano del Petróleo. 13 (3): 5-18.

Anderson, T., Cochrane, G., Roberts, D., Chezar., H. y Hatcher, G. 2007. A rapid method to characterize seabed habitats and associated macro-organisms. En: Todd, B. y Grenne H. (Eds.), Mapping the Seafloor for Habitat Characterization. Geological Association of Canada. 71-79.

Álvarez- Borrego, S. 2002. Physical oceanography. En Case, T. J., Cody, M. L., Ezcurra, E. (Eds.), Island Biogeography of the Sea of Cortes. University of Oxford. 41-59.

Amend, M., Yoklavich, M., Rzhanov, Y., Grimes, C. y Wakefield, W. 2007. Mosaics of benthic habitats using laser line scan technology. En: Todd, B. y Grenne H. (Eds.), Mapping the Seafloor for Habitat Characterization. Geological Association of Canada. 61-69.

Ardron, J., Dunn, D., Corrigan, C., Gjerde, K., Halpin, P., Rice, J., Vanden Berghe, E. y Vierros, M. 2009. Defining ecologically or biologically significant areas in the open oceans and deep seas: Analysis, tools, resources and illustrations. A background document for de CBD expert workshop on scientific and technical guidance on the use of biogeographic classification systems and identification of marine areas beyond national jurisdiction in need of protection.

Arriaga Cabrera, L., Vázquez Domínguez, E., Gonzalez Cano, J., Jiménez Rosenberg, R., Muñoz López, E. y Aguilar Sierra, V. (coordinadores). 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Azores scientific criteria and guidance for identifying ecologically or biologically significant marine areas and desining representative networks of marine protected areas in open ocean waters and deep sea hábitats. CDB. 2008.

Beaulieu, S. 2001. Life of glass houses: sponge stalk communities in the deep sea. Marine Biology. 138: 803-817.

Bell, S. 1985. Habitat complexity of polychaete tube caps: influence of architecture on dynamics of a meioepibenthic assemblage. Journal of Marine Research. 43: 647-671.



Best, B., Halpin, P., Fujioka, E., Read, A., Quian, S., Hazen, L. y Schick, R. 2007. Geospatial web services within a scientific workflow: Predicting marine mammal habitats in a dynamic environment. *Ecological Informatics* 2: 210-223.

Bett, B. y Rice, A. 1992. The influence of hexactinellid sponge (*Pheronema carpensteri*) spicules on the patchy distribution of macrobenthos in the Porcupine Seabight (bathyal NE Atlantic). *Ophelia*. 36: 217-222.

Buhl-Mortensen, P. y Mortensen, P. 2004. Crustacean fauna associated with the deep-water corals *Paragorgia arborea* and *Primnoa resedaeformis*. *Journal of Natural History*. 38: 1233-1247.

Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Gooday, A., Levin, L., Priede, I., Buhl-Mortensen, P., Gheerardyn, H., King, N. y Raes, M. 2010. Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Marine Ecology*. 31: 21-50.

Bray, R. 1975. Community structure of shallow-water Ophiuroidea of Barbados, West Indies. Tesis de Maestría. Universidad McGill.

Bray, R. 1981. Size variation of the rubble-dwelling ophiuroid, *Ophiocoma echinata* of Barbados. *Fourth International Coral Reef Symposium* 2: 619-621.

Brown, C. 2007. Seafloor imagery, remote sensing and bathymetry: Acoustic Ground Discrimination Systems (AGDS). En: Todd, B. y Grenne G. (Eds.), *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization*. Geological Association of Canada. 3-10.

Bullimore, R., Foster, N. y Howell, K. 2013. Coral-characterized benthic assemblages of the deep Northeast Atlantic: defining "Coral Gardens" to support future habitat mapping efforts. *ICES Journal of Marine Science*. Volume 70, Issue 3. 511-522.

Cabrera De Leo, F., Gauthier, M., Nephin, J., Mihály, S. y Juniper, K. 2017. Bottom trawling and oxygen minimum zone influences on continental slope benthic community structure off Vancouver Island (NE Pacific). *Deep-sea Research II*. 137: 404-419.

Chavarro, S., Zea, S. y Díaz, M. 2004. Esponjas y otros microhábitats de ofiuos (Ophiuroidea: Echinodermata) en ambientes arrecifales del archipiélago de San Bernardo (Caribe colombiano). *Boletín de Investigación Marina Costera*. 33: 29-47.

Clark, M., Rowden, A., Schlacher, A., Guinotte, J., Dunstan, P., Williams, A., O'Hara, T., Watling, L., Niklitschek, E. y Ysuchida, S. 2014. Identifying Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSA): A systematic method and its application to seamounts in the South Pacific Ocean. *Ocean & Coastal Management*. 91: 65-79.

Case, T., M. Cody. 1983. Synthesis: Pattern and Processes in Island Biogeography. En Case, T.J., Cody, M. L. (Eds.). *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley, EUA 307-341.

Cochrane, G. y Lafferty, K. 2002. Use of acoustic classification of sidescan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California. *Continental Shelf Research* 22: 683-690.

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. <https://www.gob.mx/conabio>.

Convenio de la Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-16/information/sbstta-16-inf-09-en.pdf>. 20017

Cook, A., Lamshead, J., Hawkins, L., Mitchell, N. y Levin, L. 2000. Nematode abundance at the oxygen minimum zone in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47: 75-85.

Costa, B., Bauer, L., Battista, T., Mueller, P. y Monaco, M. 2009. Moderate-Depth Benthic Habitats of St. John, U.S. Virgin Islands. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 105. Silver Spring, MD. 57 pp.

Costello, M. 2009. Distinguishing marine habitat classification concepts for ecological data management. *Marine Ecology Progress Series*. 397: 253-268.

De la Lanza, G. 1991. *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editor. 569 pp.

De la Rosa J., González-Farías, F. (Eds.) 2008. *Temas de oceanografía biológica en México*, Vol. 2. Universidad Autónoma de Baja California.

Diario Oficial de la Federación. 2009. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5093568&fecha=05/06/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5093568&fecha=05/06/2009)

Dolan, M., Grehan, A., Guinan, J. y Brown, C. 2008. Modelling the local distribution of cold-water corals in relation to bathymetric variables: Adding spatial context to deep-sea video data. *Deep-Sea Research I*. 55: 1564-1579.

Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F., Buitrón-Sánchez, B., Gust-Ahearn, C. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. 53 (3): 53-68.

Figueroa, L. 2013. Estudio tectono-estratigráfico de la Cuenca transtensional en el Margen de Sonora frente al *rift* de Guaymas, Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fisher, R., Corbet, A. y Williams, C. 1943. The relationship between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal Animal Ecology* 12: 42-58.

Freiwald, A. y Murray, J. (Eds.). 2005. *Cold-water Coral and Ecosystems*. Springer. 1242 pp.

Froese, R. y Pauly, D. 2017. FishBase. World Wide Web Electronic Publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)

Gage, J. y Tyler, P. 1991. *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organism at the Deep-Sea Floor*. Cambridge University Press, Cambridge.

Granja-Fernández, R., Herrero-Pérezrul, D., López-Pérez, A., Hernández-Morales, A. y Rangel-Solís, P. 2014. A literatura review of the Ophiuroidea (Echinodermata) from the Pacific coast of Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 63 (2): 37-47.

Gray, J. 1997. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 6: 153-175.

Greene, H., Yoklavich, M., Starr, R., O'Connell, V., Wakefield, W., Sullivan, D., McRea, J. y Cailliet, G. 1999. A classification scheme for deep seafloor habitats. *Oceanologica Acta*. 22 (6): 663-678.

Gooday, A., Levin, L., Aranda Da Silva, A., Bett, B., Cowie, G., Dissard, D., Gage, J., Hughes, D., Jeffrey, R., Lamont, P., Larkin, K., Murty, S., Shumacher, S., Whitcraft, C. y Woulds, C. 2009. Faunal responses to oxygen gradients in the Pakistan margin: A comparison of foraminiferans, macrofauna and megafauna. *Deep-Sea Research II* 56: 488-502.

Helly, J. y Levin, L. 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Research I* 51: 11 59-68.

Hendrickx, M. y Serrano, D. 2010. Impacto de la zona de mínimo oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico mexicano. *Interciencia*. 35: 12-18.

Hernández-Herrejón, L., Solís-Marín, F. y Laguarda-Figueras, A. 2008. Ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56 (3): 83-167.

Hinojosa-Arango, G., Rioja-Nieto, R., Suárez-Castilli, A. y Riosmena-Rodríguez, R. Using GIS methods to evaluate Rhodolith and *Sargassum* beds as critical habitats for commercially important marine species in Bahía Concepción, B.C.S., México. *Cryptogamie Algologie*. 35 (1): 49-65.

Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. y Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 56 (3): 57-73.

Hunter, W., Oguri, K., Kitazato, H., Ansari, Z. y Witte, U. 2011. Epi-benthic megafaunal zonation across an oxygen minimum zone at the Indian continental margin. *Deep-sea Research I*. 58: 699-710.

Huston, M. 1994. *Biological Diversity: the coexistence of Species in Changing Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.

International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 2008. [www.ices.dk/Pages/default.aspx](http://www.ices.dk/Pages/default.aspx)

International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 2017. <http://ocean.ices.dk/Tools/UnitConversion.aspx>

Jiménez-Guadarrama, L. 2015. Caracterización morfológica de los crustáceos decápodos anomuros *Munidopsis alvisca* y *Galacantha diomedae* de la cuenca de Guaymas y el margen de Sonora. Tesis de maestría. UNAM. 79 pp.

Kissling, D. y Taylor, G. 1977. Habitat factors for reef-dwelling ophiuroids in the Florida Keys. *Third International Coral Reef Symposium* 1: 225-231.

Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F., Durán González, A., Gust-Ahearn, C., Buitrón-Sánchez, B. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3): 109-122.

Laguarda-Figueras, A., Escandón-Flores, N., Solís-Marín, F., Hernández-Herrejón, L. y Durán-González, A. 2009. Los ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del Golfo de California. INECC. 1º ed. 196 pp.

Levin, L., Huggett, C. y Wishner, K. 1991. Controls of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research* 49: 763-800.

Levin, S. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943-1967.

Levin, L. y Gage, J. 1998. Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep-Sea Research II*. 45: 129-163.

Levin, L., Gage, J., Martin, C. y Lamont, P. 2000. Macrobenthic community structure within and beneath the oxygen minimum zone, NW Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47: 189-226.

Levin, L., Gutiérrez, D., Rathburn, A., Neira C., Sellanes, J., Muñoz, P., Gallardo, V. y Salamanca M. 2002. Benthic processes on the Peru margin: a transect across the oxygen minimum zone during the 1997-1998 El Niño. *Progress in Oceanography*. 53:1-27.

Levin, L. 2003. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41: 1-45.

Levin, L. y Dayton, P. 2009. Ecological theory and continental margins: where shallow meets deep. *Trends in Ecology and Evolution*, doi: 10.1016/j.tree.2009.04.012

Levin, L. y Sibuet, M. 2012. Understanding Continental Margin Biodiversity: a new imperative. *Annual Review Marine Science* 4: 79-112.

Lewis, J. y Bray, R. 1983. Community structure of ophiuroids (Echinodermata) from three different habitats on a coral reef in Barbados, West Indies. *Marine Biology* 73: 171-176.

Lizarralde, D., Soule, A., Seewald, F. y Proskurowski, G. 2011. Carbon release by off-axis magmatism in a young sedimented spreading centre. *Nature Geoscience*. 4: 50-54.

Llano, M. y Fernández, H. (eds.). 2017. Análisis y propuestas para la conservación de la Biodiversidad en México 1995-2017. Ciudad de México. 120 pp.

Lugo-Hubp, J. 1985. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México. Boletín del Instituto de Geografía núm. 15, 9-17.

McClain, C., Lundsten, L., Barry, J. y DeVogelaere, A. 2010. Assemblage structure, but not diversity or density, change with depth on a northeast Pacific seamount. *Arine Ecology Evolutionary Perspective*. 31: 14-25.

Manso, C. 2010. Deep-water Ophiuroidea (Echinodermata) from off Chile in the Eastern South Pacific. *Biota Neotropical* 10 (2): 185-199.

Martynov, A. 2010. Reassessment of the classification of the Ophiuroidea (Echinodermata), based on morphological characters. I. General character evaluation and delineation of the families Ophiomyxidae and Ophiacanthidae. *Zootaxa*. 2697:1-154.

Mortensen, P., Buhl-Mortensen, L., Gebruk, A. y Krylova, E. 2008. Occurrence of deep-water corals on the Mid-Atlantic Ridge based on MAR-ECO data. *Deep-sea Research II*. 55: 142-152.

Mortensen, P., Buhl-Mortensen, L., Dolan, M., Dannheim, J. y Kröger, K. 2009. Megafaunal diversity associated with marine landscape of northern Norway: a preliminary assessment. *Norwegian Journal of Geology*. 89: 163-171.

Murty, S., Bett, B. y Gooday, A. 2008. Megafaunal responses to strong oxygen on the Pakistan margin of the Arabian Sea. *Deep-sea Research II*. 59: 472-487.

Naciones Unidas. 17 Metas para el desarrollo sustentable. [www.un.org/sustainabledevelopment/oceans/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/oceans/).

O'Hara, T. y Tittensor, D. 2010. Environmental drivers of ophiuroid species richness on seamounts. *Marine Ecology-Evolutionary Perspective*. 31: 26-38.

O'Hara, T., Rowden, A. y Bax, N. 2011. A southern hemisphere bathyal fauna is distributed in latitudinal bands, *Curr. Biol*. 21: 226-230.

O'Hara, T., Schlacher, T., Rowden, A. y Tittensor, D. 2016. Data Analysis Considerations. En: Clark, M., Consalvey, M. y Rowden, A. (eds.). *Biological sampling in the deep sea*. Wiley Blackwell. 386-403 pp.

Pineda-Enríquez. Filogenia del género *Ophiolepis* Müller & Troschel, 1840 (Ophiuroidea: Ophiolepididae) inferida por caracteres morfológicos. Tesis de maestría. UNAM. 235 pp.

Quiroga, E., Sellanes, J., Arntz, W., Gerdes, D., Gallardo, V. y Hebbeln, D. 2008. Benthic megafaunal and demersal fish assemblages on the Chilean continental margin: The

influence of the oxygen minimum zone on bathymetric distribution. Deep-sea Research II. 56: 1112-1123.

Rice, A., Thurston, M. y New, A. 1990. Dense aggregations of a hexactinellid sponge, *Pheronema carpenter*, in the Porcupine Seabight (northeast Atlantic Ocean), and possible causes. Progress in Oceanography. 24: 179-196.

Rioja-Nieto, R. y Sheppard, C. 2008. Effects of management strategies on the landscape ecology of a Marine Protected Area. Ocean & Coastal Management. 51: 397-404.

Roden, G. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Mem. Am. Soc. Petr. Geol. 3, 30-58.

Rogers, A., Baco, A., Griffiths, H., Hart, T. y Hall-Spencer, J. 2007. Corals on sea-mounts. En Pitcher, T., Morato, T., Hart, P., Clark, M., Haggan, N. y Santos R. (Eds.) Seamounts: Ecology, fisheries & conservation. Blackwell Publishing Ltd. 141-169 pp.

Ross, R. y Howell, K. 2012. Use of predictive habitat modeling to assess the distribution and extent of the current protection of “listed” deep-sea habitats. Diversity and distributions. DOI: 10.1111/ddi.12010

Sarmiento, J., Herbert, T. y Toggweiler, J. 1988. Causes of anoxia in the world ocean. Global Biogeochemical Cycles 2: 115-128.

Sellanes, J., Neira, C., Quiroga, E. y Teixido, E. 2010. Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seep benthic habitats. Marine Ecology. 31: 111-124.

SEMARNAT. 2006. Edición Especial. Ordenamiento marino ecológico para el Golfo de California. Anexo 1. [/www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos\\_golfo/12\\_anexo1\\_descripcion\\_general\\_gc.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos_golfo/12_anexo1_descripcion_general_gc.pdf)

Serrano, D. 2012. La zona del mínimo de oxígeno en el Pacífico mexicano. En Zamorano, P., Hendrickx, M. y Caso, M. (Eds.). Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico Mexicano. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales. 105-119 pp.

Sibuet, M. y Olu, K. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. Deep-Sea Research II 45: 517-567.



Solís-Marín, F., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Gust-Ahearn, B., Buitrón-Sánchez, B. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 52 (3): 123-137.

Stöhr, S. 2012. Ophiuroid (Echinodermata) systematics – where do we come from, where do we stand and where should we go? *Zoosymposia*. 7: 147-161.

Stöhr, S., O'Hara, T. y Thuy, B. 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE* 7 (3), e31940.

Stramma, L., Johnson, G., Firing, E. y Schmidtko, S. 2010. Eastern Pacific oxygen minimum zones: Supply paths and multidecadal changes. *Journal of Geophysical Research*. 115: C09011.

Summers, A. 1993. Bathymetric, spatial and local zoogeographic distribution of ophiuroids on the continental slope off central California. Tesis de maestría. Universidad de San José. 82 pp.

Summers, A. y Nybakken, J. 2000. Brittle star distribution patterns and population densities on the continental slope off central California (Echinodermata: Ophiuroidea) *Deep-Sea Research II* 47: 1107-1137.

Tapia-De La O, Y. 2014. Identificación y caracterización ambiental de una especie abisal de ofiuroides (Echinodermata) de las infiltraciones de metano del margen de Sonora. Tesis de licenciatura. UNAM. 107 pp.

The Nature Conservancy. 2016. <https://www.nature.org/>

Thuy, B. y Stöhr, S. 2011. Lateral arm plate morphology in brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea): new perspectives for ophiuroid micropalaeontology and classification. *Zootaxa*. 3013: 1-47.

Thuy, B. y Stöhr, S. 2016. A new morphological phylogeny of the Ophiuroidea (Echinodermata) accords with molecular evidence and renders microfossils accessible for cladistics. *PLoS ONE*. 11(5): e0156140. doi:10.1371

Torres, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría. CICESE. México. 80 pp.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Metas de Biodiversidad de Aichi en los objetivos de Desarrollo Sostenible. 2011.

Wedding, L., Friedlander, A., Kittinger, J., Watling, L., Gaines, S., Bennet, M., Hardy, S. y Smith, C. 2013. From principles to practice: a spatial approach to systematic conservation planning in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B*. 280: 20131684.

Whittaker, R. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecology Monography* 30: 279-338.

Whittaker, R. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biology Review* 42: 207-264.

Whittaker, R. 1975. *Communities and Ecosystems*. 2° ed. Nueva York. McMillan.

Whittaker, R. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evolutionary Biology* 10: 1-67.

Wienberg, C., Hebbeln, D., Fink, H., Mienis, F., Dorschel, B., Vertino, A., López-Correa, M. y Freiwald, A. 2009. Scleractinian cold-water corals in the Gulf of Cádiz. First clues about their spatial and temporal distribution. *Deep-Sea Research I*. 56: 1873-1893.

## ANEXOS

### ANEXO I

Áreas del Golfo de California con alguna modalidad de conservación.

ÁREA	MODALIDAD
Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios	ANP
Parque Nacional Archipiélago de San Lorenzo	ANP
Parque Nacional Bahía de Loreto	ANP
Reserva de la Biosfera Bahía de los ángeles, canales de Ballenas y Salsipuedes	ANP
Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo	ANP
Parque Nacional Cabo Pulmo	ANP
Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe	ANP
Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar	ANP
Reserva de la Biosfera Isla San Pedro Mártir	ANP
Santuario Ventilas Hidrotermales de la Cuenca de Guaymas y de la Dorsal del Pacífico Oriental	ANP
Los Cabos	Región prioritaria
Complejo Insular de Baja California Sur	Región prioritaria
Bahía Concepción	Región prioritaria
Costa Oriental Vizcaíno	Región prioritaria
Complejo Insular de Baja California	Región prioritaria
Alto Golfo	Región prioritaria
Canal del Infiernillo	Región prioritaria
Cajón del Diablo	Región prioritaria
Sistema Lagunar del Sur de Sonora	Región prioritaria
Laguna de Santa María la Reforma	Región prioritaria
Laguna de Chiricahueto	Región prioritaria
Piactla-Urías	Región prioritaria
Boca del Golfo	Región prioritaria
Guaymas	Región prioritaria
Zona de fractura de Clarion-Clipperton*	APEI

\* Esta área no se encuentra dentro del Golfo de California, pero representa un área de particular interés ambiental dentro del océano Pacífico.

## ANEXO II

Conversión de concentraciones de oxígeno disuelto de  $\text{ml.L}^{-1}$  a  $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$

Cuencas (N a S)	Oxígeno disuelto ( $\text{ml.L}^{-1}$ )	
	Mínimo	Máximo
Cuenca Sal Sipuedes	0.591	1.615
Isla San Pedro Mártir N	0.032	0.640
Isla San Pedro Mártir S	0.033	0.614
Isla Tortuga E	0.030	0.822
Isla Tortuga S	0.161	0.421
Isla Cerralvo	0.037	0.142
Cabo Pulmo	0.027	0.50

Estrato de profundidad	Oxígeno disuelto ( $\text{ml.L}^{-1}$ )	
	Mínimo	Máximo
0-200 m	---	---
201-400 m	0.135	1.615
401-600 m	0.035	0.769
601-800 m	0.027	0.741
801-1000 m	0.033	0.684
1001-1200 m	0.161	0.607
1201-1400 m	0.266	0.50

Para realizar las conversiones se utilizó la siguiente equivalencia:

$$1 \mu\text{mol O}_2 = 0.022391 \text{ mL [ICES, 2017]}$$

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

**ANEXO III**

Matriz de presencia-ausencia utilizada para los análisis estadísticos de similitud (Cluster y MDS) para cuencas.

	Cuenca Sal Sipeudes	Isla San Pedro Mártir N	Isla San Pedro Mártir S	Isla Tortuga E	Isla Tortuga S	Isla Cerralvo	Cabo Pulmo
<i>Asteronyx longifissus</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Asteronyx loveni</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Astrodia excavata</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Asteroschema inornatum</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiura</i> sp. A	0	0	0	1	0	0	0
<i>Ophiura</i> sp. B	0	0	0	1	0	0	1
<i>Ophiosphalma jolliensis</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiocten</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiernus polyporum</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Ophiomastix</i> sp. A	0	0	0	1	0	0	0
<i>Ophiomastix</i> sp. B	1	0	0	0	0	0	0
Ophiacanthidae A ¿Ophiodaces?	0	1	1	1	0	1	0
<i>Ophiacantha rhachophora</i>	1	0	0	0	0	0	0
<i>Ophiacantha</i> sp. A	0	0	0	1	0	0	0

**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS  
DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<i>Ophiacantha</i> sp. B	1	0	0	0	0	0	0
<i>Ophiacantha</i> sp. C	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiotreta</i> sp.	0	1	0	1	0	0	0
<i>Ophiolimna</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0
<i>Ophiophthalmus normani</i>	0	0	0	0	1	0	0
<i>Ophiopholis</i> sp. A	0	1	0	1	0	0	0
<i>Ophiopholis</i> sp. B	1	0	1	0	0	0	0
<i>Ophiopholis longispina</i>	0	1	0	0	0	0	0
<i>Amphiura</i> sp. A	0	1	1	0	0	0	0
<i>Amphiura</i> sp. B	0	0	0	0	0	0	1
<i>Amphipholis</i> sp. A	1	1	0	0	0	0	0
<i>Amphipholis</i> sp. B	1	1	1	1	0	0	0
<i>Ophiothrix galapagensis</i>	0	0	0	1	0	0	0
<i>Ophiothrix</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0

OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

ANEXO IV

Matriz de presencia-ausencia utilizada para los análisis estadísticos de similitud (Cluster y MDS) para estratos de profundidad.

	0-200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200	1201-1400
<i>Asteronyx longifissus</i>	0	0	0	0	1	0	0
<i>Asteronyx loveni</i>	0	0	0	0	1	0	0
<i>Astrodia excavata</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Asteroschema inornatum</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiura</i> sp. A	0	0	0	1	1	0	0
<i>Ophiura</i> sp. B	0	0	1	0	0	1	1
<i>Ophiosphalma jolliensis</i>	0	0	0	1	1	1	1
<i>Ophiocten</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiernus polyporum</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Ophiomastix</i> sp. A	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ophiomastix</i> sp. B	0	0	1	1	1	0	0
Ophiacanthidae A ¿Ophiodaces?	0	1	1	1	1	0	0
<i>Ophiacantha rhachophora</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Ophiacantha</i> sp. A	0	1	1	1	0	0	0
<i>Ophiacantha</i> sp. B	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ophiacantha</i> sp. C	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiotreta</i> sp.	0	1	1	1	0	0	0
<i>Ophiolimna</i> sp.	0	0	0	1	1	0	0
<i>Ophiophthalmus normani</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ophiopholis</i> sp. A	0	1	1	1	1	0	0
<i>Ophiopholis</i> sp. B	0	1	1	1	1	1	0
<i>Ophiopholis longispina</i>	0	1	1	1	1	0	0
<i>Amphiura</i> sp. A	0	1	0	0	0	0	0
<i>Amphiura</i> sp. B	0	0	0	0	0	0	1



**OFIUROIDEOS (Echinodermata) DE HÁBITATS CON CARACTERÍSTICAS PARA LA CONSERVACIÓN EN CUENCAS HIPÓXICAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

<i>Amphipholis</i> sp. A	0	1	0	1	1	0	0
<i>Amphipholis</i> sp. B	0	1	1	1	1	0	0
<hr/> <i>Ophiothrix galapagensis</i>	0	1	0	0	0	0	0
<hr/> <i>Ophiothrix</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0